



**XV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPT/01

**17 à 22 de outubro de 1999
Foz do Iguaçu – Paraná - Brasil**

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS – (GPT)

O AUMENTO DA CAPACIDADE DE GERAÇÃO DE USINAS TERMELÉTRICAS E A INFLUÊNCIA DAS MODIFICAÇÕES NA VIDA ÚTIL DOS COMPONENTES DAS CALDEIRAS A VAPOR

Luiz Felipe*
GERASUL S/A

Frantisek Gnyp
SES Tlmace - Republica Eslovaca

RESUMO

Atualmente há uma série de premissas quanto a captação de recursos para novos empreendimentos termelétricos. Uma alternativa para aumentar o suprimento de energia a curto prazo, para o caso das plantas termelétricas, é o aumento da capacidade de geração do parque através da repotencialização das unidades geradoras existentes.

Os custos destinados para investimentos nas modificações das instalações são relativamente baixos, contudo há que se considerar a influência das alterações em relação ao projeto original quanto a vida útil e o próprio desempenho dos componentes das Usinas.

Nem sempre é possível um acréscimo de carga de uma unidade geradora.

O presente trabalho apresenta de forma objetiva, inúmeros "senões" os quais podem contribuir e subsidiar as decisões a respeito da viabilidade técnica de um aumento da capacidade de geração de uma planta térmica.

PALAVRAS-CHAVE

Caldeiras - Usinas Térmicas - Repotencialização - Vida Útil.

1.0 INTRODUÇÃO

Durante as fases de decisões quanto as modificações, deve-se conhecer perfeitamente o estado dos equipamentos e que através de um diagnóstico seguro pode-se elencar as mais confiáveis dentre todas as possibilidades de Repotencialização.

A expressão "estado" dos equipamentos não se deve entender somente como o desgaste físico (vida útil residual) das partes da Caldeira ou Turbina. Deve-se conhecer também qual a função do equipamento, isto é, as características de operação, qual deve ser a carga máxima que o equipamento pode atingir e os limites das capacidades de carga dos subsistemas tais como, os queimadores, manuseio do combustível, bombas de alimentação das caldeiras, ventiladores, dutos, sistema de captação de cinza seca e úmida, etc..).

Enfoca-se quanto a um diagnóstico de cada componente, a influência destes no processo térmico da unidade simulando-se os vários parâmetros durante o aumento de carga sob o ponto de vista de projeto.

O aumento de carga tem influência diretamente na vida útil residual das partes principais das Caldeiras.

Os esforços dos especialistas de Caldeiras principalmente, é propor soluções de projeto, recomendando quais as maneiras de se aumentar a carga e qual a perda de vida útil residual dos componentes de modo que este decréscimo seja minimizado.

2.0 ALTERNATIVAS DE AUMENTO DE CARGA

2.1 Alternativas de alterações para o aumento de carga

Os mais frequentes possibilidades no ciclo térmico para aumentar geração de forma contínua são:

- a) *Aumento do fluxo e da pressão de vapor superaquecido e reaquecido;*
- b) *Aumento da temperatura de vapor;*
- c) *Modificação de componentes do ciclo térmico (eliminação de aquecedores de água de alta pressão, por exemplo).*
- d) *Aumento da temperatura da água de alimentação.*

* UOGT/CEMS/C - Av. Paulo Santos Mello S/Nº, Capivari de Baixo - SC, CEP 88745-000
Fone: (048) 621 4067, Fax: (048) 6214005, e-mail: lfelippe@gerasul.com.br

Os sistemas devem ser analisados isoladamente para os componentes da Caldeira e auxiliares, Ciclo térmico e Turbina.

No presente trabalho, os auxiliares das Caldeiras não terão abordagem já que os pontos mais críticos são os componentes sujeitos a elevadas solicitações mecânicas, contudo nas etapas de definição das modificações a serem implementadas, os componentes auxiliares devem ser considerados.

Nas caldeiras em geral quando se opera em carga elevada, a câmara de combustão é a região mais carregada termicamente, a temperatura dos gases aumenta, a temperatura de metal dos tubos é maior (a diferença é que depende do modo de aumento da carga). Naturalmente que a temperatura dos gases na saída da Caldeira é maior, isto incorre numa perda maior de calor dos gases na saída da mesma.

Para garantia do aumento de geração deverão existir reservas de capacidade nos componentes auxiliares da Caldeira (por exemplo; moinhos, queimadores, ventiladores...). Cada um dos demais componentes deverão ser analisados afim de atender as exigências operacionais para a nova condição de carga da unidade geradora.

É necessário esclarecer os seguintes problemas:

A quantidade de combustível aumenta – e o sistema de combustível foi dimensionado suficientemente?.

A quantidade de ar e gases aumenta – os ventiladores forçados e induzidos estão dimensionados suficientemente ?. A temperatura de vapor aumenta – o controle das temperaturas é suficiente ?.

Estes questionamentos devem ser discutidos contudo, analisaremos especialmente os pontos conflitantes em relação às solicitações mecânicas.

A câmara de combustão por exemplo é a mais carregada termicamente. Isto contribui para o aumento da formação de incrustações nas paredes dos tubos. Uma das soluções possíveis é melhorar a limpeza com a ajuda dos sopradores de fuligem de forma mais freqüente.

Após a realização do projeto de aumento de carga é imprescindível inspecionar com períodos de tempo mais curtos, os cones dos queimadores.

As maneiras como se atinge o acréscimo de carga isto tem influência nas partes sob pressão quanto ao aspecto de solicitação mecânica.

Para cada uma das possibilidades de aumento de carga, fazem-se necessários os seguintes comentários:

2.2 Alternativas relacionadas com as alterações e influências na Caldeira e seus componentes

a) Aumento do fluxo e da pressão de vapor superaquecido e reaquecido.

As alterações mais marcantes são as seguintes:

Com o aumento do fluxo de vapor, cresce também a perda do pressão nos superaquecedores (Δp_{sup}) e Economizador (entrada da Caldeira).

Se a pressão do vapor na saída da Caldeira (p_{outlet}) se mantém, a pressão do tambor (p_{dnew}) deverá aumentar conforme a fórmula seguinte:

$$p_{dnew} = p_{outlet} + \Delta p_{sup} \cdot k^2$$

k – relação de fluxo p/a nova carga e fluxo original

Se a pressão do vapor na saída da Caldeira aumente, a pressão no tambor será maior que a p_{dnew} .

É inevitável verificar as dimensões dos tubos para essa pressão do ponto de vista de segurança.

A temperatura do metal dos tubos localizados no interior da caldeira aumenta mas não é de forma significativa. As temperaturas do vapor nos tubos na saída dos Superaquecedores e Reaquecedores finais devem ser fixados em valores toleráveis, afim de que sejam mantidos no nível constante de controle.

Os acréscimos de temperatura em cada zona da caldeira são considerados para efeitos de cálculos dimensionais. Dependendo da localização e dimensão original (verifica-se os valores de coeficiente de segurança), neste caso é necessário ajustar as válvulas de segurança também.

b) Aumento da temperatura de saída de vapor

É também imprescindível verificar as dimensões (parâmetros de projeto) dos tubos. Nesse caso há diferença com a alternativa anterior pois a temperatura do vapor é maior nas tubulações externas da caldeira. A temperatura do metal pode exceder limites permitidos para uso do material. Essa questão é relacionada com a vida útil [6]. Caso deseje-se manter maior temperatura do vapor deverão ser acrescidas as áreas de troca térmica do Superaquecedor e Reaquecedor contudo pode-se suprimir estas modificações de área através do ajuste dos parâmetros envolvidos no processo. Torna-se complicado quaisquer adições de superfície de troca térmica pois deve-se alterar o dimensionamento de partes internas da Caldeira.

Ainda neste item, inúmeras literaturas apontam para o surgimento de mecanismos de falha de ruptura sob tensão (sobreaquecimento de longa duração - fadiga/fluência), devido a presença de uma fina camada de óxido (oxide scale thickness) na parede interna dos tubos [5],[8]. Como regra geral, para cada 0.001" de espessura da camada de óxido, a temperatura aumenta em 1 a 2 °F. Tipicamente, um

aumento de 5 % na temperatura da parede do tubo (50 °F em 1000 °F) pode diminuir o tempo estimado entre rompimentos dos tubos dos superaquecedores e reaquecedores em 10.000 a 20.000 horas. Casos similares ocorrem pela presença de sílica internamente nos tubos em regiões mais baixas das serpentinas dos superaquecedores finais, mas não foram constatados na prática tais causas de sobreaquecimento devido a este fenômeno nas unidades da GERASUL.

Em recente análise efetuada em amostras dos tubos dos superaquecedores e reaquecedores finais da Caldeira nº 6 da UTLB (CEPEL - set/1997) [7], pôde-se constatar que já existe indicativo de degradação do material, análise feita pelo critério de Toft & Marsden, o qual o diagnóstico prevê a troca de trechos de tubos originais na região mais críticas da Caldeira devido a presença de uma fina camada interna de óxido nos tubos.

Estas condições de degradação devem ser consideradas para efeitos de viabilidade técnica de aumento da capacidade de carga da Caldeira. A temperatura do metal tem grande repercussão na vida útil e que quanto maior for a camada de óxido os limites de resistência mecânica serão atingidos, comprometendo o desempenho dos superaquecedores e reaquecedores finais.

Além destes outros pontos de inspeção devem ser priorizados visando a confiabilidade da caldeira, por exemplo, os tubos localizados próximos da zona de incidência de chama do queimadores.

c) Eliminação de aquecedores de água de alta pressão (AAP)

Pode-se eliminar os AAP e neste caso a caldeira será alimentada com água menos quente. A quantidade de calor que não foi fornecido ou “economizado” na água de alimentação deve ser produzido na Caldeira. Isso significa que a Caldeira opera com carga térmica maior, aumenta-se a quantidade de combustível, mesmo que os parâmetros de projeto se mantenham. Também se altera (aumentando) o fluxo do vapor reaquecido face as alterações de entrada de vapor da Turbina.

Neste caso a quantidade dos gases é maior, o calor recebido nas superfícies de troca térmica por convecção é maior, a temperatura do vapor aumenta e aumentam as vazões de água de atemperação (injeções) para o vapor superaquecido e reaquecido. O acréscimo de injeção de água no vapor reaquecido piora a eficiência do ciclo térmico.

Os gases na saída da Caldeira tenderão a uma diminuição de temperatura, contendo menos calor e com isso a eficiência da Caldeira cresce.

d) Aumento da temperatura de água de alimentação

Nessa alternativa pela influência do calor acrescido à água de alimentação, a Caldeira “necessita” produzir uma quantidade de calor menor, ou seja terá uma menor exigência de troca térmica.

As superfícies dos tubos recebem menor calor, em consequência diminui-se a vazão de água através das injeções no vapor superaquecido e reaquecido.

Quando se aumenta a temperatura de água de alimentação os gases são menos resfriados, mas pode apresentar influência nos pré-aquecedores de ar os quais aumentam a troca térmica. O resultado é relativamente pequeno pois o aumento da temperatura dos gases saindo de aquecedor de ar atinge aprox. 5°C. Ressalta-se que para efeitos de conservação de equipamento, nos pré-aquecedores de ar, o aumento de temperatura dos gases contribui para o acréscimo da temperatura de metal, diminuindo-se os riscos de corrosão acentuada nas extremidades frias destes trocadores de calor [9].

2.3 Alternativas relacionadas com o aumento de eficiência do Ciclo Térmico/Turbina:

Modificações das válvulas de controle e partes da Turbina

Estas alterações resultam no aumento de eficiência e aumento da geração com preservação de todos os parâmetros nominais do vapor.

Este aumento depende do nível das modificações executadas bem como das substituições de componentes das válvulas de controle.

O benefício pode ser de até 4 % comparativamente ao projeto original.

A melhoria da eficiência é atingida através da alteração da geometria das partes de estrangulamento de vapor, da adaptação de novos perfis das pás e alterações menores nos componentes de entrada de vapor. Pode-se também diminuir as perdas quanto aos vazamentos, por exemplo, fazendo-se ajustes ou alterações das selagens das válvulas, etc.

3.0 VIDA ÚTIL DAS PARTES SUBMETIDAS A PRESSÃO

Uma das tarefas mais importantes no contexto do aumento de geração é a correta identificação do estado dos equipamentos com ajuda de métodos de diagnóstico e testes específicos e da determinação da vida útil residual durante operação para a nova carga. Informações operacionais recebidas durante as etapas de inspeção da Caldeira deverão ser avaliados junto com resultados dos análises metalográficas e testes destrutivos para determinar de forma real a vida útil residual [7]. É importante que se tenha históricos

confiáveis de falha dos componentes submetidos a pressão e temperaturas, nos quais devem estar contidas informações de quais os mecanismos de falhas foram atribuídos os eventos e quais as melhorias foram executadas[8].

Quando o histórico não é confiável, em determinados casos pode-se conseguir dados através da aplicação de métodos comparativos e de correlação ou estudos de fundamentação empírica.

A correta identificação dos pontos ou regiões da Caldeira com elevação da temperatura constitui num fator preponderante afim de possibilitar os cálculos corretos e as influências dos fenômenos de fluência/fadiga do material.

De acordo com um dos métodos usados se calcula a tensão na parede do tubo para espessura real com temperatura real e pressão operacional. Compara-se com resultados dos testes. Esse valor calculado se compara com valores tabulados de tensão aplicada para diferentes faixas de vida útil do material. A vida útil residual pode-se determinar de forma aproximada comparando-se entre componentes individualizados.

A verdadeira espessura de parede s^* se consegue através de medições, ou se usa o valor estimado (antecipado) pela equação:

$$s^* = s - c$$

s - espessura nominal

c - decréscimo de espessura causado pela corrosão, erosão ou tolerância negativa.

A tensão aplicada na parede do tubo, expressa em [MPa] e com fator de segurança 1,5, pode-se calcular de acordo com a seguinte fórmula:

$$s = \frac{p \cdot (d - s^*) \cdot 1,5}{2 \cdot s^*}$$

p - pressão de trabalho do tubo [MPa]

d - diâmetro externo do tubo [mm]

1,5 - fator de segurança

Os cálculos de tensão das partes de pressão - através das temperaturas mínimas de comprometimento da fluência do material (não usa-se valores da tensão do material em função do tempo ou duração da operação). Estes cálculos usam somente valores do material, os quais não se alteram durante o tempo de operação.

Os cálculos da tensão de resistência à fluência pelas temperaturas dos materiais foram definidos para uma vida útil 100.000 horas, para o caso das unidades 5 e 6 da UTLB.

Para os cálculos de vida útil residual se antecipam os pontos com o maior valor de temperatura de metal dos tubos. Nestes locais se obtém "exatamente" temperaturas de metal dos tubos. Os dados necessários para o memorial de cálculos, principalmente da temperatura dos gases estes são extraídos das

informações operacionais. Em geral as medições de temperatura em regiões fortemente aquecidas não são confiáveis.

Na maioria dos casos, os cálculos são baseados no modelo de cálculo térmico da Caldeira. Utilizam-se cálculos nas condições mais críticas nos pontos de temperaturas mais elevadas dos gases, por exemplo, na Usina J.L. III usou-se condições operacionais com queimadores posicionados na parte mais elevada no interior da Caldeira, afim de tornar os valores mais críticos em relação a fluência/fadiga). O valor adotado máximo foi de 1120 °C para o caso da repotencialização para 137,5 MW (a capacidade de geração de projeto é 125 MW), porém através de medições com termosonda constatou-se valores de até 1180 °C, utilizando-se queimadores posicionados na parte inferior da câmara de combustão (fornalha).

Os valores observados devem ser criteriosamente analisados afim de impedir a ocorrência de sobreaquecimento dos tubos dos Superaquecedores.

3.1 Qual é a influência da maneira como se aumenta a carga em relação a vida útil ?

a) O que acontecerá quando se aumenta a capacidade de geração de vapor da Caldeira ?

De acordo com os cálculos térmicos existem pequenas diferenças entre as temperaturas do vapor comparativamente com as temperaturas nominais de metal (aprox. 10°C) isto é devido a falta de exatidão de cálculo e que estas discrepâncias não são levadas em conta no cálculo da vida útil residual dos tubos. As análises são usadas exclusivamente para tubos no interior na Caldeira. Para a temperatura de metal considera-se o mesmo valor da temperatura do vapor. Esta premissa deve ser mudada devido que na prática os valores para o metal são maiores que os de temperatura do vapor.

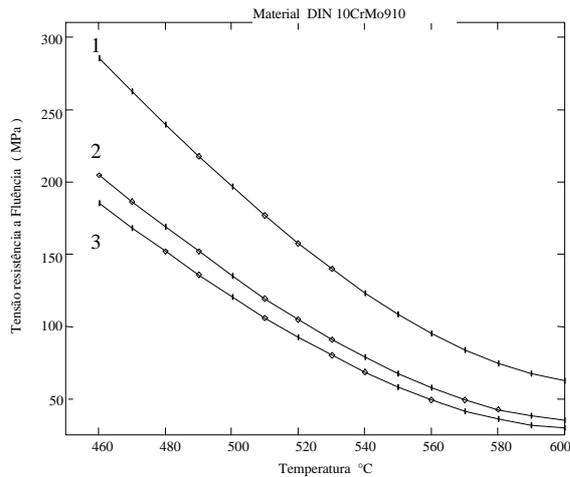
b) O que acontecerá quando se aumenta a temperatura de vapor?

Para um aumento da temperatura do vapor no tubo por exemplo em 10 °C, a vida útil pode cair de 200.000 horas até 100.000 horas, naturalmente que isto depende das características do material, pressão e região da Caldeira e as oscilações de temperatura.

As mais significativas influências em relação a resistência à fluência através da alteração da temperatura do material pela sua vida útil pode-se mostrar no gráfico que segue.

GRÁFICO 1- Tensão x Temperatura x Vida Útil

No gráfico 1, mostra-se a interdependência do *creep/stress* (fluência/fadiga) para diferentes temperaturas em relação as faixas de vida útil.



As curvas 1, 2 e 3 indicam a interdependência do *creep/stress* do material DIN 10CrMo 910 (Norma DIN 17175/79) e as temperaturas para as faixas de vida útil de 1.10^4 , 1.10^5 e 2.10^5 horas, respectivamente.

Foram escolhidos 3 tipos de material usados nas Caldeiras de J.L.III (UTLB), os quais são usados frequentemente para fabricação de tubos. Os aços são o DIN St45.8 (CSN 12022.1), DIN 15Mo3 (CSN 15020.5) e DIN 10 CrMo 910. Constata-se que para cada pequeno decréscimo da temperatura de metal este valor tem influência na sua vida útil. Para o aço DIN 10 CrMo 910, material principal dos superaquecedores finais, um aumento de 520 °C para 530 °C (10 °C apenas) reduz a vida útil destes componentes de 2.10^5 para 1.10^5 horas, de acordo com os gráficos de interdependência de resistência ao *creep-stress* pelas temperaturas e faixas de vida útil.

Se forem praticados valores de temperatura de vapor acima dos 510 °C esta alternativa não é a indicada para aumentar a carga da unidade, contudo, podem-se aplicar materiais mais resistentes afim de garantir que não surjam danos decorrentes da elevada temperatura de trabalho. Neste caso uma das soluções é o uso do material DIN X 20 CrMoV 12 1 ou ainda para casos mais extremos de temperaturas e pressões, o aço DIN X 10 CrMoVNb 91 (ASTM A 213 Gr. T91).

c) O que acontecerá quando se eliminam aquecedores de água de alta pressão (AAP) no Ciclo Térmico?

Com a eliminação dos AAP o efeito imediato será um aumento da carga térmica necessária na Caldeira e como conseqüência, há um acréscimo da temperatura de metal dos tubos. Esta questão fica indefinida pois depende do aumento da temperatura nas zonas críticas da Caldeira. Esta solução tem efeito na diminuição da vida útil dos tubos.

d) O que acontecerá quando se aumenta a temperatura de água de alimentação?

A vida útil devido esta alternativa não se altera de acordo com as características similares térmicas dos gases e materiais.

4.0 EXEMPLO PRÁTICO - JORGE LACERDA III

Um dos exemplos de aumento do geração elétrica pode ser a usina J.L.III – 2x125 MW a qual a mesma foi colocada em operação em 1979/80. Até março de 1999 estas unidades já operaram 116.000 horas. Foi construída através do consórcio entre as empresas da Checoslováquia Škoda-Export, SES Tlmace, Škoda Plzen e da Alemanha Deutsche Babcock. Atualmente opera com carga máxima de 131 MW, ou seja, 5 % acima do valor de projeto.

Para esta usina termelétrica foi elaborado um estudo no qual foram levantadas as possibilidades de aumento de geração. Os estudos foram elaborados pelas empresas SES Tlmace - fornecedor da Caldeira, Škoda Plzen - fornecedor da Turbina com participação da equipe de engenharia da GERASUL.

No transcorrer dos estudos foram elaborados testes para obtenção de diagnóstico, o qual possibilitou averiguar o “estado” dos equipamentos.

O projeto original permite operar com geração de 137.5 MW somente durante 3 horas por dia e para 131 MW por um período de 11 horas.

Efetuoou-se estudos no sentido de elevar a capacidade para 137.5 MW em regime contínuo com ênfase à preservação da vida útil dos equipamentos e o aumento da eficiência do ciclo térmico.

Parâmetros de projeto original:

Geração Elétrica (MW)	125
Pressão vapor entrada Turbina (bar)	108
Temp. Vapor SH entrada Turbina (°C)	510
Temp. Vapor RH entrada Turbina (°C)	510
Fluxo de Vapor SH entrada Turbina (t/h)	395
Fluxo de Vapor RH entrada Turbina (t/h)	385
Temp. Água Aliment. entrada Caldeira (°C)	160

SH = Superaquecido; RH = Reaquecido

Turbina:

Turbina é constituída de 3 partes, alta, média e baixa pressão com sistema de vapor reaquecido.

A geração nominal é 125 MW com rotação de 3600 rpm. Através das modificações nos componentes de entrada de vapor, isto é, nas válvulas de alta pressão e troca dos bocais 25 ao 28 (nozzle segments) é possível operar a Turbina continuamente com carga até 137.5 MW. Parâmetros nominais do vapor admissíveis devem ser preservados bem como a temperatura de água de resfriamento 30 °C (CWT- Cooling Water Temperature). Estas modificações permitem uma

sobrecarga até 140 MW sem influência para vida útil em relação a água de resfriamento no condensador.

Caldeira:

A Caldeira é do tipo circulação natural, com ciclo de reaquecimento, para queima de carvão antracito com poder calorífico inferior (LHV) de 17 MJ/kg. As paredes da câmara de combustão são membranadas. Os queimadores são 16 e os quais estão localizados na parede frontal em 4 níveis.

Resultados dos estudos para este caso prático:

No estudo foram calculados todas possibilidades mencionadas no presente trabalho.

Foi constatado que é possível aumentar a geração para 137.5 MW em regime contínuo de operação.

O modo mais conveniente é o aumento da geração do vapor sem mudança na temperatura do vapor superaquecido e reaquecido da saída da Caldeira com aumento do pressão. Na parte de alta pressão da Turbina será aumentada a área de admissão de vapor. Simultaneamente é recomendável diminuir o fluxo de água de injeção do vapor reaquecido.

As providências sugeridas deverão ser desprezíveis para a questão da vida útil da Turbina e para os componentes de pressão da Caldeira localizadas externamente a mesma. Na região dos gases esta alternativa deve influenciar de forma particular e parcial na vida útil residual nos tubos de saída do Superaquecedor secundário.

Após as modificações é possível operar a Caldeira continuamente com os parâmetros seguintes:

Geração Elétrica (MW)	137.5
Pressão vapor entrada Turbina (bar)	110
Temp. Vapor SH entrada Turbina (°C)	510
Temp. Vapor RH entrada Turbina (°C)	510
Fluxo de Vapor SH entrada Turbina (t/h)	411.8
Fluxo de Vapor RH entrada Turbina (t/h)	402.7
Temp. Água Aliment. na Caldeira (°C)	163.9

SH = Superaquecido; RH = Reaquecido

Os parâmetros pressupostos para a nova condição de operação serão atingidos após uma análise final envolvendo testes em regime contínuo com máxima carga. Após as primeiras alterações feitas na Caldeira (3ª injeção de água para o Reaquecedor) observou-se durante o funcionamento que se atingiu carga até 140 MW, sem comprometimento com as partes de elevadas pressões e temperaturas.

5.0 CONCLUSÕES

Obviamente que as decisões sobre a realização das modificações necessárias sempre dependem das avaliações econômicas, dentre as quais destaca-se a questão da comercialização do incremento obtido na

capacidade de geração instalada, a disponibilidade de geração, etc..

Na maioria dos casos uma das predominantes dificuldades é como oportunizar a execução de tais alterações, pois as mesmas são efetuadas normalmente em aproveitamento as intervenções de manutenção de grande porte.

Em geral, o retorno dos investimentos feitos nas plantas térmicas é atrativo, já que consegue-se um acréscimo de eficiência no ciclo em torno de 1 % na condição de carga máxima atingida após as implementações nos componentes das Caldeiras, ciclo térmico e Turbina.

As definições devem levar em conta a preservação da vida útil dos equipamentos envolvidos. Quaisquer alternativas que comprometem a vida útil devem ser descartadas, a menos que se façam mudanças de materiais, por exemplo, afim de garantir a não degradação dos componentes referidos no presente trabalho.

6.0 BIBLIOGRAFIA

- (1) "Intelligent inspection management system for fossil power plant" M. Aguado, L. Tauroni, Tecnatom S.A. Power Gen 1995, Amsterdam.
- (2) "Zvyšovanie výkonu starších tepelných elektrární a vplyv zvýšeného výkonu na zvyškovúivotnos tlakových astí kotlov." Gnyp, Slusny, Fiala - Newspaper Energetika 4/99.
- (3) "Parní kotly" erný, Janeba, Teysler SNTL Praha 1983.
- (4) Normas STN 41 5020, STN 41 2020, DIN 10CrMo910.
- (5) "How to avoid problems with superheaters and reheaters", D.N. French, Riley Stoker Co.
- (6) "Assess the remaining life of high-temperature boiler parts", G. Harth, M. Rechner, Babcock & Wilcox Co, Power, August 1985, pp69-72.
- (7) Relatório "Microstructural Analysis by Réplicas from Steel Components of Unit 6 - Jorge Lacerda III power plant" - CEPEL, 1997/98.
- (8) "A influência da manutenção pró-ativa nas Caldeiras da UTE Jorge Lacerda B - UTLB na disponibilidade de geração", Felipe L., Santo E.O., CO-GUT-01, II SEMASE, 1998.
- (9) "Inovação no método de manutenção dos pré-aquecedores de ar da UTE Jorge Lacerda B - UTLB", Felipe L., Costa D., Coelho R., X Congresso Brasileiro de Manutenção, ABRAMAN, 1995.