

APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL PARA MELHORIA DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE CALDEIRAS

Daniel E. Castro, PhD. (1)

Igor Fabiano Silveira (2)

Resumo

Hoje, cada vez mais, existe um palco incessantemente mutável do mundo empresarial. É neste contexto que o OEE – Overall Effectiveness Equipment (ou Rendimento Global dos Equipamentos) surge como ferramenta para medir a eficácia dos processos produtivos. O OEE tem sua origem diretamente ligada ao TPM – Total Productive Maintenance (Manutenção Produtiva Total). Atualmente o OEE é visto por vários consultores como ferramenta padrão para a medição da eficácia de processos produtivos e a identificação dos potenciais de ganho. TPM, através dos seus oito pilares, propõe ações de gerenciamento de manutenção buscando a máxima eficiência dos processos. Este trabalho visa a medição do OEE em caldeiras flamotubulares, e a proposição de uma metodologia baseada na análise de risco, que permita otimizar a aplicação do programa TPM neste tipo de equipamentos.

Palavras chaves: rendimento global dos equipamentos, manutenção produtiva total, caldeiras flamotubulares.

(1)- CEFET-MG – Professor de ensino superior e Coordenador de Grupo de pesquisa – daniel@plusengenharia.com.br

(2)-CEFET-MG – Aluno do curso de Mestrado de Engenharia de Energia- igorfsilveira@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O Brasil vem se posicionando como um país cada vez mais importante no contexto industrial mundial. Para que as empresas brasileiras possam desenvolver estratégias de produção competitivas e eficazes, capazes de enfrentar as necessidades impostas pelas normas da concorrência globalizada, é essencial compreender a relação entre os fatores de produção vigentes no país. É possível afirmar que os investimentos em ativos fixos no Brasil tendem a ser consideravelmente onerosos quando comparados com a realidade dos países desenvolvidos, fazendo com que esse tipo de recurso seja um elemento restritivo da competitividade das empresas. Parece relevante apresentar alguns questionamentos:

- As empresas brasileiras medem a eficiência de utilização das suas máquinas?
- A utilização dos ativos fixos existentes nas empresas brasileiras é eficaz?
- As empresas brasileiras determinam a eficiência das máquinas, a sua capacidade produtiva e a relação entre a capacidade produtiva e a demanda de mercado?

As possíveis respostas às questões acima passam pelo domínio do OEE cuja origem encontra-se intimamente relacionado com a tecnologia de gestão intitulada TPM. Conceitualmente, é necessário perceber que a adoção e utilização do OEE como forma de calcular a eficiência operacional pressupõe uma ação integrada entre os profissionais responsáveis pela produção, manutenção, qualidade, processo, grupos de melhoria, logística, etc. (HANSEN, 2006). A partir de uma perspectiva pragmática, medições realizadas em empresas brasileiras que atuam em segmentos tão diversos como metal-mecânica, alimentos, têxtil, calçados, moveleira, plástico e petroquímica tendem a mostrar que os recursos produtivos 'gargalo' das empresas analisadas operam, via de regra, com OEE insuficiente, tendo um conjunto significativo de casos com valores inferiores a 50%. Estas medições evidenciam (HANSEN, 2006):

- Os valores obtidos são muito baixos se comparados aos índices propostos pelo JIPM, da ordem de 85%;
- O elevado potencial de melhorias na utilização dos equipamentos já instalados nas empresas nacionais;
- A necessidade de aprofundar os estudos relativos à utilização de máquinas na indústria brasileira.

A metodologia TPM é uma técnica revolucionária em termos de visão empresarial. Seus resultados são quantitativos e qualitativos, e cada vez mais empresas no mundo estão implantando TPM para garantir níveis de excelência mundial nos seus processos (CASTRO, 2006). Anualmente é publicado o ranking das empresas certificadas pelo JIPM. Para se certificarem, as empresas se submetem a uma auditoria dos seus processos na qual é avaliado o nível de utilização do TPM. A certificação é definida por diversos fatores, tais como: tempo de permanência do programa, resultados quantitativos e qualitativos, etc. No ano de 2008 foram certificadas 61 plantas industriais em todo o mundo, sendo 5 no Brasil. Já no ano de 2009 foram certificadas 44 plantas industriais em todo o mundo, sendo apenas uma no Brasil (JIPM, 2010).

Este trabalho visa aplicar TPM em apenas um tipo de equipamento, caldeiras flamotubulares, buscando demonstrar suas ferramentas de forma mais

detalhada. A escolha da aplicação do TPM neste tipo de equipamento se deve ao fato de que grande parte da geração de energia elétrica do hemisfério norte utiliza vapor d'água como fluido de trabalho em ciclos termodinâmicos, transformando a energia química de combustíveis fósseis em energia mecânica, e em seguida, em energia elétrica. Cerca de 80% das indústrias de processo químico tem vapor como principal fonte de aquecimento: reatores químicos, trocadores de calor, evaporadores, secadores, etc. Outros setores industriais, como metalúrgico e metal-mecânico também utilizam vapor como fonte de aquecimento de diversos processos. Assim, as caldeiras se encontram entre os equipamentos que mais consomem combustível fóssil no mundo. A redução das perdas neste tipo de equipamento teria um grande impacto na redução do consumo mundial de combustíveis: atualmente, dois terços dos combustíveis fósseis são utilizados em sistemas térmicos com combustão.

2. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é a proposição de ações vinculadas à metodologia TPM para aplicação em caldeiras flamotubulares para reduzir as perdas do OEE. Como objetivos específicos pretende-se:

- Medir o OEE de três caldeiras, de pequeno, médio e grande porte, identificando as perdas e comparando os resultados.
- Propor ações vinculadas aos oito pilares do TPM para aplicação em caldeiras flamotubulares visando a redução dessas perdas.

3. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA GLOBAL DE CALDEIRAS FLAMOTUBULARES

Neste tópico será apresentado o cálculo do OEE para três caldeiras flamotubulares, inseridas em diferentes processos produtivos. Para o cálculo do OEE é necessário definir os seguintes parâmetros:

-Tempo de Carga:

$$T_C = T_T - T_P \quad (1)$$

- T_C : tempo de carga
- T_T : intervalo de tempo total que estão sendo analisadas as amostras coletadas (tempo calendário);
- T_P : tempo planejado previamente para não haver produção, não considerado no cálculo do OEE;

-Tempo Operacional:

$$T_O = T_C - (T_M + T_N) \quad (2)$$

- T_O : tempo operacional
- T_M : tempo de paradas planejadas para manutenção da caldeira;
- T_N : tempo de paradas não planejadas (corretivas) para manutenção da caldeira;

-Disponibilidade:

$$D_p = \frac{T_O}{T_C} \quad (3)$$

-Desempenho:

$$D_N = \frac{V_P \cdot C_N}{T_o} \quad (4)$$

- V_P : quantidade de vapor produzido (kg) medido através da vazão de vapor ou da diferença de nível do reservatório de água, uma vez que a quantidade de água que entra é a mesma quantidade de vapor que sai da caldeira, por hipótese;
- C_N : tempo mínimo necessário para se produzir uma unidade de vapor (h/kg). O tempo de ciclo teórico ou capacidade nominal é definido como a maior produtividade observada através das medições.

-Qualidade:

$$Q_L = \frac{U_B}{U_T} \quad (5)$$

- U_B : vapor produzido com a qualidade desejada ao processo a que ele se destina.
- U_T : total de vapor produzido no intervalo de tempo analisado.

Assim o OEE é definido como o produto dos fatores apresentados nas equações anteriores:

$$OEE = D_p \cdot D_N \cdot Q_L \quad (6)$$

3.1 CALDEIRA ATA-2 (CEFET-MG)

A caldeira ATA-2 está situada no CEFET-MG, sendo um equipamento destinado à realização de experimentos, portanto esta não está inserida em nenhum processo produtivo. Assim, o cálculo do OEE para a caldeira ATA-2 será definido da seguinte forma:

- D_P (Disponibilidade) será de 100%, uma vez que se trata de um equipamento de laboratório que, mesmo que apresentasse paradas, não existe uma equipe de manutenção;
- V_P (volume processado) será a diferença de nível de água do reservatório;
- C_N (tempo de ciclo teórico) será definido como a maior produtividade observada através das medições, ou seja, a máxima de massa de vapor produzida em um mesmo intervalo de tempo;
- Q_L (qualidade) também será de 100%, pois o vapor que sai da caldeira não será fornecido para nenhum processo posterior, ou seja, não existe um nível de qualidade desejado para o produto (vapor). Segundo FALCONI, 1992, um produto ou serviço com qualidade é aquele que sempre atende perfeitamente e de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente. A qualidade foi determinada desta maneira, pois este trabalho visa analisar cada caldeira em seu contexto produtivo e, já que a ATA-2 é um equipamento destinado à prática de experimentos, o nível de qualidade desejado ao vapor é a própria produção de vapor, para o fim a que este se destina (prática de aulas e experimentos). Por este motivo, a perda de início de produção, também relacionada com a qualidade, não será considerada. Desta forma, o tempo de carga será o tempo em que

estão sendo coletadas as amostras, no momento em que a caldeira está produzindo o vapor.

Portanto, se os termos D_P e Q_L são de 100%, $OEE = D_N$. Como o vapor é o produto da caldeira, o cálculo do desempenho será dado pela divisão da vazão mássica de vapor de cada medição pela máxima vazão apresentada em todos os dados (675 kg/h). De acordo com a Tab. (1), o OEE é de 78,26%. Isto significa que 1,23 horas foram perdidas em um total de 5,67 horas medidas. A disponibilidade e a qualidade são de 100% como explicado anteriormente. Portanto o OEE foi o próprio desempenho e, como não houve registros de microparadas, toda a perda apresentada se deve à redução de velocidade. Temos, portanto um potencial de ganho de 21,74%.

TABELA 1: OEE-mv DA CALDEIRA ATA-2 E SUAS PERDAS.

OEE-mv ATA-2					DESCRIÇÃO DA PERDA	GAP	
TEMPO DE PRODUÇÃO (Horas)			EFICIÊNCIAS			Avarias	0,00
	Produtivo	Gap		%	Gap	Setup	0,00
Tempo de carga	5,67		Disponibilidade	100,00%	0,00%	Microparadas	0,00
Disponibilidade	5,67	0,00	Desempenho	78,26%	21,74%	Redução de velocidade	1,23
Desempenho	4,44	1,23	Qualidade	100,00%	0,00%	Defeitos e retrabalhos	0,00
Qualidade	4,44	0,00	OEE	78,26%	21,74%	Perdas de início de produção	0,00
						TOTAL	1,23

3.2 CALDEIRA HEATMASTER-500HP (CEDRO)

A segunda caldeira a ser estudada é da marca HEATMASTER, modelo Wood Fired 500 HP, inserida em um processo produtivo real. A caldeira está situada na Fábrica de Tecidos Cedro, em Sete Lagoas-MG, e tem a finalidade de produzir vapor para o processo de secagem, cozimento, alvejamento e estampagem de tecidos. Esta caldeira se mantém em operação durante 24 horas por dia, todos os dias do mês. Portanto, o tempo de carga será o próprio tempo calendário. A disponibilidade será o tempo de carga menos o tempo de paradas por manutenções preventivas ou corretivas, retiradas dos apontamentos de paradas. Para o cálculo do desempenho serão utilizados os apontamentos de produção, onde o operador da caldeira anota, de hora em hora, o consumo de água. Quanto à taxa de qualidade, será de 100% pois, ainda que pressões inferiores a 3 kgf/cm² comprometam os processos posteriores, não foi registrada esta situação. Isto se deve ao fato de que existem várias outras caldeiras conectadas entre si, que sempre mantém a pressão de trabalho necessária aos processos seguintes nas tubulações de vapor. Inclusive, várias dessas caldeiras não necessitam estar ligadas todo o tempo devido à baixa demanda comparada à capacidade de produção. Na Tab. (2) são apresentados os resultados do OEE separados em disponibilidade, desempenho e qualidade.

TABELA 2: OEE DA CALDEIRA HEATMASTER-500HP (JAN A SET/2010).

	Disponibilidade (%)	Desempenho (%)	Taxa de Qualidade (%)	OEE (%)
jan/10	83,56%	72,32%	100,00%	60,43%
fev/10	83,48%	69,02%	100,00%	57,62%
mar/10	89,78%	71,97%	100,00%	64,61%
abr/10	81,81%	69,94%	100,00%	57,22%
mai/10	81,99%	72,18%	100,00%	59,18%
jun/10	51,94%	74,63%	100,00%	38,76%
jul/10	84,41%	79,55%	100,00%	67,15%
ago/10	83,20%	74,94%	100,00%	62,35%
set/10	86,88%	73,51%	100,00%	63,87%
Média	80,78%	73,12%	100,00%	59,02%

Notamos que a média da disponibilidade dos nove meses avaliados foi de 80,78%, significando que temos um potencial de aproveitamento de 19,22% de perdas evitadas por paradas de manutenção da caldeira. Para o desempenho, a média foi de 73,12%, ou seja, 26,88% de potencial de ganho sobre os 80,78% medido na disponibilidade. A média geral do OEE foi de 59,02%, deixando um potencial de ganho de 40,98% no total. Mesmo que não garantisse um OEE de 100%, pode-se analisar em relação aos níveis esperados pelo JIPM de 85%. Assim, tem-se um potencial de ganho de 24,98% para chegar aos 85% tido como um valor consideravelmente alto de OEE. Na Tab. (3) estão apresentadas as seis grandes perdas do processo de todos os meses analisados.

TABELA 3: SEIS GRANDES PERDAS DO OEE DA CALDEIRA HEATMASTER-500HP (JAN A SET/2010).

DESCRIÇÃO DA PERDA	jan/10	fev/10	mar/10	abr/10	mai/10	jun/10	jul/10	ago/10	set/10	Média	Soma
Avarias	110,50	111,00	76,00	131,00	134,00	346,00	116,00	125,00	94,50	138,22	1244,00
Setup	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Microparadas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Redução de velocidade	155,42	173,80	187,24	177,05	169,70	94,88	128,43	155,12	165,69	156,37	1407,34
Defeitos e retrabalhos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Perdas de início de produção	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	265,92	284,80	263,24	308,05	303,70	440,88	244,43	280,12	260,19	294,59	2651,34

Percebe-se que o mês de junho/2010 apresenta o menor valor de disponibilidade e OEE entre os meses analisados, onde 346 horas foram perdidas por avarias. Isto se deve ao serviço realizado da troca de 151 tubos, ficando quase 12 dias com a caldeira parada para esta manutenção. Em média foram registradas 138,22 horas de perdas por avarias e 156,37 horas de redução de velocidade, totalizando uma perda média de 294, 59 horas.

3.3 CALDEIRA AALBORG-10G (BELGO)

A terceira caldeira é da marca AALBORG, tipo M3P, modelo 10G, inserida em um processo produtivo real, situado na Belgo - Contagem-MG e tem a finalidade de produzir vapor para o processo de decapagem de arame de aço. Os três termos do OEE (disponibilidade, desempenho e taxa de qualidade) serão calculados da mesma maneira que na caldeira HEATMASTER. Porém, os apontamentos de consumo de água (produção de vapor) são realizados semanalmente. Portanto o desempenho, e conseqüentemente o OEE, serão calculados por semana. Além disso, foram apresentados casos em que o vapor produzido ficou com pressão abaixo da desejada no processo (6 kgf/cm²). A pressão é medida continuamente e são extraídos relatórios por turno. Desta

forma, a taxa de qualidade será menor do que 100% em alguns casos. Os apontamentos apresentados contemplam um intervalo de tempo que inicia no dia 25/04/2010 e termina no dia 31/07/2010. O Gráfico 1 apresenta a comparação dos OEE's médios por semana nesta caldeira.

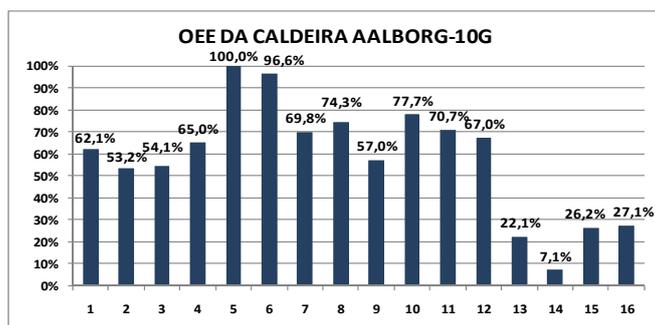


GRÁFICO 1: OEE DA CALDEIRA AALBORG-10G

Na Tab. (4) são apresentados os dados do OEE da caldeira Aalborg-10G em todas as semanas analisadas

TABELA 4: OEE DA CALDEIRA AALBORG-10G E SUAS PERDAS (TOTAL).

OEE AALBORG - Total					DESCRIÇÃO DA PERDA	GAP	
TEMPO DE PRODUÇÃO (Horas)		EFICIÊNCIAS			Avarias	504,00	
	Produtivo	Gap		%	Setup	0,00	
Tempo de carga	2.688,00		Disponibilidade	81,25%	18,75%	Microparadas	0,00
Disponibilidade	2.184,00	504,00	Desempenho	70,40%	29,60%	Redução de velocidade	646,46
Desempenho	1.537,54	646,46	Qualidade	99,80%	0,20%	Defeitos e retrabalhos	3,00
Qualidade	1.534,54	3,00	OEE	57,09%	42,91%	Perdas de início de produção	0,00
					TOTAL	1153,46	

O primeiro quadro apresenta o tempo de carga (16x(7x24 h)=2.688 h) e os tempo perdidos de disponibilidade (504 h), desempenho (646,46 h) e qualidade (3 h). O segundo quadro apresenta o resultado em percentual de horas perdidas. Finalmente, o terceiro quadro apresenta as seis grandes perdas do processo, onde a disponibilidade está representada pelas avarias, o desempenho pela redução de velocidade e a qualidade por defeitos e retrabalhos. Não foram registradas perdas de início de produção, microparadas e *setup*. Existe, portanto, um potencial de ganho de 42,91%. Na Tab. (5) são apresentados os resultados do OEE separados em disponibilidade, desempenho e qualidade.

TABELA 5: OEE DA CALDEIRA AALBORG-10G.

SEMANA	DISPONIBILIDADE	DESEMPENHO	QUALIDADE	OEE
1	90,5%	68,9%	99,6%	62,1%
2	100,0%	53,2%	100,0%	53,2%
3	85,7%	63,2%	100,0%	54,1%
4	100,0%	65,0%	100,0%	65,0%
5	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
6	100,0%	96,6%	100,0%	96,6%
7	100,0%	69,8%	100,0%	69,8%
8	100,0%	74,3%	100,0%	74,3%
9	100,0%	57,0%	100,0%	57,0%
10	100,0%	77,8%	99,9%	77,7%
11	100,0%	70,7%	100,0%	70,7%
12	100,0%	67,0%	100,0%	67,0%
13	28,6%	77,4%	99,9%	22,1%
14	14,3%	50,0%	99,7%	7,1%
15	33,3%	78,5%	99,3%	26,2%
16	47,6%	57,0%	100,0%	27,1%
Média	81,3%	70,4%	99,8%	57,1%

Observa-se que a média da disponibilidade das dezesseis semanas avaliadas foi de 81,3% e para o desempenho, a média foi de 70,4%. A média geral do OEE para esta caldeira foi de 57,1%, deixando um potencial de ganho total de 42,9%. Entre as semanas 13 e 16, os valores do OEE estiveram bem abaixo das demais semanas analisadas devido ao alto tempo em que a caldeira ficou parada por manutenção.

3.4 COMPARATIVO ENTRE AS CALDEIRAS ESTUDADAS

Na Tab. (6) é apresentado um resumo dos fatores de disponibilidade, desempenho e qualidade para as três caldeiras com o tempo total analisado em cada caso.

TABELA 6: COMPARATIVO DO OEE PARA AS TRÊS CALDEIRAS ESTUDADAS.

EFICIÊNCIA	ATA-2	HEATMASTER-500HP	AALBORG-10G
Disponibilidade	100,00%	80,78%	81,25%
Desempenho	78,26%	73,12%	70,40%
Qualidade	100,00%	100,00%	99,80%
OEE	78,26%	59,02%	57,09%

Os valores de disponibilidade apresentados para as caldeiras Heatmaster e Aalborg foram muito próximos. Vale lembrar que ambas as caldeiras inseridas em processos produtivos apresentam um alto índice de perdas por disponibilidade, mas, ainda que estas caldeiras estejam indisponíveis para produzirem vapor neste tempo, existem nas empresas outras caldeiras para suprirem a necessidade de vapor dos processos. Desta forma, não há uma preocupação muito grande em relação à indisponibilidade do equipamento, porque o processo produtivo não fica comprometido, uma vez que o vapor continua sendo produzido por outras caldeiras. As perdas por desempenho representam de 20 a 30% nas caldeiras estudadas. Grande parte dessa perda está relacionada à deficiência de regulagem da mistura ar x combustível. Isto porque depois de ligada a caldeira, esta se mantém em funcionamento quase sem a interferência humana e mesmo assim há uma variação de produção de vapor, mesmo não havendo paradas de equipamento, variação de regulagem ou outras interferências externas. A taxa de qualidade, mesmo que haja perdas na caldeira Aalborg, é praticamente de 100%, pois as perdas apresentadas são desprezíveis se comparada aos outros fatores. As caldeiras estudadas têm características operacionais bem distintas uma das outras, como mostra a Tab. (7):

TABELA 7: CARACTERÍSTICAS DAS CALDEIRAS ESTUDADAS.

CARACTERÍSTICAS	ATA-2	HEATMASTER-500HP	AALBORG-10G
Empresa/ instituição	CEFET	CEDRO	BELGO
Processo produtivo	Laboratório	Tecidos	Arames
Combustível	Óleo BPF	Lenha	Gás natural
Produção teórica de vapor	500 kg/h	6630 kg/h	10000 kg/h
OEE	78,26%	59,02%	57,09%

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste tópico será realizada a análise das perdas do OEE das caldeiras. Como este indicador é a representação matemática dada pela multiplicação de três fatores, este item será dividido na discussão dos resultados desses fatores: disponibilidade, desempenho e qualidade, conforme será apresentado.

4.1 DISPONIBILIDADE

Este termo foi de 100% para a caldeira ATA-2 do Laboratório de Máquinas Térmicas do CEFET, 80,78% para a Heatmaster-500HP da Cedro Tecidos e 81,25% para a Aalborg-10G da Belgo. No caso da primeira caldeira, como foi apresentado no item quatro, não foi registrado nenhuma parada por manutenção. Já na caldeira Heatmaster-500 HP, a perda foi de 19,22% devido a paradas por manutenção. Esta perda representa em média 5,83 dias/mês. O mês mais crítico foi em junho/2010 com 51,94%. Neste mês houve a troca de 151 tubos de fogo da caldeira, sendo que esta manutenção durou 12 dias. Outros 5 dias nos 9 meses analisados, foram utilizados para a limpeza dos tubos e inspeção de segurança da caldeira. Ainda foram registradas 30 horas de paradas corretivas para soldar tubos e espelhos furados. Em entrevista com os mantenedores e operadores da caldeira, foi relatado que as paradas da caldeira não indisponibilizam a produção, pois existem outras caldeiras stand-by. A preferência pela operação desta caldeira é devido ao menor custo do combustível (lenha) comparado ao gás natural da caldeira reserva.

Na caldeira Aalborg-10G, a perda por disponibilidade foi de 18,75%, representando 504 horas das 2.688 horas totais analisadas. Foram 36 dias com a caldeira parada dos 132 do total. Estas perdas se devem a uma sequência de fatos, iniciado por um vazamento de água no visor de nível, com 7 dias de parada e se estendendo por outros 7 dias para sanar um vazamento de vapor na saída da caldeira. Desses 36 dias, 20 foram dedicados à espera pela assistência técnica, sua manutenção e inspeção (teste hidrostático, aferição dos instrumentos, etc). Isto porque o fabricante foi acionado após a falha, não havendo planejamento desta manutenção. Mas, assim como a caldeira Heatmaster, a Aalborg também tem uma caldeira *stand-by* cobrindo suas possíveis falhas e, portanto não indisponibilizando o processo produtivo. A desvantagem desta parada é que em certos casos, quando a produção é maior, é necessário ligar duas outras caldeiras para suprir a pressão mínima necessária para o processo, fazendo com que aumente o custo de combustível e manutenção.

4.1.1 DESEMPENHO

Nos dados dos experimentos apresentados no item 3, a média do desempenho foi de 78,26%, representando 1,23 horas de perdas, das 5,67 horas totais. Ou seja, poderiam ter sido produzidos 830 kg a mais de vapor neste mesmo tempo. Essas perdas foram observadas quando sua chama não se mantinha constante. A caldeira Heatmaster-500HP apresentou uma perda de 21,74% de desempenho. O maior valor de produtividade registrado foi de 9.875 kg/h, e sua média de 7.221 kg/h (73,12%), representando 2.654 kg/h de perda. As perdas estão todas representadas pela redução de velocidade, não havendo histórico de microparasas. O desempenho foi o fator de maior perda do OEE desta caldeira. Por outro lado, se comparada a maior produtividade observada com a capacidade nominal de projeto para a produção de vapor, de 6.630 kg/h, o valor médio de desempenho ficou acima do proposto pelo fabricante. Mas não podemos esquecer que sua produção de vapor conseguiu níveis mais elevados do que este e, sendo assim, o cálculo do desempenho leva em consideração a máxima produtividade já atingida na prática, para que se possa visualizar o potencial de ganho para a produção de vapor. Da mesma forma, o

comportamento da caldeira Aalborg-10G foi semelhante à Hetamaster-500 HP. A maior perda do OEE também foi de desempenho, com 70,40%, representando 1.234 kg/h de perda, onde a máxima registrada foi de 7.143 kg/h. Porém, no caso desta caldeira, foram apontadas perdas de redução de velocidade (519,71 h) e microparadas (126,75 h) em um total de 646,46 horas das 16 semanas estudadas. Se comparada à capacidade de produção de vapor fornecida pelo fabricante (10.000 kg/h), a média de produção de vapor (5.028 kg/h) fica bem abaixo desta, representando quase 50% de defasagem. Neste caso, se o desempenho fosse calculado pela capacidade nominal fornecida pelo fabricante, a perda seria ainda maior.

4.1.2 QUALIDADE

O único caso em que se registrou essa perda foi na caldeira Aalborg-10G, onde o gap foi de 0,2% devido à pressão de trabalho estar abaixo daquela exigida pelo processo.

4.1.3 PRIORIZAÇÃO DO TPM UTILIZANDO ANÁLISE DE RISCO

Para a avaliação das falhas causadoras das perdas de OEE apresentadas será usada a metodologia FMEA (*Failure Modes and Effects Analyzis*) que também ajudará na priorização das ações. Assim, considera-se a função/finalidade do FMEA como: “Otimizar o índice de OEE das caldeiras estudadas” e, conforme apresentado na Tab. (8), inicia-se pela identificação dos modos de falha utilizando-se um modelo de formulário padrão para elaboração do FMEA.

TABELA 8: FMEA DAS PERDAS DE OEE.

FMEA - Análise de Efeitos e Modos de Falha								
Função/ finalidade: Otimizar o índice de OEE das caldeiras estudadas.								
Modo de Falha	Efeito	Severidade	Causa	Ocorrência	Controle	Deteção	Ação / Pilares do TPM	RPN
Alto índice de MTTR da caldeira AALBORG	Perda de 18,75% de OEE (18,75% de disponibilidade)	4	Demora no atendimento da assistência técnica	4	Buscar assistências técnicas mais eficazes	1	Manutenção especializada	16
			Falta de planejamento prévio por parte do PCM	3	Estender o horizonte de planejamento	1	Manutenção especializada	12
Redução de velocidade da caldeira AALBORG	Perda de 24,04% de OEE (29,59% de desempenho)	5	Mistura ar x combustível deficiente	5	Regulagem da chama	5	Manutenção autônoma	125
Vazamento de água nos tubos da caldeira HEATMASTER	Perda de 19,22% de OEE (19,22% de disponibilidade)	4	Falta de manutenção preventiva	3	Inspeção interna da caldeira	2	Manutenção especializada SHE	24
Redução de velocidade da caldeira HEATMASTER	Perda de 21,76% de OEE (26,88% de desempenho)	5	Mistura ar x combustível deficiente	5	Regulagem da chama	5	Manutenção autônoma	125
Redução de velocidade da caldeira ATA	Perda de 21,74% de OEE (21,74% de desempenho)	5	Mistura ar x combustível deficiente	5	Regulagem da chama	5	Manutenção autônoma	125

Como os modos de falha são os principais fatores causadores das perdas de OEE observadas, é relatado o efeito produzido por cada modo de falha, dado em percentual de perda. Para cada efeito tem-se sua severidade correspondente e, tanto a severidade, quanto a ocorrência e a detecção são valores que variam de 1 a 5, de acordo com seu grau de importância. A seguir são apresentadas as causas básicas para cada falha. Porém, em vários desses casos seria necessário um estudo mais aprofundado para identificar suas causas raízes. A ocorrência de cada causa foi avaliada e o controle é a proposição de ações imediatas para tentar evitar as causas dessas falhas. A detecção está vinculada à identificação das causas fundamentais dos modos de falha. No campo ação são apresentados apenas os pilares aos quais estão vinculados às ações que serão propostas no próximo capítulo. Finalizando, o RPN (*Risk Priority Number*) é a multiplicação dos termos quantitativos (severidade, ocorrência e detecção).

A média dos valores de RPN agrupados por pilar são organizados de forma decrescente, do maior potencial de ganho para o menor, de forma a identificar as ações mais prioritárias para serem implementadas na busca da redução das perdas de OEE, conforme apresentado no Gráfico 2.

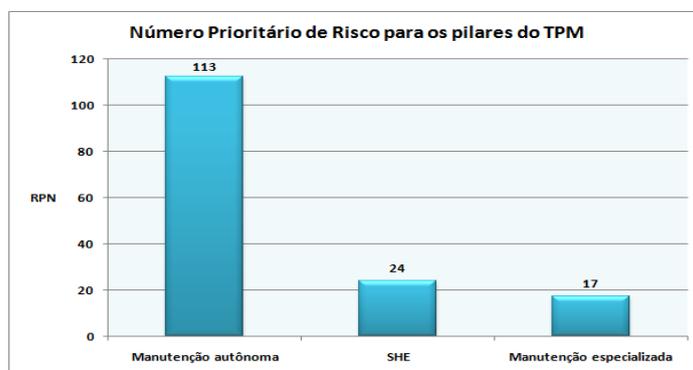


GRÁFICO 2: IDENTIFICAÇÃO DAS AÇÕES PRIORITÁRIAS

As quatro ações mais prioritárias tratam da mesma causa, “Mistura ar x combustível deficiente” para os modos de falha relacionados à redução de velocidade, cujo principal pilar relacionado a essa causa é a Manutenção Autônoma. As quatro menos prioritárias estão ligadas às perdas de disponibilidade que, apesar de apresentarem valores menores, são mais fáceis de serem identificadas as causas e implementadas as ações.

5 APLICAÇÃO DO TPM EM CALDEIRAS FLAMOTUBULARES

Neste tópico serão propostas ações ligadas aos pilares do TPM, aplicadas às caldeiras estudadas, para a redução das perdas do OEE observadas. Para isto, as causas dos modos de falha do FMEA apresentadas na Tab. (8) serão tratadas, buscando identificar e atacar diretamente as causas raízes dos problemas que geram tais perdas. Desta forma, este tópico busca identificar os pilares que devem ser trabalhados para se conseguir níveis satisfatórios de OEE e implantá-los em um curto espaço de tempo com ações direcionadas aos pontos de maiores riscos. De acordo com as perdas observadas e a análise dos modos de falha, na Tab. (9) os pilares do TPM são relacionados às perdas do OEE, direcionado ao tratamento de suas causas.

TABELA 9: PERDAS RELACIONADAS AOS PILARES DO TPM.

PILARES DO TPM	OEE					
	Disponibilidade		Desempenho		Qualidade	
	1- Avarias	2- Setup	3- Microparadas	4- Red. velocidade	5- Defeitos	6- Início produção
1- Melhoria focalizada	x	x	x	x		x
2- Manutenção especializada	x					
3- Manutenção autônoma		x	x	x		x
4- Gerenciamento do ciclo de vida						
5- Educação e treinamento	x	x	x	x		x
6- Manutenção da qualidade						
7- SHE	x					
8- TPM-Office						

A seguir serão descritas as ações prioritárias recomendadas para o tratamento das perdas de OEE, separadas pelos pilares do TPM.

5.1 MELHORIA FOCALIZADA

O pilar de melhoria focalizada está sustentado no indicador OEE. Através da identificação das perdas relacionadas à disponibilidade, desempenho e qualidade são realizados estudos na busca da identificação das causas raízes e propostas ações de bloqueio para as falhas identificadas. Portanto, o tópico 3 deste trabalho é parte das ações propostas neste pilar. Assim, todas as perdas observadas utilizam este pilar para identificar, analisar e propor melhorias para evitá-las, conforme apresentado na Tab. (9).

5.2 MANUTENÇÃO ESPECIALIZADA

Este pilar, como apresentada na Tab. (9), tem suma importância no tratamento das perdas de avarias, através de planos de manutenção consistentes e uma gestão de manutenção que garanta a confiabilidade do equipamento. No tópico 3 foram analisadas as falhas da caldeira Heatmaster-500HP, onde foram observadas várias manutenções corretivas de vazamento de água, e na Aalborg-10G, a falha de planejamento na parada da caldeira para a manutenção preventiva realizada pela assistência técnica do fabricante. O setor de Manutenção deve se especializar em técnicas mais modernas de atuação nos equipamentos e formas eficazes de gestão deste processo.

5.3 MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

Este é o pilar mais importante na priorização de risco, que trata as perdas de redução de velocidade. O acompanhamento constante dos operadores e o cumprimento de procedimentos padrões de operação fazem com que se perceba com mais facilidade a combustão deficiente e que sejam tomadas ações de regulagem da mistura ar x combustível, otimizando a capacidade de produção. Apesar de não ter sido registrada perdas de *setup* em nenhuma das caldeiras, poderiam ser criadas paradas para a limpeza do bico injetor de combustível na fornalha, considerando que esta é uma atividade de regulagem, uma vez que à medida que o bico fica sujo, a caldeira se desregula. Assim, apesar de gerar uma perda por *setup* (e talvez de início de produção provocado pelo *setup*) poderiam ser evitadas perdas maiores de redução de velocidade.

5.4 EDUCAÇÃO E TREINAMENTO

Este pilar sustenta todos os demais no que diz respeito aos conhecimentos, habilidades e atitudes necessárias à aplicação das atividades contempladas nos pilares do TPM. Para isto, é necessário o uso de ferramentas de gestão que auxiliem na identificação da necessidade de treinamentos para os funcionários e a promoção de nivelamento do conhecimento necessário à função. Portanto, para todas as perdas apresentadas na Tab. (9) é proposta sua utilização.

No Brasil, a baixa capacitação da mão-de-obra é um desafio a ser enfrentado na implantação do TPM. O pilar de educação e treinamento tem suma importância na formação e sustentação das competências necessárias a cada função da mão-de-obra relacionada ao processo.

5.5 SAÚDE, SEGURANÇA E MEIO AMBIENTE

Todos os pilares devem estar atentos às exigências relacionadas à saúde, segurança e meio ambiente para atendimento às normas vigentes para caldeiras flamotubulares. A norma regulamentadora NR-13 estabelece todos os preceitos para se garantir a segurança na operacionalidade e manutenibilidade de caldeiras a vapor, onde também promove a realização de inspeção de manutenção interna da caldeira, para que possam prevenir possíveis perdas de avarias, conforme apresentado na Tab. (9). Além disto, as caldeiras, para produzir o vapor, queimam algum tipo de combustível, seja gás, lenha ou óleo e por consequência emitem gases provenientes da combustão para o ambiente. Desta forma, é obrigatório, pela legislação ambiental vigente no Brasil, o monitoramento periódico do índice de emissão de particulados nos gases de exaustão. Assim, mesmo que esta perda não seja mensurável quantitativamente, tem uma importância muito grande no que se refere às perdas qualitativas, envolvendo a responsabilidade ambiental e social das empresas e instituições.

5.6 OUTROS PILARES

Apesar dos outros pilares terem sua importância na implantação do TPM como um todo, o foco deste trabalho é a identificação das ações prioritárias para sua implantação rápida, buscando otimizar os níveis de OEE das caldeiras.

7. CONCLUSÃO

Os objetivos gerais e específicos do trabalho foram atingidos através da medição do OEE em caldeiras flamotubulares e a proposição de ações vinculadas à metodologia TPM para aplicação nestes equipamentos. Foram coletadas 10 amostras nos experimentos realizados na caldeira ATA-2 (de pequeno porte) do laboratório de máquinas térmicas do CEFET-MG. Com os dados coletados nessas amostras, o OEE foi de 78,26%. A caldeira de médio porte foi a Heatmaster-500HP da Cedro Tecidos, onde foram analisados os dados de janeiro a setembro de 2010 e encontrado um OEE de 59,02%. Já a caldeira de grande porte foi a Aalborg-10G da Belgo - Contagem, na qual foram estudados os históricos dos apontamentos de abril a agosto de 2010 e seu OEE foi de 57,09%. As três caldeiras estão localizadas em diferentes processos, com capacidades variadas e utilizando diferentes tipos de combustível. O potencial de ganho se apresentou bastante atrativo para todas as caldeiras, ficando o termo “desempenho” com a maior parcela de perdas.

Para minimizar as perdas apresentadas foi realizado um FMEA para identificar as principais causas das perdas e priorizá-las. Posteriormente, foram propostas ações vinculadas à metodologia TPM, identificando a associação das perdas de OEE com os pilares TPM. Em várias empresas a implantação do TPM não chega ao seu final devido ao enorme tempo necessário para a aplicação de cada pilar. Desta forma, este trabalho propõe primeiramente o estudo da situação atual para que sejam priorizados os pilares realmente importantes para a redução das perdas levantadas. Assim, a metodologia TPM se mostra atrativa por sua rápida aplicação com ações direcionadas à otimização do OEE.

Este artigo também mostra a extrema importância do estudo de perdas relacionadas à eficiência de processo em caldeiras flamotubulares e a busca

por melhores resultados, uma vez que o seu potencial de ganho é grande. É importante salientar que o aumento de eficiência neste tipo de equipamentos contribui significativamente para a redução do consumo de combustíveis fósseis, ponto crítico na gestão ambiental de toda organização moderna. Com isso, novas propostas de trabalho poderão ser exploradas através da proposição de ações vinculadas ao TPM, na busca por maiores índices de OEE em equipamentos industriais e sua contribuição na redução do consumo de energia e melhor aproveitamento de recursos naturais não renováveis.

REFERÊNCIAS

-CAMPOS, FALCONI V., 1940 – TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês) / Vicente Falconi Campos – Belo Horizonte, MG: Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1992 (Rio de Janeiro: Bloch Ed.).

-CASTRO D. E., PELLEGRINI C.; LISBOA A.; PEDREIRA S., "Análise das perdas de eficiência produtiva em sistemas de geração de energia eólica utilizando o coeficiente OEE do TPM", Congresso Nacional ABRAMAN, Bento Gonçalves, Brasil, 2010.

-GELLER, HOWARD S. *Revolução energética: políticas para um futuro sustentável*. Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003. 299p.

-HANSEN, ROBERT C. *Eficiência global dos equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros*. Porto Alegre: Bookman, 2006. 264 p.

-HTTP:// www.aalborg-industries.com.br. Acesso em: 12 out. 2010.

-HTTP://www.jipm.com. Acesso em: 12 ago. 2010.

-NAKAJIMA, S. *Introdução ao TPM: Total Productive Maintenance*. São Paulo: IMC, Internacional Sistemas Educativos Ltda., 1989.

-NORMAS REGULAMENTADORAS. NR 13: Caldeiras e vasos de pressão. Rio de Janeiro, 2009. 43 p.

-PERA, HILDO. *Geradores de vapor de água (caldeiras)*. São Paulo: USP, 1966. 288p.

-SHIROSE K. *TPM Team Guide*. Portland, OR: Productivity, Inc. 1995.

-SUZUKI T. *TPM – Total Productive Maintenance*. São Paulo: JIPM & IMC, 1993.

-TAKAHASHI Y.; OSADA T. *TPM/MPT Manutenção Produtiva Total*. São Paulo: Instituto IMAN, 1993.

-TROVATI, Joubert. *Tratamento de água de caldeiras*. São Paulo. [s.n.]. 2007. 80 p.