



Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Educação a Distância da UFSM – EAD
Universidade Aberta do Brasil – UAB

Curso de Pós-Graduação em Eficiência Energética
Aplicada aos Processos Produtivos

Polo: Novo Hamburgo

ELEVAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE
BOMBEAMENTO UTILIZANDO BOAS PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO

MEDEIROS, Rodrigo Ramos¹

CAUDURO, Carlos Roberto²

RESUMO

O presente artigo apresentará uma proposta para eficiência energética em sistemas de bombeamento, instalados em uma indústria do setor de papel e celulose. Inicialmente realizou-se o levantamento do atual estado de conservação dos sistemas de bombeamento. Também foi avaliado o modelo atual de manutenção utilizado, o histórico de manutenção dos equipamentos analisados e o atual consumo energético destes. Em seguida, foi realizada uma reforma completa no equipamento, com a substituição de componentes e a instalação de sistemas que permitam manutenções preventivas, inspeções e lubrificações programadas. Após a reforma dos equipamentos, o consumo de energia foi reavaliado. Ao final do presente artigo apresenta-se o novo consumo dos equipamentos, evidenciando as melhorias alcançadas, bem como uma análise técnico-comercial acerca das melhorias observadas.

Palavras-chave: eficiência energética em bombas, manutenção centrada em eficiência energética, eficiência energética na indústria de celulose e papel.

¹

Engenheiro Mecânico. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

²

Engenheiro Mecânico. Professor Orientador. Universidade de Santa Maria, Santa Maria, RS

1 INTRODUÇÃO

Segundo a UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) (2011) o elevado consumo de energia elétrica pelo setor de celulose e papel, a maior parte por meio de estações de bombeamento, é uma situação preocupante. Estima-se que do uso de energia elétrica por sistemas que utilizem motores elétricos, vinte e cinco por cento sejam destinados a bombas. Todo este consumo representa altos custos na cadeia produtiva e este valor precisa ser repassado ao consumidor final. Uma redução no consumo de energia elétrica, principalmente destes motores das estações de bombeamento, através de sistemas alternativos de acionamento e/ou boas práticas de manutenção, estas obtidas através de ferramentas de qualidade, se faz necessária.

Mais que um terço da energia utilizada no Brasil é consumida pelo setor industrial (BRASIL, 2013). Desta fatia, onze por cento é consumida pelo setor de celulose e papel. Muitos autores afirmam que da energia utilizada no setor industrial, em torno de sessenta a setenta por cento é destinada a movimentação de motores elétricos, o que representa quinze por cento dos gastos de energia no mundo (UNIDO, 2011). Fica evidente que ações proativas na utilização destes equipamentos e os sistemas em que estes são utilizados devem ser encorajados.

A Figura 1 mostra a divisão do uso da eletricidade em uma típica fabrica de celulose e papel. Pode ser observada a porcentagem que cada sistema utiliza do total de energia elétrica consumida nesta fatia do setor industrial.

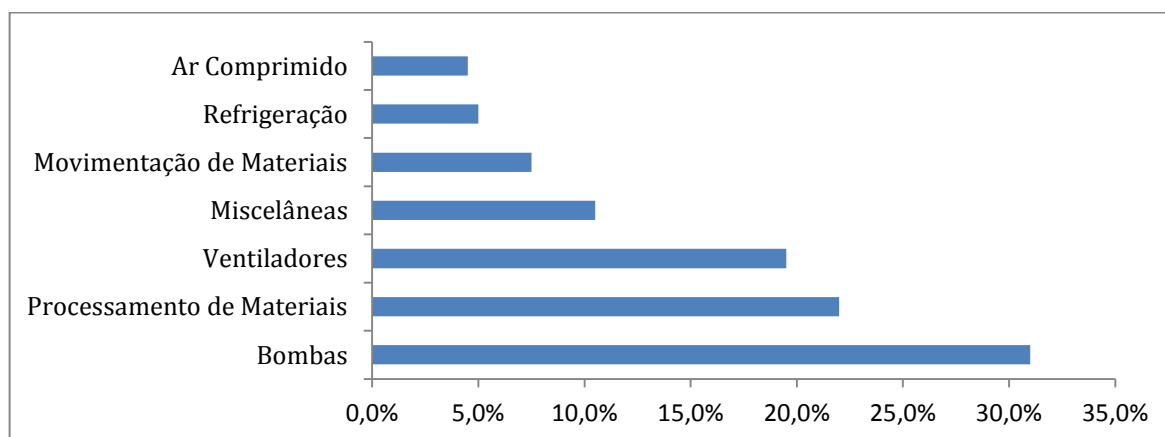


Figura 1 - Porcentagem de uso de energia elétrica na indústria de celulose e papel (CHUFFA, 2013).

Alguns autores como Chuffa (2013), UNIDO (2011), Seeling (2000) e Ferraz (2009) citam benefícios alcançados com ações proativas em algumas oportunidades de melhoria, porém, não há exemplos quantificados com relação redução de energia e eficiência energética. No presente texto visa-se esta lacuna, e pretende ser uma introdução de como ações proativas, que envolvam cuidados com os equipamentos movidos por motores elétricos, podem favorecer a eficiência energética dos mesmos. Os mesmos autores afirmam que uma das principais ferramentas para redução do consumo em motores elétricos é a correta seleção. Porém esta ação é válida apenas na aquisição de um equipamento novo, seja por manutenção ou *startup* de uma nova fábrica. Necessita-se ações também para equipamentos já instalados, em funcionamento no setor industrial.

Através da ótica desta necessidade, este trabalho justifica-se, pois pretende através de uma utilização no setor industrial aplicado em sistemas de bombeamento, verificar a possibilidade de redução do consumo de energia nos motores elétricos já instalados através de boas práticas de manutenção.

1.1 Delimitação do tema

Embora todos os setores industriais utilizem motores elétricos e existam muitos equipamentos que são acionados por meio destes, o trabalho delimita-se a um estudo direcionado a motores elétricos utilizados em bombas centrífugas em uma planta química da indústria de celulose e papel.

1.2 Problema de pesquisa

É comum observar na indústria motores elétricos em trabalho que apresentam altos consumos de energia elétrica. Grande parte deste consumo elevado deve-se a procedimentos de manutenção preventiva deficiente ou inexistentes.

Este trabalho, através de uma aplicação prática em sistemas de bombeamento de uma planta química de uma fábrica de celulose e papel, pretende mostrar que com a implantação de planos de manutenção preventiva e boas práticas de manutenção, como inspeção e controle, após devolver as condições iniciais dos equipamentos, pode reduzir o consumo energético destes equipamentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia consumida no Brasil, setor industrial e setor de fabricação de celulose e papel

Segundo Brasil (2013) o setor industrial foi responsável por 35,1% do consumo de energéticos no Brasil. Destes, a indústria de celulose e papel foi responsável por um consumo de 4% (sobre 100% do consumo no país).

Citando UNIDO (2011), vinte e cinco por cento da energia consumida para acionamento de motores dentro de uma fábrica seja destinada a alimentação de bombas e estações de bombeamento. Este número chega a vinte e oito por cento em indústrias de celulose e papel e a cinquenta e um por cento nas indústrias de petróleo e gás.

2.2 Potencial de redução de energia e gastos de energia elétrica

Para Chuffa (2013) as oportunidades de melhoria em eficiência energética em uma fábrica de celulose e papel são muitas. Elas incluem: Eficiência de caldeiras, sistemas de distribuição de vapor, turbo geradores e válvulas redutoras, motores, bombas, ventiladores, sistemas de ar comprimido, iluminação e processo geral. O autor cita inúmeras melhorias em cada uma das oportunidades listadas anteriormente, e em um ponto todos convergem: manutenção e monitoramento.

2.3 Motores Elétricos e Eficiência Energética

Segundo UNIDO (2011), dependendo da estrutura da empresa, entre sessenta e setenta por cento dos gastos com energia elétrica são destinados a movimentação de motores elétricos, o que corresponde a quinze por cento dos gastos com energia mundial. O mesmo autor cita ainda que ações de eficiência energética em motores elétricos tem potencial de redução dos gastos mundiais com energia elétrica na ordem de sete por cento.

Para WEG (2013) a correta manutenção de equipamentos possibilita a otimização do desempenho energético e alta confiabilidade, garantindo a redução de custos operacionais dos processos produtivos; e que os procedimentos de manutenção, quando devidamente alinhados com a política energética, resultarão

não somente em confiabilidade operacional, mas também em melhorias no desempenho energético dos equipamentos. Logo, as ações proativas em redução no consumo de energia são tão importantes quanto a utilização de produtos eficientes, pois permitem a continuidade do crescimento econômico de forma responsável, consciente e sustentável.

2.4 Gestão eficaz de energia

WEG (2013) define gestão energética como a avaliação da performance dos equipamentos através de processos sistêmicos; Desempenho energético como a busca da melhor utilização, otimizando ao máximo o desempenho energético dos equipamentos; e engenharia de manutenção como os processos de manutenção focados no desempenhos energético e na confiabilidade dos equipamentos. A Figura 2 ilustra como estes conceitos se entrelaçam para formar o conceito de gestão eficaz de energia:

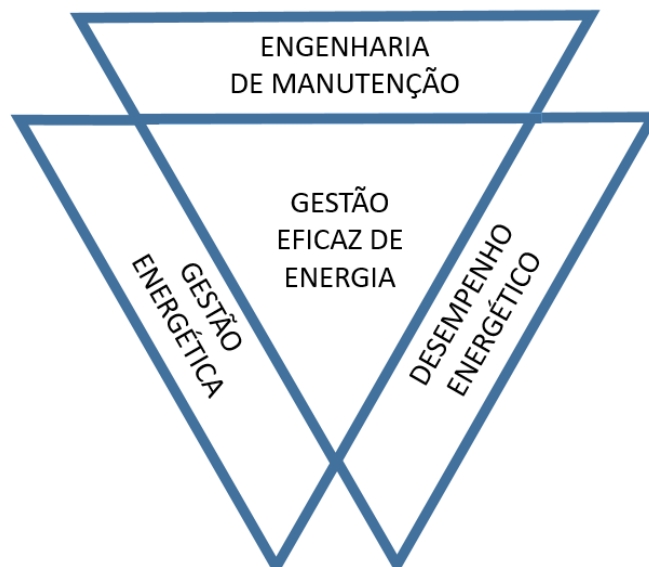


Figura 2 - Conceito de gestão eficaz de energia (adaptado de WEG (2013)).

2.5 Manutenção

Para Xenos (2004) “as atividades de manutenção existem para evitar a degradação dos equipamentos e instalações, causada pelo seu desgaste natural e pelo uso”.

Este conceito apresentado complementa o definido pela ABNT (Associação

Brasileira de Normas Técnicas) (1994):

“Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar um função requerida.”

Segundo Monchy (1989) e Seeling (2000), a manutenção divide-se da seguinte forma:

a) Manutenção corretiva: efetuada após a falha. Divide-se em:

a.1) Curativa: é realizada para reparo definitivo de equipamentos que apresentam uma alteração no seu funcionamento. O equipamento é restituído a sua condição de trabalho.

a.2) Paliativa: é realizada para retirada de um equipamento do estado de pane, recolocando-o provisoriamente novamente em operação antes do reparo definitivo.

b) Manutenção preventiva: efetuada com a intenção de reduzir a probabilidade de falha de um bem ou serviço executado. Divide-se em:

b.1) Sistemática: efetuada segundo um esquema de cobranças estabelecidos, tendo como base o tempo ou número de unidades de uso.

b.2) Condição: subordinada a um tipo de acontecimento predeterminado por medida ou diagnóstico, por exemplo.

2.5.1 Manutenção autônoma

Segundo Bartz (2011):

“A manutenção autônoma envolve os operadores na manutenção de seus próprios equipamentos, independente da interferência do departamento de manutenção. A filosofia da manutenção autônoma consiste na quebra de barreiras entre as funções de operação e manutenção.

A expressão “da minha máquina cuido eu” é a tônica deste tipo de manutenção. A capacitação e principalmente o convencimento dos operadores de que a saúde dos equipamentos depende diretamente deles é essencial para o sucesso da manutenção autônoma. Esta classificação da manutenção é um dos pilares de sustentação do TPM”

2.6 TPM

O TPM significa Manutenção Produtiva Total e é uma filosofia de gestão da manutenção. Surgiu inicialmente no Japão e teve grande expansão a partir dos anos 80, aplicada essencialmente em máquinas industriais (Ferraz, 2009) (tradução nossa).

Ainda citando o mesmo autor (tradução nossa):

“Sendo o TPM uma técnica também de manutenção, os resultados obtidos em termos de ganhos de produtividade podem atingir os 100%. Estes resultados são obtidos exclusivamente a partir de uma diferente filosofia de exploração dos equipamentos existentes, sem recorrer a novos investimentos em equipamentos. O TPM baseia-se na prática do Defeito Zero. Logo que este princípio é aplicado, a produtividade das instalações e dos colaboradores melhora, o custo de fabricação é reduzido e os estoques diminuem.”

De acordo com Ribeiro (2010), o TPM é sustentado por oito pilares. O foco deste trabalho será os dois primeiros que, segundo Kardec (2002), consistem em realizar melhorias individuais nos equipamentos, mantendo as condições básicas para funcionamento (limpeza, lubrificação, inspeção, manutenções sistêmicas, etc.); e aplicar os conceitos de manutenção autônoma, esta executada pela produção, que consiste em vivenciar o comportamento dos equipamentos e identificar fontes iniciais de problemas, para eliminação das falhas no estado inicial.

A Figura 3 mostra os oito pilares do TPM:

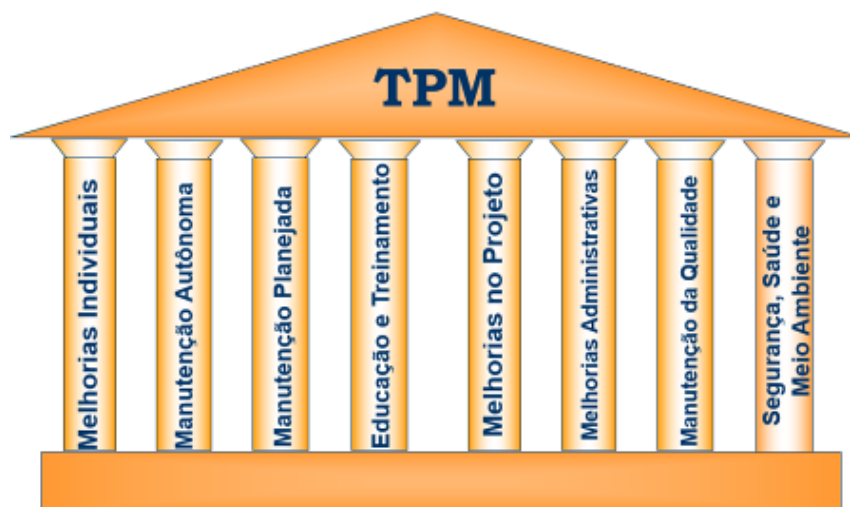


Figura 3 – Pilares de sustentação do TPM (adaptado de Ribeiro (2010) e Kardec e Ribeiro (2002)).

2.6.1 Benefícios obtidos com o TPM

Muitos autores citam os objetivos obtidos com o sucesso da implementação do TPM. Segundo Ahuja e Khamba (2008 a e b) e Bartz (2011), as vantagens incluem desde benefícios diretos no equipamento, como vida útil e diminuição dos índices de manutenções realizadas, a melhoria no rendimento destes, sejam estas medidas através de produtividade, eficiência ou outro indicador. Os benefícios ainda incluem elevação do moral dos funcionários envolvidos no processo, desde operação até a manutenção, e melhoria na competitividade da empresa.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Verificar se a implementação de TPM e boas práticas de manutenção diminuem o consumo de energia em motores elétricos utilizados em bombas centrífugas.

3.2 Objetivo específico

- a) Apresentar o setor onde será realizado o estudo;
- b) Realizar diagnóstico atual dos equipamentos quanto à conservação, histórico de manutenções e consumo de energia;
- c) Propor melhorias nos equipamentos, bem como rejuvenescimento dos equipamentos e substituir peças defeituosas;
- d) Implementar plano de manutenção autônoma e programas de lubrificação;
- e) Avaliar, após as melhorias, o consumo de energia das estações de bombeamento.

4 METODOLOGIA

Inicialmente será realizado levantamento do atual estado de conservação dos sistemas de bombeamento que utilizam bombas centrífugas. Será avaliado o

modelo atual de manutenção utilizado, histórico de manutenção dos equipamentos analisados e atual consumo energético destes. Após, será realizada uma reforma completa no equipamento, realizando substituições de componentes e instalando sistemas que permitam manutenções preventivas, inspeções e lubrificações programadas. Com o equipamento reformado e posto novamente em operação será analisado os novos consumos energéticos, bem como, uma análise técnico-comercial acerca das melhorias observadas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 O setor objetivo deste estudo

O setor analisado faz parte de uma planta química de um processo de fabricação de celulose e papel. A planta de fabricação de químicos para esta indústria utiliza como matérias primas: cal virgem (CaO) água (H_2O) e gás carbônico (CO_2), sendo o objetivo a produção de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) e carbonato de cálcio (CaCO_3). A fabricação destes componentes ocorre em tanques de reação controlada e a alimentação e descarga de cada um destes tanques se dá através de bombas centrífugas. A Figura 4 apresenta um diagrama unifilar do processo de fabricação com as equações químicas que ocorrem em cada etapa.

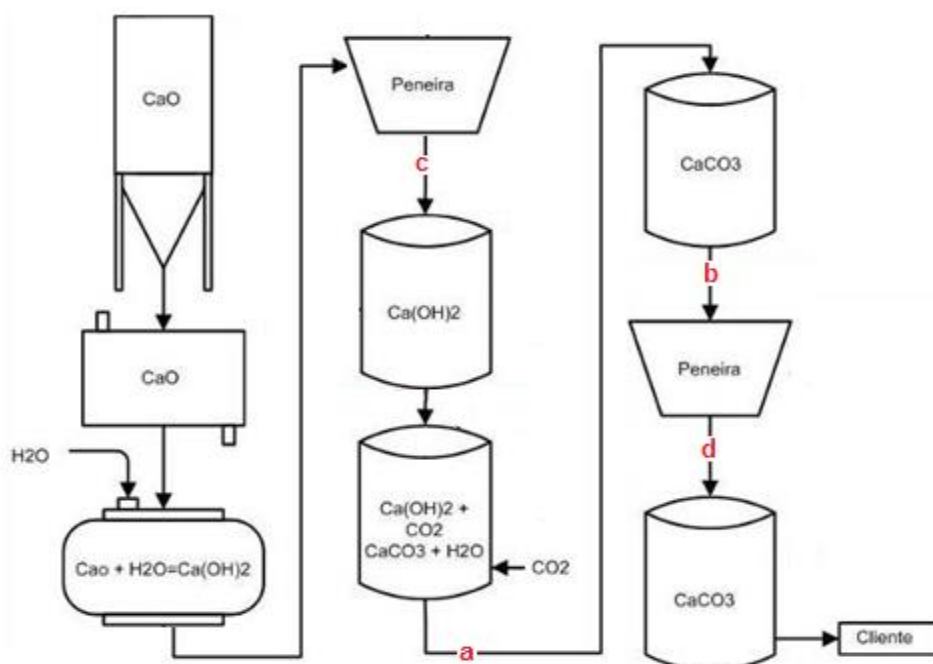


Figura 4 – Diagrama unifilar de fabricação do carbonato de cálcio.

5.2 Bombas que compõem o setor

Conforme citado na seção anterior, a comunicação entre os tanques utilizados para a fabricação dos químicos é realizada através de bombas centrífugas. As bombas são do tipo convencional e do tipo “com tanque acoplado”. As bombas convencionais são montadas com acoplamento direto entre o eixo do motor elétrico e o eixo da bomba, utilizando como selagem do eixo da bomba um selo mecânico com resfriamento por água. As bombas com tanque acoplado são acionadas através de correias e polias e não possuem sistema de selagem. A Figura 5 apresenta uma imagem das bombas centrífugas. Em (a) é mostrado uma bomba centrífuga convencional e em (b) um com tanque acoplado.

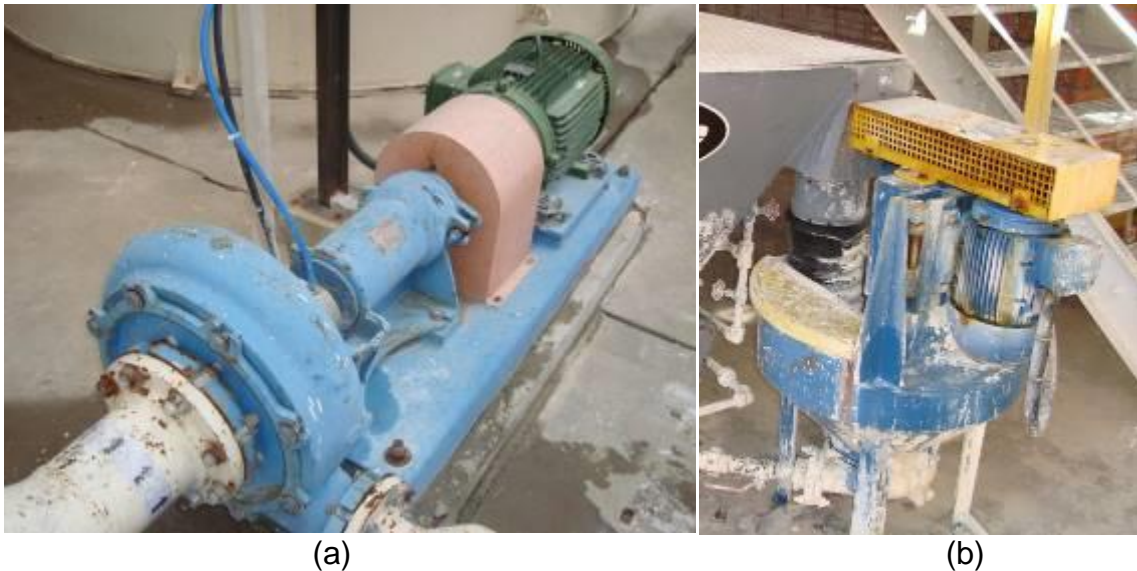


Figura 5 – Bombas centrífugas.

O objeto deste estudo serão duas bombas de cada tipo, localizadas nos seguintes processos:

- bomba centrífuga convencional: descarga do reator (Figura 4 - a), (BCC1) e descarga do tanque antes do peneiramento (Figura 4 - b), (BCC2); e
- bomba centrífuga com tanque acoplado: descarga da peneira de hidróxido de cálcio (Figura 4 - c), (BTA1) e descarga da peneira de carbonato de cálcio (Figura 4 - d), (BTA2).

Procurou-se nesta seleção dos equipamentos abranger os dois tipos de bomba utilizadas, bombas que operam com diferentes produtos e que utilizam motores com potências diferentes entre si.

5.3 Diagnóstico da situação atual dos equipamentos

Observou-se que as bombas e motores elétricos que compõem o setor analisado estão operando em precária situação de manutenção, recebendo intervenção apenas corretiva, ou seja, quando o equipamento para por algum problema. Observa-se também que o ambiente possui uma atmosfera altamente corrosiva para materiais metálicos, pois a planta de fabricação de carbonato de cálcio está ao lado de uma planta de fabricação de dióxido de cloro, além de ter sido verificado a incidência de vazamentos dos fluidos transportados, causando infiltração de partículas de contaminantes nas partes móveis dos equipamentos e o seu desgaste prematuro.

Verifica-se que os equipamentos possuem registro de intervenções realizadas, mas este é utilizado apenas para registro, não sendo utilizado para promover estudos preditivos e não controle de lubrificação nem histórico de realizações de lubrificação dos mesmos.

5.3.1 Medição da vibração dos equipamentos

A vibração é uma característica de praticamente todas as máquinas industriais. Quando a vibração aumenta mais do que o nível normal, isto pode indicar a origem de avaria e indiciar a necessidade de uma futura análise das causas subjacentes, ou de atividade de manutenção imediata. A vibração é medida pelo deslocamento sofrido em um determinado ponto do equipamento (em milímetros) dividido por uma unidade de tempo (em segundos). O instrumento utilizado é referenciado no Anexo A.

Foi realizada uma medição da vibração dos motores elétricos das bombas, no lado do acoplamento e no lado da ventoinha e verificado que os valores obtidos estão acima dos valores recomendados pelo fabricante do moto. A Figura 6 mostra a medição da vibração na BCC2. A seta indica a posição de instalação do sensor.



Figura 6 – Medição da vibração dos motores elétricos.

O fabricante recomenda uma vibração máxima de 10 mm por segundo (WEG, 2007), e, como pode ser observado na Figura 6, obteve-se valores em torno de 170 mm por segundo, o que representa anomalias no equipamento.

5.3.2 Medição corrente elétrica e determinação da potência consumida

Observou-se que todas as bombas analisadas utilizam motores elétricos de seis polos, e uma ligação estrela-triângulo, para reduzir o consumo no momento da partida dos mesmos. Para a determinação da potência consumida pelos equipamentos foi então realizada a medição da corrente em cada uma das fases de ligação do motor (três fases no total) com o equipamento em funcionamento e carregado, e após foi realizado uma média aritmética destes valores para obter um valor de corrente média para cada equipamento. Após multiplicou-se este valor de corrente média pela média das tensões medidas também nas fases anteriormente citadas, obtendo-se assim o a potência real consumida de cada equipamento. Esta metodologia foi utilizada devido a limitação do equipamento de medição disponível para a realização do estudo. Para a medição das grandezas elétricas foi utilizado um amperímetro tipo alicate com pinça de corrente, conforme Anexo A. As Figura 7 e 8 mostram a realização de algumas medições.



Figura 7 – Realização de medições de corrente dos motores elétricos das bombas BTA1 e BTA2.



Figura 8 – Realização de medições de corrente dos motores elétricos das bombas BCC1 e BCC2.

Os valores medidos e a determinação da potência consumida antes das intervenções são observados na tabela 1.

Tabela 1 – Valores de corrente [A] e Tensão [V] medidos, e potência [W] consumida calculada antes das intervenções.

Equipamento	Corrente [A]			Tensão [V]			Potência [W]
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	
BCC1	14,1	14,1	14,7	460,0	463,0	461,0	6597,1
BCC2	7,4	7,4	7,6	461,0	464,0	463,0	3454,6
BTA1	3,8	4,0	3,9	459,0	461,0	458,0	1791,4
BTA2	18,4	18,1	18,1	463,0	460,0	464,0	8414,5

5.4 Aplicação de melhorias nos equipamentos

5.4.1 Melhorias localizadas

Inicialmente foi aplicado o primeiro pilar do TPM realizando melhorias individuais em cada um dos equipamentos. As melhorias incluíram:

- desmontagem completa dos equipamentos e limpeza;
- pintura dos equipamentos, devolvendo as condições originais;
- substituição de rolamentos;
- substituição das graxeiras das bombas e motores; e
- rejuvenescimento dos motores elétricos, incluído substituição dos rolamentos das tampas, jateamento e pintura geral, substituição do verniz do bobinado ou substituição do bobinado, balanceamento;

Salienta-se que durante o processo de melhoria individual foi observado quantidade inadequada nos rolamentos das bombas, além de graxa contaminada. Nas bombas BTA foi observado uma quantidade maior que o recomendado, e nas bombas BCC foi observado uma quantidade menor que a recomendada pelo fabricante. A Figura 9 mostra o eixo do rotor da BTA1 com o rolamento danificado, causado por problemas na lubrificação.



Figura 9 – Eixo com rolamento danificado.

Observa-se também que o processo de manutenção mecânica foi realizado pela equipe interna da empresa, e o rejuvenescimento dos motores elétricos foram realizados por empresa especializada e autorizada pelo fabricante. A Figura 10 mostra o processo de manutenção mecânica (desmontagem, substituição de componentes danificados e pintura) de alguns dos equipamentos.



Figura 10 – Vista da realização de melhorias individuais nos equipamento BCC1, BTA2 e BT1A.

Em (a) é apresentado a desmontagem da BCC1, e em (b) é mostrado o

equipamento já com o novo sistema de selagem instalado. Em (c) e (d) é apresentado o processo de desmontagem do eixo da BTA1 para verificação dos danos e posterior substituição dos rolamentos. Em (e) e (f) é apresentado parte do processo de substituição dos rolamentos e posterior instalação e lubrificação do mesmo. As Figuras 11, 12, 13 e 14 mostram o antes e depois dos equipamentos objetos deste estudo.

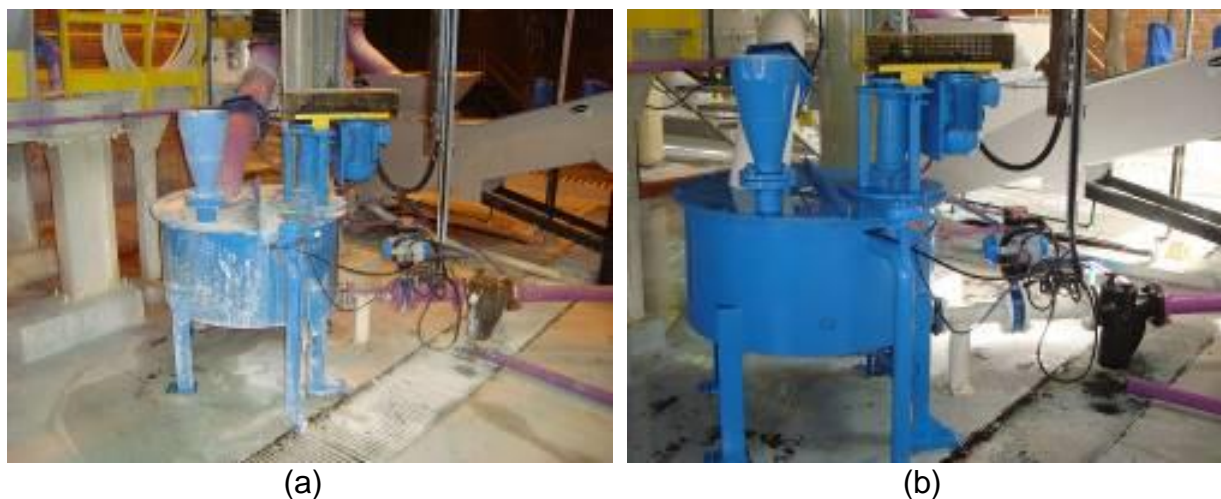


Figura 11 – Vista da BTA1 antes (a) e depois (b) das melhorias individuais.

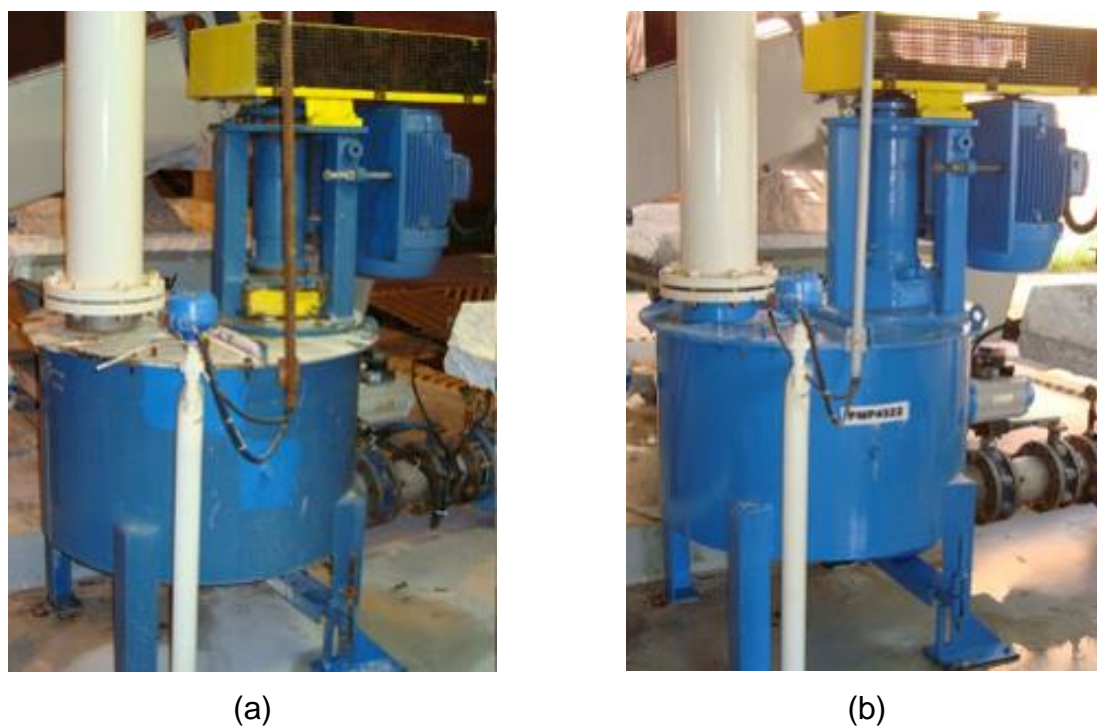


Figura 12 – Vista da BTA2 antes (a) e depois (b) das melhorias individuais.



(a)



(b)

Figura 13 – Vista da BCC1 antes (a) e depois (b) das melhorias individuais.



(a)



(b)

Figura 14 – Vista da BCC2 antes (a) e depois (b) das melhorias individuais.

5.4.2 Manutenção autônoma

Após a aplicação das melhorias realizadas, descritas e ilustradas na seção anterior, iniciou-se o processo da promoção da manutenção autônoma, que consiste principalmente em:

- treinamento dos operadores da planta em técnicas básicas de diagnóstico, manutenção e lubrificação;
- criação de um plano de inspeção dos equipamentos; e
- criação de um cronograma de lubrificação, identificando periodicidade,

quantidade e tipo de lubrificante a ser utilizado, criando um padrão de cores, utilizando este padrão para identificação da graxeira.

A necessidade de inspeção e lubrificação foram adicionadas, respeitando a periodicidade estabelecida pelo fabricante, em um controle já existente no qual são listadas as tarefas dos funcionários em determinado turno que estejam trabalhando. Para facilitar o processo de inspeção e lubrificação elaboraram-se manuais descritivos fotográficos e procedimentos de trabalho padrão simples para servir como orientador visual da tarefa. Estes procedimentos foram plastificados e fixados próximos aos equipamentos. A Figura 15 apresenta o procedimento de lubrificação utilizado como guia para a lubrificação do equipamento BCC2 e a Figura 16 exemplifica o procedimento de inspeção, utilizado na inspeção do equipamento BTA2.

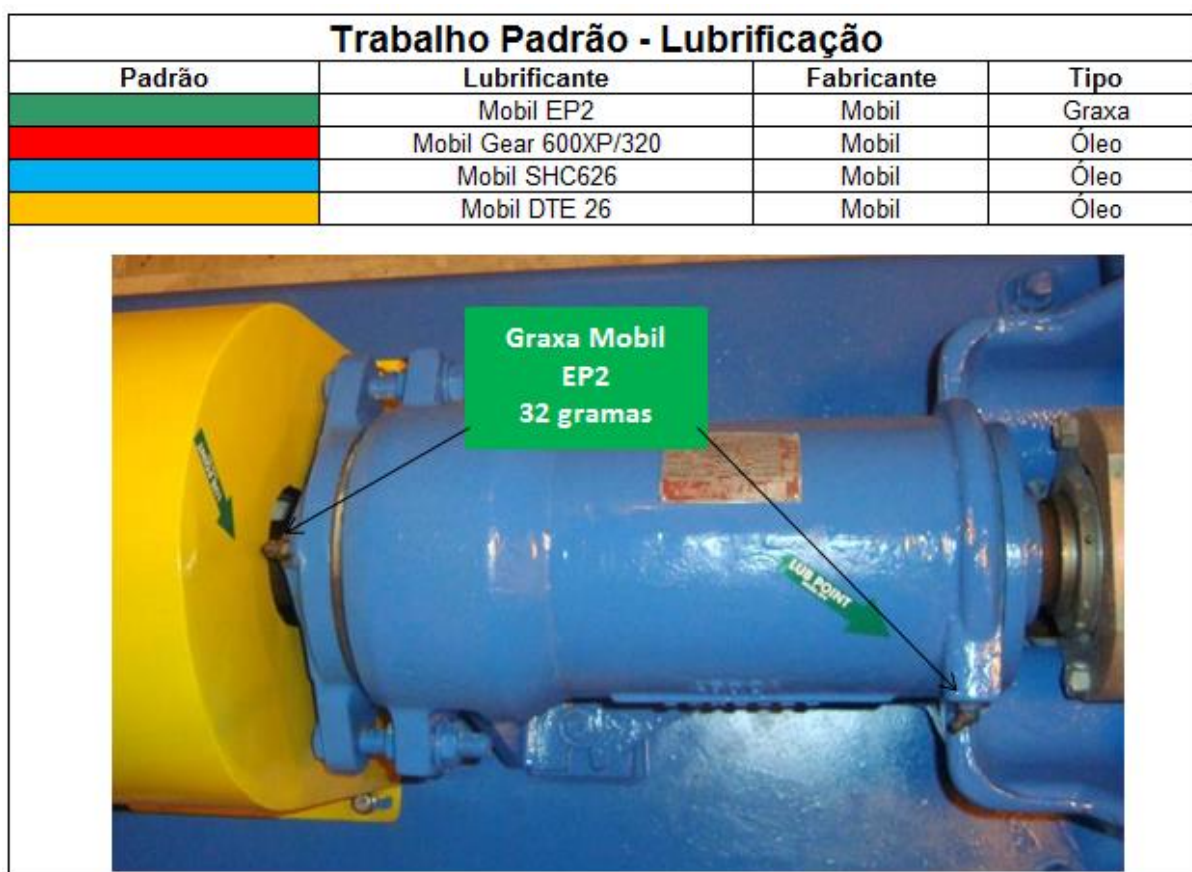


Figura 15 – Procedimento de lubrificação da BCC2.

Trabalho Padrão: Limpeza e Inspeção									
#	Equipamento	Método	Critério	Verificar/Ações	Intervalo			Responsável	
					Turno	Diário	Semanal		Mensal
1	BTA2	visual	Sem vazamentos de graxa dos rolamentos	Encontre a fonte do vazamento e relatar a manutenção		X			Operador
2	BTA2	visual	Sem vazamentos ou derramamentos	Encontre a fonte do vazamento / derramamento e realizar limpeza		X			Operador
3	BTA2	visual	Proteção da correia firme Correias com tensão adequada Correias sem ruído	Informe qualquer dano à manutenção		X			Operador
4	Válvulas	visual	Sem vazamentos	Informe qualquer dano à manutenção		X			Operador
5	Área de Processo	visual	Sem vazamentos ou derramamentos	Encontre a fonte do vazamento / derramamento e realizar limpeza		X			Operador
6	Filtro	visual	Sem vazamentos na tampa	Realizar limpeza e fechamento correto da tampa Informe qualquer dano à manutenção				X	Operador
7	Manômetros do Filtro	visual	Verificar o funcionamento dos manômetros	Verificar a condição da tela da peneira e elemento do filtro				X	Operador

Figura 16 – Procedimento de inspeção da BTA2.

Observa-se que a aplicação do TPM e criação dos manuais demonstrativos se estendeu aos demais equipamentos do setor. Abaixo é apresentado, na Figura 17 uma bomba centrífuga que é utilizada para bombear água.



Figura 17 – Vista da Bomba d’água após as melhorias individuais e instalação de visualizadores de óleo.

Observa-se que foi utilizado um dispositivo de vidro que serve como indicador visual do nível de óleo e qualidade do mesmo. Onde este tipo de dispositivo visual foi instalado, foi também utilizado sinais coloridos para indicar o nível máximo e mínimo de lubrificante a ser utilizado.

5.5 Verificação dos resultados após aplicação das melhorias

Após a realização das melhorias localizadas, que envolveram a manutenção aplicada e resgate dos equipamentos a condições de novos, e a criação de um plano de manutenção preventivo envolvendo principalmente lubrificação, foi realizado medição dos consumos dos equipamentos, seguindo a metodologia anteriormente apresentada na seção 5.3.2. Os resultados de consumo são apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Valores de corrente [A] e Tensão [V] medidos, e potência [W] consumida calculada após melhorias.

Equipamento	Corrente [A]			Tensão [V]			Potência [W]
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 1	Fase 2	Fase 3	
BCC1	10,9	11,1	10,7	460,0	463,0	461,0	5028,5
BCC2	5,5	5,6	5,5	461,0	464,0	463,0	2560,1
BTA1	2,7	2,7	2,7	459,0	461,0	458,0	1240,2
BTA2	15,0	14,8	14,9	463,0	460,0	464,0	6888,8

5.6 Quantificação das melhorias

A Figura 18 apresenta um comparativo do consumo instantâneo dos equipamentos. É apresentado o consumo antes e o consumo depois das melhorias, e também a redução percentual individual. Observa-se que com a aplicação das melhorias obteve-se uma redução em torno de vinte e cinco por cento no gasto em energia elétrica para alimentar os equipamentos analisados.

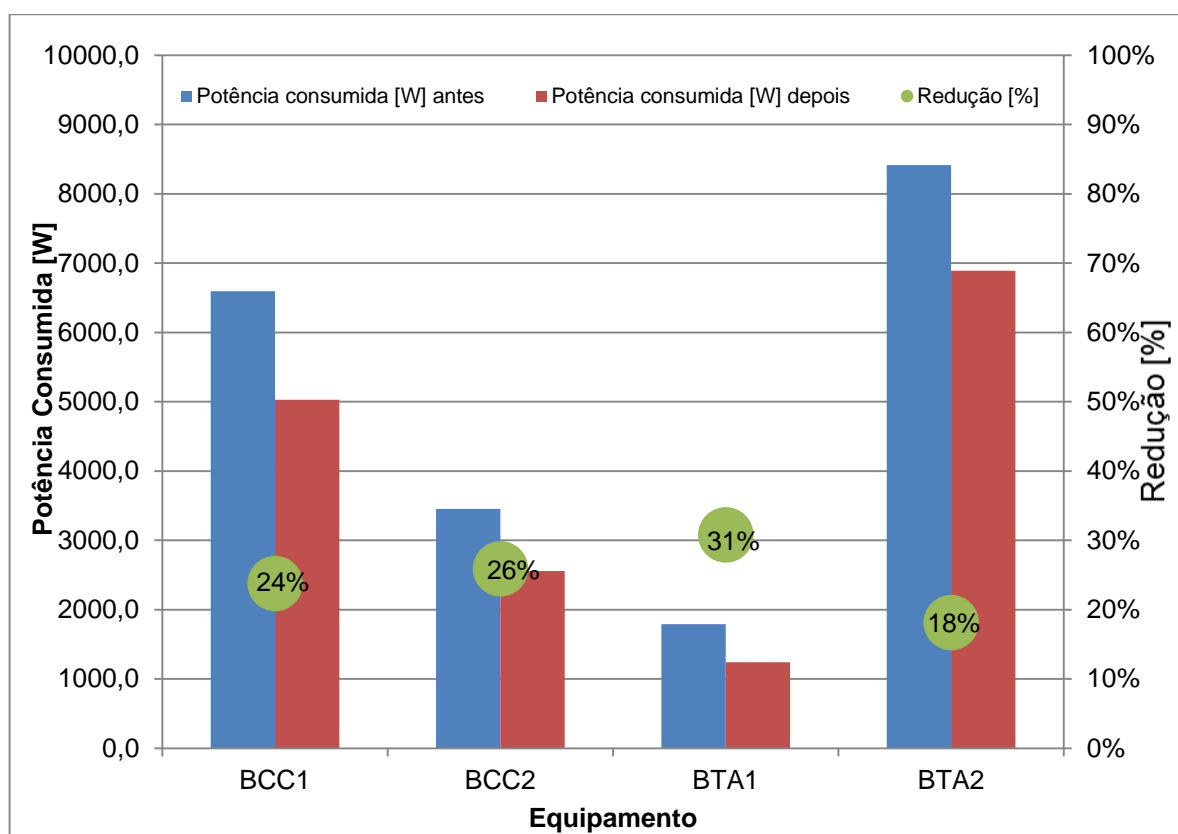


Figura 18 – Comparativo do consumo instantâneo [W] dos equipamentos antes e depois das melhorias, e redução [%] do consumo obtida.

Estima-se, através da análise dos históricos dos equipamentos, obtidos através de sistema eletrônico e supervisórios, que os equipamentos de bombeamento sejam utilizados por quinze horas por dia.

O preço da atual da tarifa praticada na empresa é dado por CEEE (2013) e é igual a R\$ 0,31 por kilo watt hora. Logo, pode-se calcular o gasto mensal dos equipamentos antes das melhorias e após as melhorias, utilizando a equação 01:

$$\text{R\$} = ((\sum \text{Potência [W]})/1000) \times \text{tempo [h]} \times \text{dias} \times \text{tarifa [R\$/kWh]} \quad (01)$$

Os gastos com energia elétrica dos equipamentos antes da melhoria é então calculado:

$$R\$_{\text{antes}} = ((6597,1 + 3454,6 + 1791,4 + 8414,5) / 1000) \times 15 \times 30 \times 0,31 = R\$ 2825,92$$

Utilizando a mesma metodologia, os gastos com energia elétrica dos equipamentos após a aplicação das melhorias será definido utilizando a equação 01:

$$R\$_{\text{depois}} = ((5028,5 + 2560,1 + 1240,2 + 6888,8) / 1000) \times 15 \times 30 \times 0,312570 = R\$ 2192,60$$

A redução no valor pago na energia elétrica foi proporcional à redução do consumo apresentado anteriormente (vinte e cinco por cento).

6 CONCLUSÃO

Observou-se, com a realização dos objetivos propostos, que a manutenção adequada de um motor elétrico e da máquina por ele acionada representa uma economia significativa de energia elétrica, e conseqüentemente recursos financeiros. Ao apresentar o setor, foi constatado que os equipamentos acionados por motores elétricos estavam em condições precárias de funcionamento a pretexto de “não se prejudicar a produção”. Porém é sabido que uma manutenção corretiva desprende um tempo maior e mais necessidade de recursos financeiros e humanos, comparado com uma manutenção preventiva e preditiva.

A partir das observações realizadas e da análise das falhas dos equipamentos, obtidas através de consulta ao histórico de manutenções, pode-se concluir que uma das principais causas de falhas dos equipamentos é dada pela lubrificação deficiente. Falta de lubrificação ou excesso são igualmente prejudiciais ao equipamento, e reduzem a sua vida útil, além de requererem um tempo maior de equipamento parado para uma possível manutenção corretiva. Também foi constatado que a falta de inspeção, mesmo que visual ou audível, contribui para que os problemas não sejam detectados tão logo apareçam.

A utilização de TPM torna-se uma abordagem inovadora para o processo de manutenção, a fim de otimizar a disponibilidade dos equipamentos, eliminando as paradas não programadas e promovendo a manutenção autônoma pelo operador através de atividades do dia a dia. A utilização de indicadores visuais torna o

processo de implantação da manutenção autônoma do operador facilitada. Os indicadores de lubrificação e os guias de lubrificação e cuidados são autoexplicativos e facilitam o processo de identificação de pontos de lubrificação, lubrificante, quantidade, e frequência indicada, e pontos específicos a serem observados no equipamento (inspeções visuais, audíveis, etc.).

Com a implementação do TPM na empresa buscou-se atingir uma disponibilidade de 100% dos equipamentos sob demanda, reduzindo assim a parada de equipamentos; comprometimento da produtividade, devido à operação com índices de produção reduzidos, ociosidade ou interrupções que requerem a atenção do operador; refugo e retrabalho causado pelo mau desempenho do equipamento; e perdas de partida do equipamento em tempo ou rendimento.

6.1 Recomendações para trabalhos futuros

Neste trabalho procurou-se realizar um estudo introdutório a respeito de economia de energia elétrica em sistemas de bombeamento instalados na indústria de celulose e papel. Porém é importante salientar que, embora os resultados obtidos sejam positivos, este estudo pode ser aprofundado. Recomenda-se realizar este aprofundamento realizando a avaliação dos equipamentos utilizando a inversores de frequência ou *soft starters*, redimensionamento de motores a fim de utilizar o equipamento próximo da sua capacidade, e avaliar o que estas aplicações trariam de redução do consumo de energia elétrica. Também é importante fazer a verificação periódica da potência nos equipamentos foco deste trabalho, afim de verificar a evolução do consumo energético.

7 REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Confiabilidade e Manutenção – NBR 5462**. Rio de Janeiro, 1994.

AHUJA, I.P.S. KHAMBA, J.S. **Journal of Quality in Maintenance Engineering: Justification of Total Productive Maintenance Initiatives in Indian Manufacturing Industry for Achieving Core Competitiveness**, Vol. 19: 5, p.645 – 669, 2008 (a).

AHUJA, I.P.S. KHAMBA, J.S. **Journal of Quality in Maintenance Engineering: Strategies and success factors for overcoming challenges in TPM implementation in Indian manufacturing industry**, Vol. 14: 2, p.123 – 147, 2008 (b).

BARTZ, Teonas. **Avaliação do Desempenho Organizacional Através da Implantação da Manutenção Produtiva Total**. UFSM, 2011. Tese de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2013**. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2014.

CEEE. **Tarifas e custos de serviço vigentes a partir de 25/10/2013**. Disponível em: <<http://www.ceeel.com.br/pportal/ceeel/archives/tabela%20de%20tarifas%20e%20custos%20de%20servi%20c3%a7os.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2014.

CHUFFA, Priscila. 1º Semana de Celulose e Papel de Três Lagoas (Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel). **Eficiência Energética – Conceituação e Aplicação em Indústrias - Case Lwarcel**. Três Lagoas, 2013.

FERRAZ, Álvaro J. V. Braga. **Influência da Manutenção nos Consumos Energéticos de Sistemas de AVAC**. FEUP: Porto, 2009. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Mestrado integrado em Engenharia Mecânica.

KARDEC, Alan. RIBEIRO, Haroldo. **Gestão Estratégica da Manutenção e Manutenção Autônoma**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

MONCHY, F. **A Função Manutenção – Formação para Gerencia da Manutenção Industrial**. São Paulo: Ed. Durban, 1989.

RIBEIRO, Haroldo. **Desmistificando O TPM: Como Implantar o TPM em Empresas fora do Japão**. São Paulo: Editora PDCA, 2010.

SEELING, Marcelo Xavier. **Desenvolvimento de um Sistema de Gestão da Manutenção em uma Empresa de Alimentos do Rio Grande do Sul**. Porto

Alegre: UFRGS, 2000. Tese de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção.

UNIDO. United Nations Industrial Development Organization. **Energy efficiency in electric motor systems: Technical potentials and policy approaches for developing countries**. Viena, 2011. Disponível em: <http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Research_and_Statistics/WP112011_Ebook.pdf> . Acesso em: 12 fev. 2014.

WEG. **Soluções em Eficiência Energética**. Ver. 05. 2013.

WEG Motores Ltda. **Instruções para Instalação de Motores Elétricos**. 2007.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. Nova Lima: INDG, 2004.

ANEXOS

ANEXO A - INSTRUMENTOS UTILIZADOS

a) Alicate amperímetro tipo Pinça de Corrente modelo 335 - Fluke

Alicates Amperímetros Fluke 335

Registo do
produto

Rugged and reliable

Find out which of the new Fluke clamp meters is perfect for you.

[Clamp Meter Conversion Guide »](#)



[Equipamento](#) [Características](#) [Especificações](#) [Modelos e Acessórios](#) [Saiba mais](#)

Specifications	
Diameter of measurable conductor	0.12" or 30.5 mm max
Operating temperature	-14 to 122°F (-10 to 50°C)
Storage Temperature	-40 to 140°F (-40 to 60°C)
Operating Humidity	< 90% @ <30 °C, < 75% @ 30 to 55°C
Operating Altitude	0 to 2500 m
IP Rating	IP 40
Size	240 x 80 x 44 mm, (9.375 x 3.125 x 1.625 in.)
Weight	310G, (11 oz.)
Vibration	Random 2 g, 5 to 500 Hz
Shock	1 meter drop test (except the jaw)
EMI/RFI	Meets EN61326-1
Temperature Coefficient	0.01% °C (<18? or > 28?)
Power, battery life	(2) AA 1.5 V Alkaline, IEC 1010-2-031, 150 hours typical Automatic low battery indicator
Warranty	Three years for electronics One year for cable and clamp assembly

Figura A1 - Vista das especificações do Alicate amperímetro tipo Pinça de Corrente utilizado.

b) Medidor de Vibração e Tacômetro modelo VT-8204 - Lutron

VIBRATION/TACHOMETER, 3 in 1



Model No: **VT-8204**

Picture I

Description:

VIBRATION/TACHOMETER, 3 in 1

Model : VT-8204

* Separate professional vibration sensor.

* Vibration meter :

Acceleration : 200 m/s², RMS, PEAK, Max. Hold, g, ft/s².

Velocity : 200 mm/s, RMS, PEAK, Max. Hold, cm/s, inch/s.

Displacement (p-p) : 2 mm, Max. Hold, cm, inch.

* Tachometer (photo) : 10 to 100,000 RPM.

Tachometer (contact) : 5 to 19,999. RPM

Tach. (surface speed) : m/min., ft/min. inch/min.

* Laser photo tachometer.

* 1600 Data logger point.

* Data hold, record (Max., Min.)

* Optional IR probe, IR-962.

* RS-232 computer interface.

* DC 1.5V (UM-3, AA) x 4 PCs.

* Patented.

Figura A2 - Vista das especificações do Medidor de Vibração e Tacômetro utilizado.