

SAMI PAIVA SIMÃO

**Implantação do indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness)
em uma fábrica de autopeças**

Sami Paiva Simão

**Implantação do indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness)
em uma fábrica de autopeças**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

Guaratinguetá - SP
2017

S588i	Simão, Sami Implantação do indicador OEE (overall equipment effectiveness) em uma fábrica de autopeças / Sami Simão – Guaratinguetá, 2017. 51 f : il. Bibliografia: f. 50-51 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017. Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva 1. Manutenção produtiva total 2. Eficiência industrial. 3. Produtividade. I. Título
-------	--

CDU 658.581


Pâmella Benevides Gonçalves

Bibliotecária CRB/8: 9203

SAMI PAIVA SIMÃO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Coordenador



BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. FABRICIO MACIEL GOMES
UNESP-FEG


Prof. Dr. FÉLIX MONTEIRO PEREIRA
USP - EEL

DEZEMBRO DE 2017

DADOS CURRICULARES

SAMI PAIVA SIMÃO

NASCIMENTO 27.09.1991 – PIQUETE / SP

FILIAÇÃO Jorge Cesar Simão
Rosemeire de Azevedo Paiva Simão

2010/2017 Curso de Graduação
Engenharia de Mecânica - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Guaratinguetá

Dedico este trabalho aos meus pais, que se empenharam para me fornecer uma educação de qualidade, e a certeza que sempre haveriam ombros para me apoiar.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a minha família, especialmente aos meus pais, *Cesar e Meire*, por me inspirarem todo dia com seu amor, bondade, compaixão, e apoio incondicional. Também sou grato ao meu irmão, *Eric*, pelos incentivos ao longo dos anos e suas opiniões sempre sinceras.

À minha tia, *Lenita*, e seus filhos, cuja casa sempre foi um lar para mim e sempre encontrei irmãos em sua companhia.

À minha namorada, *Thamires*, pelo apoio dado nos momentos críticos, por nunca ter perdido a fé, e toda a confiança depositada na minha pessoa.

Aos professores, *Prof. Dr. Messias Borges Silva e Prof. Dr. Fabrício Maciel* pelo apoio a este trabalho e por terem me mostrado oportunidades nunca antes sonhadas.

Agradeço aos amigos que coletei ao longo destes 8 anos, passando por todas as provações juntos, tornaram inesquecíveis momentos simples e me ensinaram que unidos vamos muito mais longe que sozinhos.

Gostaria de agradecer à empresa em que trabalho, pelo apoio dado em realizar a pesquisa deste trabalho de graduação, por me ensinar como a vida é fora do contexto acadêmico e em especial ao meu mentor *Cristiano*, que me ensinou o valor em fazer coisas certas da forma correta.

Por fim, gostaria de fazer um agradecimento à Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, e seu corpo docente, cuja sabedoria, conselhos e provações foram cruciais para a formação da pessoa que sou hoje.

“O que não pode ser medido, não pode ser controlado”
Lorde Kelvin

RESUMO

As indústrias de manufatura necessitam manter sua competitividade sempre a par do mercado e dos concorrentes, uma das formas de fazer isso é através da melhoria contínua, redução de despesas e aumentos de produtividade que podem ser alcançados através da metodologia TPM criada no Japão na década de 70. Este trabalho de graduação teve como principal objetivo a realização de uma pesquisa-ação em uma empresa metalúrgica na região, aplicando os conceitos de TPM e principalmente o uso do indicador de produtividade OEE – Overall Equipment Effectiveness, escolhido como a melhor forma de avaliar a utilização adequada de um equipamento, para auxiliar a instalação e os primeiros meses de produção de uma máquina de corte a laser. A pesquisa abordou a criação de planos de manutenção autônoma, a criação de métricas de dados bases para o OEE, uma sistemática de coleta de dados e o cálculo efetivo do indicador. Resultando em um início de produção controlado, com acompanhamento intenso e controle de perdas desde o princípio do funcionamento, reduzindo as perdas comuns e direcionando os esforços na direção de uma maior competitividade.

PALAVRAS-CHAVE: TPM. OEE. Eficiência. Manutenção. Melhoria Contínua

ABSTRACT

The manufacturing industries have the need to maintain its competitiveness always in check with the market and their competitors, and one way to do it, is through the continuous improvement, cost reductions and increase of productivity that can be achieved through the TPM methodology created in Japan in the 70s. This graduation work has as its main objective the realization of an Action Research in a local metallurgy industry, applying the TPM concepts and mainly the use of the productivity indicator OEE, Overall Equipment Effectiveness, chosen as the best method to evaluate the correct utilization of an equipment, to facilitate the installation of a new equipment, and evaluate the first months of production. The present research included the creation of autonomous maintenance plans, creation of metrics on how to define the OEE and a system to collect the needed data and finally the calculation of the actual OEE value. The Results of the research was the controlled begin of production in the chosen machine, intensive actuation on the identified losses, reducing the work stoppage and helping to focus efforts in the direction of an increased competitiveness

KEYWORDS: OEE. TPM. Indicators. Production. Efficiency. Maintenance. Continuous improvement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Publicações sobre OEE	14
Figura 2 – Pilares de sustentação do TPM	19
Figura 3 – Representação de perdas de Disponibilidade.....	25
Figura 4 – Representação de perdas de Eficiência.....	26
Figura 5 – Representação do Fator de Qualidade.....	26
Figura 6 – Representação total do OEE.....	27
Figura 7 – Representação das perdas de OEE	27
Quadro 1 – As seis grandes perdas	28
Figura 8 – Máquina a Laser TruLaser 5030	31
Figura 9 – Plano de Manutenção autônoma	32
Quadro 2 – Perdas do índice de disponibilidade.....	34
Quadro 3 – Subatividades das perdas de disponibilidade.....	34
Figura 10 – Exemplo de processo de corte na máquina laser.....	35
Figura 11 – Não conformidades no corte a laser	37
Figura 12 – Ferramenta de coleta de dados	39
Figura 13 – Porcentagem de disponibilidade por mês.....	41
Figura 14 – Perdas de disponibilidade.....	41
Figura 15 – Porcentagem de eficiência por mês.....	43
Figura 16 – Porcentagem de qualidade por mês.....	44
Figura 17 – Porcentagem de disponibilidade, eficiência e qualidade por mês.....	45
Figura 18 – OEE nos meses de fevereiro, março e abril.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Horas programadas e em operação nos meses de estudo.	40
Tabela 2 – Horas de produção para o cálculo da eficiência.	42
Tabela 3 – Total peças produzidas e não conformes.	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

KPI	Key Process Indicators
OEE	Overall Equipment Effectiveness
TPM	Total Productive Maintenance
PM	Preventive Maintenance
TPS	Toyota Production System
SMED	Single Digit Exchange of Dye

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONSIDERAÇÕES E JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVO GERAL	15
1.3	MATERIAIS E MÉTODOS	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1	HISTÓRIA DO TPM	16
2.2	PRINCÍPIOS DO TPM	17
2.3	OS DESPERDÍCIOS DA PRODUÇÃO	21
2.4	O.E.E – OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS	24
2.4.1	As grandes perdas do OEE.....	27
3	DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM DA PESQUISA	29
3.1	O LOCAL DE ATUAÇÃO.....	30
3.1.1	A empresa	30
3.1.2	O equipamento de estudo	30
3.2	A ABORDAGEM DO PROJETO	31
3.3	MANUTENÇÃO AUTÔNOMA DESDE O PRINCÍPIO.....	31
3.4	FATORES DE COMPOSIÇÃO DO OEE	33
3.4.1	índice de disponibilidade	33
3.4.2	índice de eficiência.....	35
3.4.3	índice de qualidade.....	36
3.5	A FERRAMENTA DE COLETA DE DADOS.....	37
4	RESULTADOS OBTIDOS	40
4.1	DADOS DE DISPONIBILIDADE	40
4.2	DADOS DE EFICIÊNCIA	42
4.3	DADOS DE QUALIDADE	43
4.4	CÁLCULO DO OEE	44
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	48
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	50

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES E JUSTIFICATIVA

A indústria contemporânea de manufatura no país está situada em um momento de recessão econômica e para poder superar esse período de grande instabilidade, tem instaurado seu foco em aumentar a competitividade no mercado. Não por meio da produção exacerbada, mas sim da redução de custos e a aplicação de metodologias da manufatura enxutas, tais como estudos de dados estatísticos, gerenciamento com foco em pessoas, gestão de fornecedores e diversas técnicas já consagradas por diversas empresas classe-mundial desde a ascensão da Toyota na segunda metade do século XX.

Gagnon (1999) afirma que o mercado de manufatura tem imposto incessantemente as necessidades eminentes de que as empresas fabriquem e ofertem seus produtos com qualidade, velocidade, versatilidade, confiabilidade e menores custos, e para atender estas demandas, uma forma de conduzir a gestão estratégica da manufatura seria basear-se nos recursos de produção.

A Gestão da Produção é encarregada de estabelecer métricas, metodologias e procedimentos de controle e análise das atividades e operações envolvendo a transformação da matéria prima em produto acabado, englobando equipamentos, pessoas, serviços e processos.

Segundo Silva (1998) a produtividade de uma empresa tem impacto direto no lucro da mesma, pois altos índices de produtividade acarretam em menores custos, gerando preços mais baixos para os clientes, conseqüentemente maior competitividade no mercado.

No contexto de aumento de produtividade e redução de custos, é de fundamental importância a definição de métricas e KPI's (Key Process Indicators – Indicadores Chaves de Processo) com a finalidade exclusiva de monitorar a utilização eficaz dos equipamentos de uma indústria. Neste estudo será utilizado o indicador OEE, pois segundo Nakajima (1988) por meio da correta utilização deste indicador como instrumento de análise dos meios de produção é possível revelar os custos e despesas escondidos das empresas.

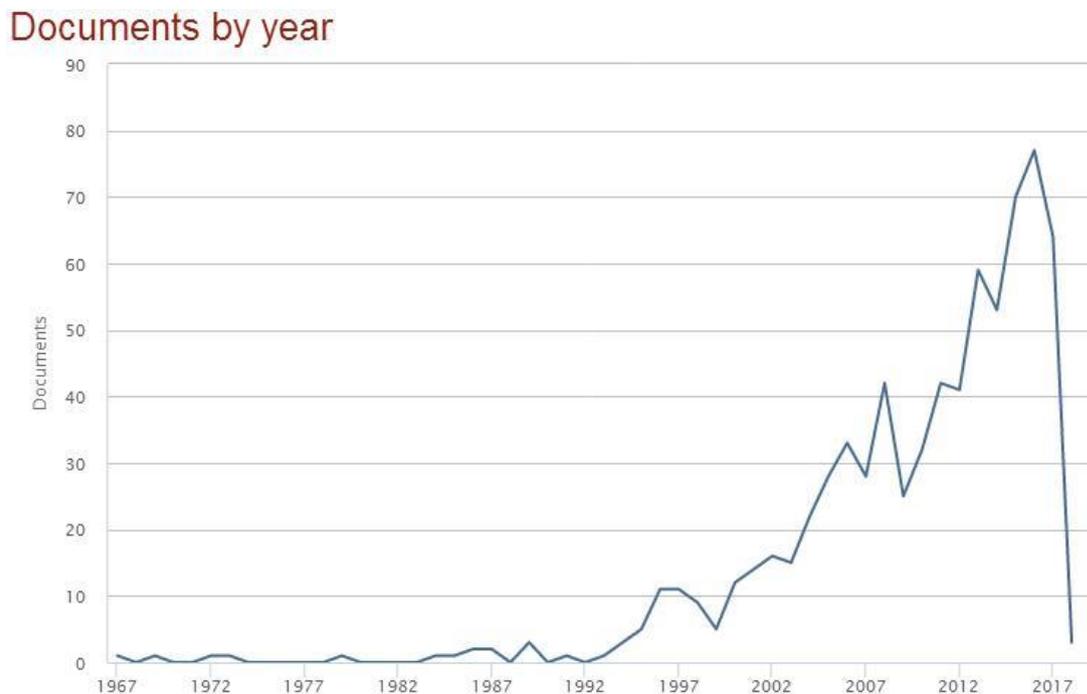
A formulação base para se calcular o OEE é pela da multiplicação de três parâmetros mensurados no equipamento, sendo a fórmula:

$$OEE (\%) = Disponibilidade (\%) \times Eficiência (\%) \times Qualidade (\%) \quad (1)$$

Sendo, a Disponibilidade o índice relativo ao tempo em que o equipamento estava produzindo, a Eficiência, a taxa ou velocidade de produção, e a qualidade o índice de produtos bons relativos ao total da produção para um determinado intervalo de tempo.

Ao consultar os bancos de dados de publicações utilizando OEE como palavra-chave, depara se com um crescente número de trabalhos acadêmicos sendo realizados e publicados a cada ano, demonstrando a que a tendência de tópicos abordando este assunto em ascensão, sendo que desde o início desta década houveram em média 50 publicações anuais em revistas internacionais.

Figura 1 – Publicações sobre OEE



Fonte: Scopus (2017)

Partindo destes conceitos, este estudo se justifica da necessidade de aumentar a competitividade das empresas por meio da utilização mais eficaz dos equipamentos instalados, visando aumentar os lucros e reduzir os custos na indústria, utilizando da implementação de um indicador chave de eficiência dos equipamentos, o OEE.

Este estudo foi conduzido em uma indústria do setor automobilístico situada no vale do paraíba, especificamente em nova máquina adquirida para o corte de chapas de aço que utiliza da tecnologia de corte a laser.

1.2 OBJETIVO GERAL

Este projeto tem como objetivo instituir uma sistemática para utilização da ferramenta “OEE – Overall Equipment Effectiveness” e avaliar a eficácia do mesmo como um indicador chave da análise de produtividade de uma nova máquina instalada em uma indústria multinacional de autopeças situada no Vale do Paraíba, no estado de São Paulo. Visando, principalmente responder à questão de estudo: **“Seria o OEE um indicador válido para avaliar a produtividade de uma máquina de corte a laser em uma indústria de autopeças?”**

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Definir métricas para o cálculo dos fatores que compõem o OEE
- Encontrar e identificar as maiores perdas de disponibilidade, eficiência e qualidade do equipamento
- Aplicar a formulação detalhada na revisão bibliográfica e encontrar o valor do OEE para o equipamento.
- Desenvolver uma sistemática para a coleta de dados.
- Analisar o resultado encontrado e propor soluções para aumento do indicador e soluções de problemas.

1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo, tem como natureza a Pesquisa Aplicada, a qual, segundo Roll-Hansen (2009) tem como critério primário de sucesso a contribuição para a solução de problemas práticos.

A metodologia empregada, foi a Pesquisa-Ação, a qual segundo Cauchick (2009) é a associação próxima entre pesquisadores e trabalhadores que estão em harmonia na busca da resolução de um problema comum, de modo cooperativo e participativo.

O problema em questão é abordado inicialmente por meio da pesquisa à literatura publicada relacionadas aos temas de TPM, OEE e Gestão de Equipamentos. Posteriormente foram definidos os dados necessários e a frequência de coleta no equipamento em estudo, e criada uma sistemática para coleta dos mesmos utilizando do software Microsoft Excel.

Em posse dos dados coletados, juntamente com o conhecimento adquirido da pesquisa bibliográfica, foi calculado o indicador de OEE para o equipamento seguido de uma análise do resultados e conclusões. Também utilizando como ferramenta de análise o MS Excel.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, sendo o capítulo um sobre os objetivos do estudo, introdução e definição do problema abordado, metodologia justificativa e métodos empregados.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica que serviu de apoio para este trabalho, abordando o nascimento da metodologia TPM, os princípios envolvidos, indicadores de desempenho, OEE, as 7 perdas de produtividade, gestão de produção e equipamentos.

O terceiro capítulo aborda a empresa alvo do estudo, como é o processo produtivo da máquina onde o OEE será aplicado, as métricas definidas para o cálculo do indicador desempenho, a ferramenta de coleta de dados e a formulação empregada e também as práticas de manutenção autônoma introduzidas durante o período de coleta.

O capítulo seguinte exhibe os dados coletados durante o período de três meses, o cálculo do indicador de eficiência global do equipamento, e as análises do resultado.

Por fim, o capítulo final encerra a pesquisa-ação com o panorama geral do período em que a pesquisa foi realizada, o entendimento da análise de resultados, e as conclusões finais sobre o projeto.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRIA DO TPM

A Manutenção Produtiva Total (do inglês, *Total Productive Maintenance*, TPM) é uma metodologia de origem no Japão, a qual, segundo Liker (2005) nasceu na década de 70, onde inovou os conceitos de manutenção vigentes, que foram importados ao Japão depois da Segunda Guerra Mundial, conceitos os quais, de acordo com Viana (2002) eram a manutenção como a conservação dos equipamentos e da mão de obra com a finalidade de serem mantidos em nível de constante operação, a fim de atender às necessidades oriundas em um cenário de guerra.

Dentre os conceitos importados na década de 50 para o Japão, o principal conceito de manutenção era a manutenção preventiva, Chiaradia (2004) diz que outras ferramentas e técnicas de manutenção foram sendo acrescentadas a manutenção preventiva, ou *Preventive Maintenance* (PM) como a manutenção corretiva (também chamada de manutenção Pós Quebra), a prevenção da manutenção que é orientada para a engenharia de confiabilidade industrial, engenharia de manutenção e engenharia econômica, acabou originando um novo método, chamado de Manutenção Produtiva.

Assim, a Manutenção Produtiva Total atua por meio da premissa a qual os operadores que utilizam os equipamentos diariamente para fins produtivos são os indivíduos com maior experiência e conhecimento da máquina, portanto são os mais indicados para auxiliar em atividades de reparos e modificações, alcançando uma maior produtividade e qualidade (Liker 2005).

De acordo com Takahashi (1990), pode-se definir o TPM como sendo uma campanha envolvendo todos os setores da empresa, com participação de todo o seu corpo de empregados corretamente instruídos com o propósito de alcançar a máxima eficiência dos equipamentos, a partir de uma cultura de gerenciamento orientada para o equipamento.

Nakajima (1988) diz que a Manutenção Produtiva Total é a evolução da manutenção industrial tradicionalmente estabelecida em três etapas, sendo a primeira etapa a manutenção pós quebra, a segunda etapa a manutenção de caráter preventivo, com base em históricos de quebras ou definições de fabricantes, a terceira das etapas tradicionais é a manutenção preditiva, manutenção feita ao acompanhar periodicamente o estado do equipamento.

2.2 PRINCÍPIOS DO TPM

As principais metas do TPM segundo Takahashi (2000) são:

- Atuar nas perdas de produção, com a identificação e eliminação das mesmas e a maximizar a utilização dos ativos, desta forma, podendo assegurar a produção com qualidade a custos competitivos;
- Prevenção e a melhoria contínua, ampliando a confiabilidade do equipamento e a capacidade produtiva, sem a necessidade de recorrer a investimentos financeiros de grande porte;
- A redução do tempo de resposta produtivo e do lead time de produção e, assim, aumentando a satisfação dos clientes e fortalecendo a posição da empresa no mercado.

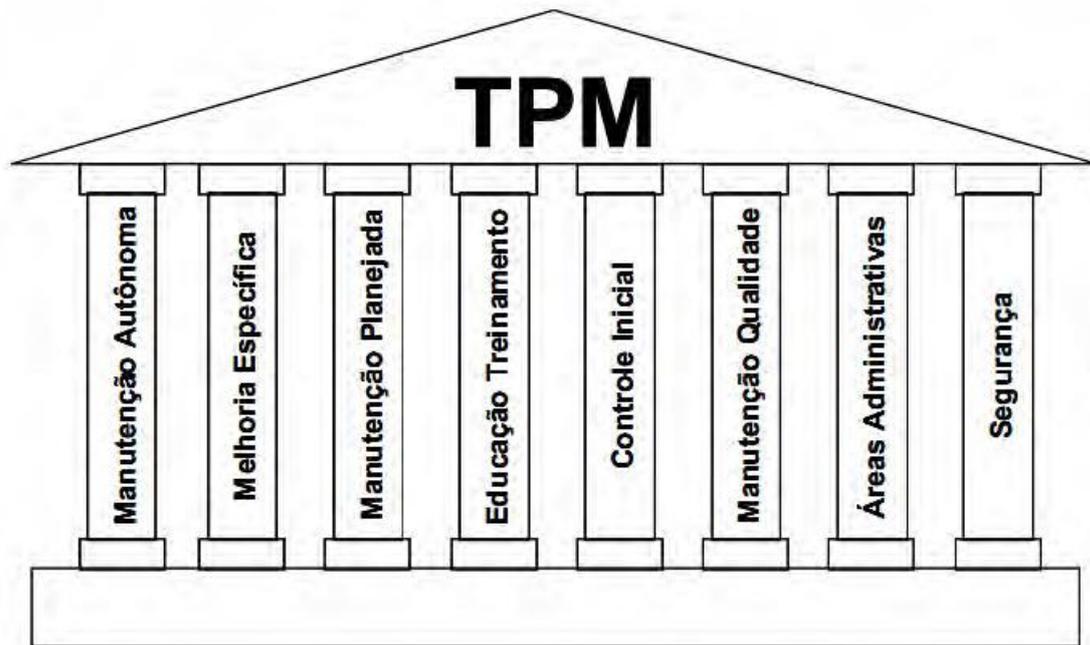
Portanto é possível dizer que o TPM atua de forma a incrementar a eficiência da empresa por meio da maximização dos seus recursos, sejam eles mão-de-obra ou equipamentos, aplicando sua filosofia a todo o corpo de funcionários e ativos da empresa.

Slack *et al.* (1996) destaca cinco procedimentos para se estabelecer a TPM em uma indústria de manufatura:

- Desde a origem de sua instalação, iniciar a gestão dos equipamentos usando a TPM;
- Implantação da manutenção autônoma: Transmitir aos operadores das próprias máquinas algumas das responsabilidades e tarefas da manutenção, de forma a incentivar os mantenedores a assumirem a responsabilidade de melhoria no equipamento.
- Análise de eficácia dos equipamentos: por meio de análises estatísticas, definir e eliminar as perdas do equipamento;
- Planejamento da manutenção: desenvolver um cronograma tratando de todas as atividades da relacionadas à manutenção do equipamento, sendo elas preventivas, preditivas ou planejadas, além de definir os recursos que serão empregados para a realização das mesmas;
- Ensinar de forma constante as habilidades e capacidades necessárias à manutenção dos equipamentos a todo o pessoal envolvido em atividades acerca do mesmo.

Nakajima propõe uma estrutura para a Manutenção produtiva total apoiada em oito princípios, chamados de os oito pilares da TPM:

Figura 2 - Pilares de sustentação do TPM



Fonte: Chiaradia (2004)

Onde cada pilar da TPM, sua importância e definição são apresentadas como segue:

- 1º Pilar - Manutenção Autônoma e Espontânea

O primeiro pilar, está no coração dos princípios da TPM, atuando diretamente nos operadores dos equipamentos, encarregando eles de responsabilidades pela limpeza, organização, e as primeiras ações corretivas, de atuação mais simples, identificar anormalidades e caso seja uma ocorrência complexa demais para sua capacitação, acionar o departamento de manutenção especializada, desta forma os operadores atuam como mantenedores do próprio equipamento, deixando assim apenas o reparo e restauração do equipamento sob a responsabilidade da mão de obra especializada. Desta forma, é alcançada o aumento da eficácia, redução de perdas e prevenção de paradas.

- 2º Pilar – Melhorias Específicas

As atividades desse pilar incluem as ações que buscam maximizar a eficiência do equipamento, erradicando de forma sólida as perdas que afetam diretamente a Eficiência Global de Equipamentos – OEE, por meio de projetos de melhorias incrementais de forma contínua, com foco nas perdas crônicas dos equipamentos, de forma a se obter a redução no número de

quebras ao mesmo tempo aumentando o desempenho dos equipamentos e processos, (Nakajima, 1988).

- 3º Pilar – Manutenção Planejada

As ações da manutenção planejada correspondem a um conjunto de técnicas de manutenção baseadas no tempo de uso e nas condições dos equipamentos, visando o aumento da disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, além de redução de custos com diminuição de ações de manutenção corretiva. Por meio da PM são minimizadas as falhas e defeitos com um custo mínimo, o que implica em treinamentos e técnicas para os técnicos de manutenção, junto da utilização de softwares estatísticos auxiliando a organização das paradas de máquina sem afetar a produção diária.

- 4º Pilar – Treinamento e Educação

Segundo Nakajima (1988) a responsabilidade deste pilar é proporcionar o apoio e todos os recursos necessários para que os setores possam capacitar, treinar e preparar seus empregados por meio de cursos, treinamentos rápidos ou completos e palestras para que os mesmos sejam capazes de realizar a manutenção com confiança em sua capacidade e com uma taxa reduzida de erros. A TPM é focada no ser humano, e é principalmente dele que dependerá o alcance de resultados efetivos. O treinamento é uma aplicação onde não se deve economizar recursos.

Os treinamentos devem ser aplicados para todos os colaboradores, abordando desde as práticas e conceitos da TPM, funções e técnicas inovadoras a serem aplicadas nos equipamentos e também treinamentos sobre liderança, gestão e união.

- 5º Pilar – Controle Inicial

Para Pião *et al.* (2012), o pilar de controle inicial deve ter como base outros setores com processos TPM já instalados de forma que, ao iniciar o desenvolvimento de um novo equipamento, possa-se usufruir da experiência já adquirida anteriormente, desta forma, eliminando problemas e falhas antes mesmo de acontecerem.

Nakajima (1988) descreve este pilar como a criação de um sistema de gerenciamento para a fase inicial de instalação de novos equipamentos, levantando em conta todas as dificuldades e problemas nos equipamentos novos com uso dos conhecimentos adquiridos em experiência anteriores, sempre visando a prevenção da manutenção e redução de perdas.

- 6º Pilar – Manutenção da Qualidade

Segundo Nakajima (1988), a garantia da qualidade do produto durante o processo de produção está rigorosamente ligada às condições de manutenção das máquinas e equipamentos, de forma que, o objetivo é assegurar a qualidade dos produtos em constante aumento pela da manutenção efetiva nos equipamentos.

O objetivo deste pilar é promover o suporte às áreas produtivas, permitindo um volume de produção de peças e componentes cada vez maior sem comprometer a qualidade por paradas e quebras nos equipamentos.

- 7º Pilar – TPM Administrativo

Nakajima (1988) descreve este pilar como a busca da eficiência ligada ao TPM nos setores administrativos, otimizando rotinas destes departamentos para eliminar desperdícios uma vez que eles afetam indiretamente os processos de produção.

- 8º Pilar – TPM, Segurança, Higiene e Meio Ambiente

Ainda de acordo com Nakajima (1988), o objetivo deste pilar é reduzir os riscos de segurança e de impactos ao meio ambiente, com o principal foco na prevenção de acidentes. Por intermédio da eliminação de riscos à segurança, fontes de poluição, condições não ergonômicas é assegurada a saúde e o bem-estar dos colaboradores. Impactando diretamente nos índices de absenteísmo e de doenças.

2.3 OS DESPERDÍCIOS DA PRODUÇÃO

De acordo com Shingo (1996) as atividades que absorvem recursos sem criar valor para o cliente são as perdas ou desperdícios, definindo valor como tudo aquilo que o cliente pode ver ou sentir ao adquirir o produto, incluindo a reputação da marca, qualidade do produto e qualidade da matéria prima. Portanto, tornou-se necessário o estudo e a definição das principais causas de desperdícios existentes no processo produtivo, com o objetivo de conhecê-las, quantificá-las e, então estruturar tratativas para controlá-las e quando possível, eliminá-las.

CORRÊA (2006) diz que eliminar desperdícios significa analisar todas as atividades realizadas na fábrica e descontinuar as que não agregam valor à produção. CORRÊA e CORRÊA¹ (2006 *apud* SHINGO, 1996, p 422) lista as sete perdas que acarretam em desperdícios de recursos da produção e conseqüentemente da empresa:

- **Perda por superprodução:** A superprodução consiste no hábito de produzir uma quantidade superior à necessitada pela demanda, na tentativa de prever uma futura necessidade ou para o caso de haver requisição futura. Dentre as perdas que serão listadas, a perda por superprodução possivelmente é umas das mais prejudiciais. A superprodução tem a propriedade de esconder as outras perdas e é mais difícil de ser eliminada, pois para solucionar esse desperdício normalmente outros setores são envolvidos, até decisões corporativas e gerenciais precisam ser tomadas.
- **Perda por transporte:** Listado como transporte estão as atividades relacionadas ao deslocamento de matérias-primas, insumos ou produtos acabados, essas atividades não agregam valor ao produto, pois não o transforma, no entanto são práticas necessárias devido a restrições nos processos, falhas de layout ou deficiência tecnológica. As tratativas para melhoria das perdas por transporte devem ser um esforço prioritário, dado que normalmente acarretam em grandes reduções de custos, pois, em geral, o transporte, consome grande parcela do lead time de processo. As melhorias mais relevantes de redução das perdas por transporte são as que envolvem alterações nas distâncias percorridas, ocasionadas por um layout ineficiente.
- **Perda por movimentação:** Diferente da perda por transporte, a perda por movimentação está ligada ao excesso de movimentos realizado pelo colaborador ao realizar uma atividade. Uma das formas efetivas de eliminar a perda por movimentos excessivos é o estudo de tempos de cada operação, detalhando ao máximo o processo e os procedimentos que são realizados e após uma cuidadosa análise eliminar os excessos.
- **Perda por processamento:** No próprio processo produtivo podem estar havendo desperdícios que devem ser eliminados, tais desperdícios se referem a processamento de materiais que não impactam no produto final ou mesmo na qualidade dele. A forma de eliminar essas perdas é através do questionamento das etapas do processo, “porque isso é feito?” “há necessidade disso no produto?”.

1 CORRÊA, H.L ; CORRÊA , C.A .Administração de Produção e Operações , Manufatura e Serviços : Uma Abordagem Estratégica. 2. ed. São Paulo: Atlas , 2006. apud SHINGO, S. Sistemas de Produção com Estoque Zero : O Sistema Shingo para Melhorias Contínuas. Porto Alegre: Bookman , 1996.

- **Perda por espera:** Essa perda se refere ao operador ou equipamento não realizando nenhuma atividade enquanto está aguardando uma etapa anterior do processo, aguardando matéria prima chegar ou ser processada em outra etapa. Normalmente dividida em espera de materiais ou recursos ou espera por máquina ou operador.

- **Perda por defeito:** A perda por defeito, também chamada de desperdício por produzir produto defeituosos está completamente ligada aos produtos com falhas em suas características de qualidade, consequência de um processo não robusto o suficiente, falhas de manutenção nas máquinas ou treinamento dos operadores. O desperdício da qualidade acarreta em alocações de recursos para realizar o retrabalho do produto, ou em situações onde o retrabalho não é possível, a perda da matéria prima e uma segunda despesa em produzir novamente o produto refugado.

- **Perda por estoque:** A perda por estoque se apresenta de várias formas ao longo do processo produtivo de uma indústria, inicialmente estocando matéria-prima para a eventualidade de uma falha no fornecedor, secundariamente estocando material em processamento, visando aproveitar melhor o *setup* de uma máquina em produção ou garantir a quantidade certa de produtos atendendo a qualidade, e por fim, o estoque de produto acabado, para caso a demanda varie, caso haja adversidades de qualidade ou quebras de máquinas.

Todos esses estoques ao longo de uma indústria geram um desperdício de espaço, investimento, recursos, e tem como consequência direta os outros desperdícios, por exemplo, para ter um estoque grande, foi necessário produzir mais e transportar o material para os estoques.

Uma outra consequência dos estoques é ocultar a ineficiência do processo e da administração da empresa, um estoque grande pode passar a falsa impressão que é a solução para inúmeros problemas cotidianos como: manutenção, qualidade, abastecimento, fornecedores não-confiáveis, previsão ruim de demanda, dentre outros.

Na verdade, um estoque grande está ocultando todas essas dificuldades, removendo oportunidade de a indústria atuar nessas causas e eliminar todas essas perdas.

- **Perda de recursos humanos não utilizados:** Além dos sete desperdícios originalmente propostos por Shingo, Liker (2005) diz haver um oitavo desperdício

relacionado à capacidade da empresa de aproveitar os recursos intelectuais e criativos do seu corpo de colaboradores, pois a criatividade é a capacidade do ser humano de inovar, inventar algo novo ou aprimorar o que já existe. É um grande desperdício para uma empresa não ouvir as sugestões de seus funcionários e não criar um ambiente onde os mesmos se sintam confortáveis em exercitar sua criatividade e sugerir melhorias, as quais frequentemente envolvem reduções de custos e melhoras de processo. Gerando um ambiente de trabalho mais saudável e satisfatório para os colaboradores.

2.4 O.E.E – OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS

A metodologia TPM tem como seu principal objetivo o aumento da produtividade, performance, qualidade, e do tempo em que os equipamentos estão disponíveis para a produção, e com isso, surgiu a necessidade de medições precisas destes fatores em plantas fabris. Como ferramenta para realizar tais medições e análises, surgiu o OEE derivado da metodologia TPM, considerado por Hansen (2001) como um dos indicadores mais importantes na medição do desempenho de uma fábrica, pois entre suas utilidades estão o aumento da produtividade e dos lucros de uma indústria, Hansen afirma que o OEE atualmente já é considerado uma ferramenta independente do TPM, apesar de sua origem na metodologia japonesa.

De acordo com Santos e Santos (2007) o OEE indica os melhores locais para investimento de melhorias, pois com o índice em mãos devidamente estratificado, tem-se as informações necessárias das maiores perdas e como gerar um aumento de produção, frequentemente descartando a necessidade de novos equipamentos devido ao incremento da taxa de utilização após a devida aplicação do OEE.

De acordo com Chiaradia (2004), A otimização da eficácia das máquinas produtivas é alcançada qualitativamente e quantitativamente, com atividades que aumentam o tempo de produção e performance produtiva e também através da tomada de ações que visam a redução do número de defeitos.

Deste modo para se calcular o OEE são utilizados os três fatores mencionados, no formato de índices percentuais, segundo a equação 1:

$$OEE (\%) = Disponibilidade (\%) \times Eficiência (\%) \times Qualidade (\%) \quad (1)$$

Na equação 1, a disponibilidade é definida como a porcentagem do tempo em que o equipamento esteve produzindo dividido pelo tempo total que a máquina estava disponível para produção, segundo a equação 2;

$$Disp (\%) = \frac{\text{tempo total} - \text{paradas não planejadas} - \text{paradas planejadas}}{\text{tempo total} - \text{paradas planejadas}} \quad (2)$$

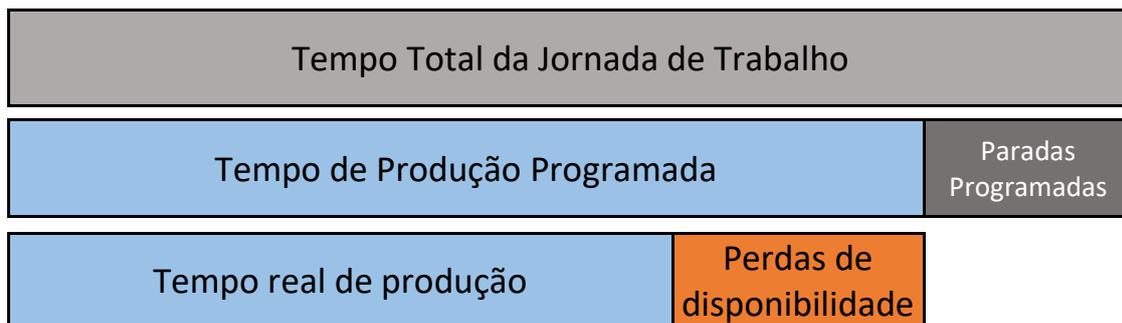
Onde,

- Tempo Total – total do tempo do equipamento, baseado na disponibilidade de equipamento, mão de obra e demanda de produção.
- Paradas Planejadas – Paradas de equipamento que foram planejadas com antecedência, tais como refeições e manutenções programadas.
- Paradas não planejadas – tempo onde há realmente as perdas de produção, paradas tais como manutenção corretiva, setups, ajustes de máquina, movimentação e abastecimentos.

Já Hansen (2001) define uma outra métrica para o cálculo da disponibilidade, a qual inclui as paradas programadas alegando que a empresa deve tomar conhecimento de tais paradas para ter um potencial maior de tomada de decisão, de forma que todos os tipos de atividades, produtivas ou não, estão listadas como possíveis oportunidades de melhorias.

Uma representação do conceito de disponibilidade segue na figura 3 abaixo:

Figura 3 – Representação de perdas de disponibilidade.



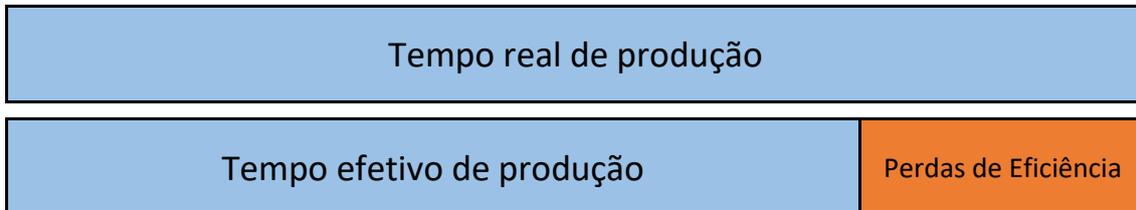
Fonte: Nakajima(1988) Adaptado.

Já o fator de eficiência, também chamado de performance operacional ou desempenho, é definido por Hansen (2001) como diretamente ligada ao fator de processamento da máquina, segundo Nakajima (1988) é a razão entre o tempo de ciclo real em relação ao tempo de ciclo ideal da máquina, definidos na equação 3:

$$Eficiência (\%) = \frac{\text{Tempo de ciclo teórico} \times \text{quantidade de peças produzidas}}{\text{Tempo real de produção}} \quad (3)$$

Seguindo a representação da disponibilidade, a partir do tempo real de produção, tem-se o tempo efetivo de produção:

Figura 4 – Representação de perdas de Eficiência.



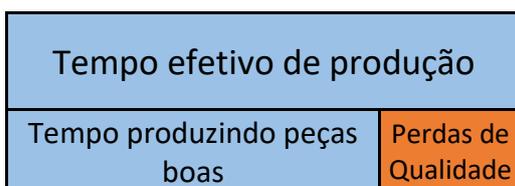
Fonte: Nakajima (1988) Adaptado.

E, por fim, o último dos fatores de composição para o cálculo do OEE é o fator da qualidade, que diz respeito ao número de produtos bons de primeira que deixaram o equipamento, dividido pelo total de produtos, de forma que as perdas nesse quesito estão ligadas ao tempo gasto produzindo peças que não puderam ser aproveitadas.

$$Qualidade (\%) = \frac{\text{Produtos conforme}}{\text{Total de produtos produzidos}} \quad (4)$$

Representando o último fator graficamente,

Figura 5 – Representação do Fator de qualidade

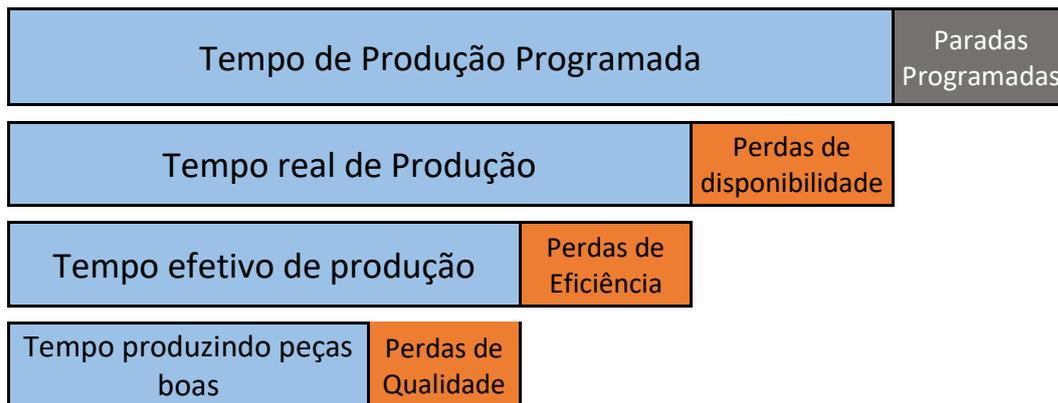


Fonte: Nakajima (1988) Adaptado.

Com os três fatores de composição do OEE definidos e calculados, resta apenas aplicar os valores na equação (1) e encontrar o valor final do OEE. Que está demonstrado a seguir como a soma das representações das figuras 3, 4 e 5:

Figura 6 – Representação total do OEE

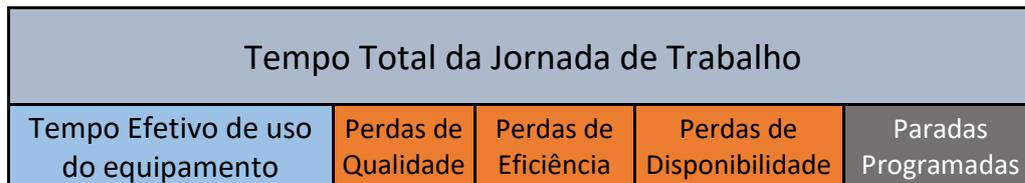




Fonte: Nakajima (1988) Adaptado.

Portanto, o OEE é a porcentagem do tempo total programado em que a máquinas esteve produzindo, na velocidade esperada, peças boas. Ou seja, o tempo efetivo de uso do equipamento.

Figura 7 – Representação das perdas de OEE



Fonte: Nakajima (1988) Adaptado.

2.4.1 As grandes perdas do OEE

Uma vez definidos os parâmetros e formas de cálculos de OEE, além de sua importância para uma eficaz avaliação de desempenho de um equipamento, Nakajima (1988) cita os principais fatores que causam a queda no índice, de acordo com a natureza das perdas e qual dos três fatores de composição do OEE são reduzidos decorrentes de cada causa.

Denominado de As seis Grandes perdas de OEE, elas estão listadas no quadro 1, e logo em seguida será dada uma breve explicação acerca de cada uma das perdas, suas consequências e como afeta o índice de perda.

Quadro 1: As seis grandes perdas

Perda	Consequência	Índice afetado
1. Quebras	Paralisação	Disponibilidade

2. Setups		
3. Micro paradas	Queda de velocidade	Eficiência
4. Redução de velocidade		
5. Defeitos de produção	Defeitos	Qualidade
6. Início de Produção		

Fonte: Nakajima (1988) Adaptado.

- Perdas por Quebras

Segundo Kardec & Nascif (2013), as perdas decorrentes de quebras no equipamento são as responsáveis por uma das maiores parcelas na redução de desempenho dos equipamentos, sejam elas uma quebra não programada, de ocorrência repentina, ou uma gradual perda das funções dos equipamentos, resultando em quedas de performance e produtos defeituosos.

A quebra causa uma indisponibilidade no equipamento por um período até a realização da manutenção no local de origem da quebra. A manutenção corretiva é realizada pelos operadores sempre que possível, de acordo com os princípios da manutenção autônoma ou em casos graves pelo próprio departamento de manutenção. De acordo com Chiaradia (2004) as quebras são denominadas esporádicas quando sua ocorrência é de forma aleatória, onde normalmente não há dificuldades de identificação e correção desse tipo de quebra. Já as chamadas de quebras crônicas, são de difícil identificação e acabam sendo aceitas como uma condição inerente do processo devido sua natureza de pouca duração.

- Perdas por Setups (Mudanças de linha)

Kardec & Nascif (2013) definem essas perdas como ocorrência da necessidade de troca de produtos em um equipamento, os ajustes em ferramentas, preparação das máquinas, troca de utensílios, posicionamento e demais atividades necessárias à troca de produto, ocorrendo enquanto o equipamento está parado

Já Shingo, (1996) assegura que grande parte das perdas durante o procedimento de setup, entre 70 e 80%, são perdas que podem ser evitadas com o procedimento chamado SMED (Single Digit Exchange of Dye), a técnica de Setup Rápido, que tem o foco em separação das atividades que são realizadas antes e depois da máquina parar, calibração de instrumentos, e principalmente, padronização dos procedimentos de cada operador.

- Microparadas

Definido como Microparadas estão as perdas derivadas de pequenas interrupções da produção, de duração muito pequenas, sejam por mau funcionamento do equipamento ou a interrupção do ciclo de produção por qualquer motivo. Normalmente solucionadas pelo próprio operador em um tempo menor que o definido pela empresa, não é registrado como parada de máquina e por isso afeta o índice de desempenho, causando o mesmo efeito de uma lentidão no equipamento.

- Perdas por Queda de Velocidade de Produção

Segundo Nakajima (1988), tais perdas ocorrem quando o equipamento não está produzindo em sua velocidade nominal, produzindo em uma velocidade inferior à especificada pelo fabricante ou ao padrão (standard) definido pela engenharia da empresa.

Tais problemas resultam num volume de produção menor que o especificado para um mesmo período de produção, causando a necessidade de produzir por mais tempo que o idealizado para atender o tamanho de um lote.

- Perdas por defeitos na produção

Nakajima (1988), afirma que as perdas por produtos defeituosos são aquelas causadas pela não conformidade dos critérios de qualidade do produto. As perdas por qualidade insatisfatória de produtos produzidos, são detectadas por meio das especificações mínimas definidas não serem alcançadas, o que ocorre em uma perda de tempo de máquina para produzir novamente o produto, ou retrabalhar a não-conformidade, se possível.

- Perdas por início de produção

Ainda Nakajima (1988) define as perdas por início de produção, perdas por startup ou arranque, como o período de estabilização da máquina após um setup ou ajuste, normalmente caracterizados por um período breve em seguida a um início de produção ou ao fim em que a máquina ainda não está em sua capacidade nominal e ajustes ideais para a produção contínua, gerando pequenos índices de perda de rendimento e de não-conformidade nos produtos.

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E MODELAGEM DA PESQUISA

3.1 O LOCAL DE ATUAÇÃO

3.1.1 A empresa

Como exposto na seção anterior, para uma empresa manter sua competitividade, eficiência e custos baixos, tem-se a necessidade de se calcular de forma correta os indicadores de desempenho de suas máquinas, a fim de poder usufruir o máximo do equipamento disponível.

Dado isso, este trabalho buscou demonstrar a aplicação real de indicadores de desempenho, especificamente o indicador OEE, em uma indústria. O estudo foi realizado utilizando o método de uma pesquisa-ação conduzida em uma empresa multinacional, situada na região do Vale do Paraíba, no estado de São Paulo.

A empresa em questão tem sua fundação datada há mais de 70 anos, e atualmente emprega mais de 3.000 funcionários, e tem sua principal atuação no setor automobilístico, especificamente de autopeças para caminhões e ônibus.

3.1.2 O equipamento de estudo

A forma mais eficiente encontrada para a realização do estudo, que também gerasse resultados proveitosos para a empresa, seria utilizar um dos princípios descritos nos 8 pilares do TPM, iniciando a atuação da pesquisa-ação desde o início da aplicação do equipamento na empresa. Oportunamente, estava em processo de aquisição para o setor de preparação de estampados uma nova máquina de corte a Laser em duas dimensões, a qual foi o objeto de foco do trabalho.

O equipamento é uma máquina de corte a laser 2D, da fabricante austríaca Trumpf, uma empresa referência nesse tipo de processo, o modelo da máquina é TruLaser 5030, com um feixe de corte com potência de 5 Kilowatts, é especializada em corte de chapas de aço carbono, até espessuras de 25mm e dimensões de chapa de 1500x3000mm.

Figura 8 – Máquina a Laser TruLaser 5030



Fonte: TRUMPF (2017)

3.2 A ABORDAGEM DO PROJETO

Com a definição dos locais específicos de estudo, na empresa onde foi realizado o projeto, o setor que ofereceu apoio e o novo equipamento a ser instalado, a etapa seguinte do estudo foi criar um planejamento de como implementar alguns dos conceitos básicos de TPM no equipamento e passar uma sistemática para o cálculo da eficiência global dos equipamentos.

As etapas seguidas pelo projeto foram:

- Etapa 1: Definir o problema e local de estudo: Este projeto visa responder à questão: Seria o OEE um indicador válido para avaliar a produtividade de uma máquina de corte a laser em uma indústria de autopeças?
- Etapa 2: Desenvolver um plano de manutenção autônoma e capacitar os operadores.
- Etapa 3: Definir as métricas de avaliação dos três fatores de composição do OEE (Disponibilidade, Eficiência e Qualidade);
- Etapa 4: criar um método de coleta de dados;
- Etapa 5: Coletar os dados por um período de três meses;
- Etapa 6: Calcular o OEE com os dados coletados.

3.3 MANUTENÇÃO AUTÔNOMA DESDE O PRINCÍPIO

Uma vez que a etapa 1, de definição e local de estudo foram decididos inicialmente com a empresa em questão, o passo seguinte seria seguir um dos pilares do TPM, criando uma manutenção autônoma desde o princípio do funcionamento da máquina. Com o propósito de

realizar o plano de manutenção da forma mais eficaz possível, foi contatada a empresa TRUMPF, a fabricante do equipamento, enquanto os técnicos de manutenção estavam instalando o mesmo para o uso.

Com as sugestões do fabricante de quais procedimentos seguir, foram avaliadas as capacitações dos operadores e realizados treinamentos em conjunto com o fabricante para ensiná-los as habilidades necessárias de forma a realizar a manutenção autônoma da melhor maneira possível, preservando o estado de conservação da máquina Laser.

Por fim, o plano de manutenção preventiva que foi implementado está ilustrado na figura 9.

Figura 9 – Plano de Manutenção autônoma

LEGENDA >>>>		✓ realizado	✗ NÃO realizado	Turno:																												ANO :		
																														MÊS:				
Pontos de verificação diário				01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
		Horímetro LASER 1																																
Limpar	F	Elevador da mesa de transferência																																
	B	Coletor de pó (exaustor)																																
	A	Gaveta de detritos																																
Verificar		Sistema de pressão pneumática (7-11bar)																																
		Sistema de gás O2 (8 - 10bar)																																
		Sistema de gás N2 (25 - 30bar)																																
		Gases especiais (Hélio, N2 e dióxido de carbono 6bar)																																
Pontos de verificação semanal			Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4		Semana 5																							
			Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data	Nome	Data		
Limpar	G	Lente de convergência																																
	D	Grelhas de aspiração e parte inferior da mesa de corte																																
	E	Facões																																
	F	Condensador do chiller																																
	D	Laminas defletoras de cobre																																
	F	Limpeza de Manta Filto																																
	F	Manter pallets em ordem																																
F	Carenagens Gerais																																	
TIPOS DE LIMPEZA																																		
A	Limpeza da bandeja de detritos		B	Limpeza do filtro do Exaustor		C	Limpeza do pó do Aspirador		D	Limpeza da grade de Aspiração (grelha)		E	Verificação dos Facões																					
F	LIMPEZA DE RESIDUOS		G	PROCEDIMENTO LIMPEZA DE LENTES																														

Fonte: Produção do Próprio autor

Neste plano de manutenção, estão contempladas atividades diárias e semanais para cada turno, a serem realizadas logo após ligar a máquina, enquanto a mesma está em seu período de

start, as ações descritas no plano de manutenção autônoma incluem, de forma geral, limpeza dos pontos críticos, entradas e saídas de ventilação, verificação de pressão nas mangueiras, alimentação de gases, estado de desgaste de componentes e demais itens. Os operadores foram devidamente instruídos para caso verificar alguma anormalidade além das limitações técnicas dos treinamentos dados a eles, preencher uma folha de não conformidade e acionar o departamento de manutenção.

3.4 FATORES DE COMPOSIÇÃO DO OEE

Como forma de avaliação do uso eficaz do equipamento, o OEE é um indicador excelente e mundialmente utilizado, e para poder fazer uso deste indicador, será necessário colher dados relativos aos três grandes pilares do OEE, a disponibilidade, a eficiência e a qualidade do equipamento. As métricas utilizadas para a definição do que seria cada pilar na máquina em questão, quais os tipos de perdas principais a serem controladas no início da gestão serão descritas a seguir:

3.4.1 Índice de disponibilidade

A disponibilidade máxima do equipamento, segundo Nakajima, seria o tempo total do equipamento, excluindo as paradas programadas, paradas como engenharia, start de máquina ou o tempo estipulado para manutenção autônoma. No entanto, Hansen (2006), propõe uma segunda abordagem, na qual é contabilizado todo o tempo onde há equipamentos e necessidade de produção, de forma a sempre saber onde estão todas as perdas do equipamento e tomar a decisão de onde investir recursos.

Para a realização deste trabalho, foi considerada a abordagem de Hansen, portanto, as horas totais disponíveis para o cálculo de disponibilidade serão consideradas sempre que houver a combinação de mão de obra, equipamento e produção programada, e a todas as demais paradas que acarretarem em paradas do equipamento serão consideradas como perdas de produção e sumariamente descontadas do índice de disponibilidade.

Portanto, foram definidas as principais causas de paradas na máquina a laser e criados seis agrupamentos para o controle inicial dos índices de paradas do equipamento, os quais posteriormente podem ser removidos ou outros grupos acrescentados à essa tabela inicial. Os grupos estão descritos no quadro 2

Quadro 2 – Perdas do índice de disponibilidade.

Perda	Descrição da perda
Atividades de Produção	Atividades ligadas à inicialização de máquina, troca de consumíveis, pequenos acertos, limpezas, necessárias para a produção
Setup	Trocas de ferramentas e dispositivos ao mudar o tipo de produto
Abastecimento	Tempo perdido aguardando matéria prima de uma operação anterior, ou trocando a matéria prima recebida incorretamente
Engenharia	Paradas de máquina decorrente de atividades ligadas à engenharia, como falta de informação no processo, testes de produtos novos, falta de programa de corte
Manutenção	Quebras no equipamento, na rede de ar comprimido ou na ponte rolante de alimentação
Outros	Diversas quebras

Fonte: Produção do Próprio autor

Cada um dos seis grupos descritos no quadro 2, é dividido em subatividades que possuem uma descrição mais detalhada das perdas, visando uma coleta de dados mais precisa, e consequentemente haverá informações acuradas para a posterior análise de resultados, a separação em subatividades também acarreta em uma maior facilidade para o operador registrar exatamente o que está ocorrendo.

Quadro 3 – Subatividades das perdas de disponibilidade.

Perda	Subatividade	Código de apontamento
Abastecimento	Matéria Prima incorreta	2
	Falta de Matéria-Prima	3
Atividades de Produção	Troca de consumíveis (Especificar)	6
	Limpeza de Lente	7
	Limpeza de Transportador	8
	Iniciando Máquina	9
	Reunião / Treinamentos	20
	DT Incorreta / Falta de DT	21
Engenharia	Try-Out	31
	Ajuste de Programa	32
	Sem programa	33
	Ponte Rolante Quebrada	40
Manutenção	Manutenção Sky	43
	Outros	42
	Outros	Troca de Produto
Setup	Aprovação de primeira peça	13

Fonte: Produção do Próprio autor

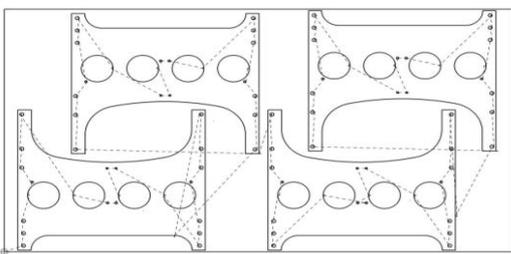
Com essa caracterização de como será definido o índice de disponibilidade, os colaboradores responsáveis pelas atividades operacionais do equipamento foram devidamente instruídos em como e onde cada situação ocorre e como responder a cada uma delas.

3.4.2 Índice de Eficiência

A Eficiência, também chamada de performance, é o índice que atesta se enquanto o equipamento está produzindo, ele o está fazendo da melhor maneira possível e na velocidade correta, gerando produtos na velocidade esperada pela engenharia do produto.

O índice de eficiência, é calculado com base no desenvolvimento da engenharia de processos ao criar um procedimento para a produção do produto, procedimento tal, que determina qual matéria prima deve ser usada, como o produto será cortado pela máquina, qual arranjo deverá ser utilizado e qual o tempo de processamento esperado, conforme a figura 10:

Figura 10 – Exemplo de processo de corte na máquina laser

Nome da Tarefa: T2800		Sucata Real: 52.9%	Qtde. Requerida: 4
Nº de chapas com o mesmo formato: 1		Sucata Retangular: 9.4%	Qtde. Arranjada: 4
Formato: 1 de 1		Peso da chapa: 180.06 kg	Peso Sucata: 100.11 kg
			
Material: LNE_380	Comp. da Chapa: 2240.000 mm	Uso Chapa em X: 2174.632 mm	
Espessura: 8.000 mm	Altura da Chapa: 1280.000 mm	Uso Chapa em Y: 1272.000 mm	
Nome Chapa:	Tempo de Corte: 00:25:45	Tempo Programa: 00:25:45	
Número de Perfurações: 92		Data e Hora de Processamento: 02/10/2017 16:44:57	
TEMPO DE CORTE			
Trumpf3030New	00:12:21		
Trumpf4030-32KW	00:15:02		
Trumpf5030	00:12:25		
Prima_Platino_Primach20L	00:25:45		

Fonte: Produção do Próprio autor

A partir do processo exemplificado na figura 9, e sabendo o modelo da máquina que está sendo analisada (Trumpf 5030), ao observar na imagem a tabela de “tempo de corte” é possível determinar que o tempo de engenharia estipulado para cortar essa chapa de aço é de 12 minutos e 25 segundos para as quatro peças, ou um tempo unitário de corte de 3 minutos e 8 segundos, chamado de tempo padrão da peça.

Uma vez estipulado o tempo por unidade produzida de engenharia, o tempo padrão da peça, para cada um dos itens que serão produzidos, o próximo passo é medir de forma acurada

o tempo real de produção e comparar com o tempo padrão de engenharia, espera-se que o tempo real de produção do item será igual ou maior que o tempo padrão, caso contrário a engenharia de processos deverá ser notificada e o tempo padrão deste produto revisto.

As perdas do índice de eficiência, como descritas por Nakajima e numeradas no capítulo dois, são definidas por micro paradas, ou seja, paradas por um tempo curto demais, que não são possíveis de registrar através da metodologia empregada, ou paradas as tais que o tempo para registro da parada será maior que o tempo da parada em si.

Uma segunda perda que penaliza o índice de eficiência, é a lentidão no equipamento, normalmente causada pela degradação natural de componentes internos, pequenas batidas ou uso indevido. Tais perdas são muito difíceis de identificar e a melhor solução para evitar tais males é manter em dia as manutenções autônomas e preventivas, com observação constante do equipamento em operação, visando captar possíveis causas de micro paradas ou lentidões.

3.4.3 Índice de Qualidade

O índice de qualidade, é o mais simples de calcular dos três fatores envolvidos no OEE, contemplando apenas o número absoluto de peças produzidas, é um simples somatório da quantidade total de cada componente produzido no período como o divisor da equação, e o dividendo seria o mesmo valor subtraído do total de peças sucata no período escolhido.

Por se tratar de uma máquina de precisão, que tem sua operação baseada na posição específica da chapa no momento em que o corte a laser é realizado, uma vez que, ao terminar o corte de um item e ele for removido de sua posição, não será possível reinserir o componente defeituoso para retrabalho, e mesmo se for possível corrigir a não conformidade de alguma forma externa, normalmente envolverá outras máquinas e outros processos mais custosos, de forma que o retrabalho das não conformidades geradas no processo é inviável.

Nas figuras 11(a) e 11 (b), estão exemplificados algumas das possíveis não conformidades que podem ser geradas na operação de corte a laser:

Figura 11(a) e 11(b) – Não conformidades no corte a laser



Figura 11(a)



Figura 11(b)

Fonte: Produção do Próprio autor

As figuras demonstram falhas no corte a laser, ao observar a superfície externa no lado direito da figura 11(a) e o contorno dos furos na figura 11(b), pode se notar as incongruências onde o feixe de corte foi ajustado de maneira errada para a espessura e material deste componente, de forma que em locais onde deveria haver um corte limpo, o aço sofreu uma fusão indesejada. Já no lado esquerdo da imagem 11(a), na superfície externa da peça, está um exemplo de corte correto que seria aprovado nos padrões de qualidade.

Outros fatores que podem influenciar no índice de sucata dos produtos, são as tolerâncias dimensionais de corte, as quais são rigorosas devido à característica dos produtos serem componentes estruturais da indústria automobilística. A causa mais comum de não conformidade dimensional é a primeira peça do lote, chamada de perda de arranque por Nakajima, que normalmente é usada para configurar corretamente a máquina para este novo setup e garantir produtos dentro do especificado do segundo item em diante.

3.5 A FERRAMENTA DE COLETA DE DADOS

Uma vez definidas as métricas dos parâmetros de composição do OEE, é necessário definir os dados a serem coletados de forma a viabilizar o cálculo da disponibilidade, eficiência e qualidade. A forma de coletar os dados também deve ser versátil suficiente para se adequar a

possíveis mudanças e necessidades que possam vir a surgir no futuro, portanto, o mínimo de dados que precisam ser coletados são:

- Tempo total disponível para produção
- Tempo total produzindo
- Duração e quantidade das perdas de produção
- Tempo de processamento de uma chapa/peça
- Total de peças produzidas
- Total de peças refugadas

As informações listadas, são o mínimo de dados necessários para efetuar o cálculo correto do OEE da forma estipulada pelo projeto, no entanto, é vantajoso coletar a maior quantidade possível de informações sobre o equipamento, desde que seja de forma precisa e não comprometa a produtividade operacional do operador que estará inserindo os dados.

As informações extras coletadas irão auxiliar uma análise completa do comportamento do operador e do equipamento, ao mesmo tempo que auxilia as decisões estratégicas da gerência da empresa e avalia o comportamento do operador da máquina, se o mesmo está atuando de acordo com o esperado, além de apenas o equipamento.

Uma segunda preocupação ao desenvolver a ferramenta de coleta de dados, é a automação das operações, visando facilitar o máximo possível, pois quanto maior for a facilidade do operador de inserir informações, mais rápido será o processo e mais informações serão possíveis de serem coletadas.

Por fim, durante a criação da ferramenta de coleta de dados também foram direcionados esforços para eliminar qualquer modo de falha proveniente de erros de digitação, imprecisão ou diferença de sincronia dos diferentes relógios disponíveis para uso ou mesmo uma má intenção ao apontar resultados diferentes dos reais, visando uma produtividade diferente da real.

Para utilizar devidamente os recursos da máquina laser, foi necessário instalar um microcomputador que ligasse a máquina à rede da empresa, e aproveitando a disponibilidade do computador, foi escolhido o software Microsoft Excel, e através do mesmo, criado com uso da linguagem de programação Visual Basic for Application (VBA) a seguinte ferramenta de coleta de dados:

Figura 12 – Ferramenta de coleta de dados

Fonte: Produção do Próprio autor

A ferramenta apresentada na figura 13 foi desenvolvida visando atender todos os problemas descritos anteriormente, reduzindo ao máximo o tempo necessário e a dificuldade para o registro das atividades, o qual era feito anteriormente via papel e caneta. Sendo que atualmente são necessários simples cliques no mouse, botões e atalhos na interface da aplicação desenvolvida.

Todos os dados inseridos são incluídos em tabelas comuns do Microsoft Excel, acompanhadas da hora em que a inclusão foi feita, que por sua vez são retiradas do sistema do computador, evitando possíveis erros e alterações.

A simplicidade de uso da aplicação desenvolvida possibilitou os registros serem feitos sem acompanhamento de uma terceira parte, sendo possível coletar todas as informações enquanto a máquina estava em funcionamento, e não apenas por um período limitado no dia.

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 DADOS DE DISPONIBILIDADE

O procedimento de coleta de dados foi acompanhado pelo pesquisador no período de fevereiro a abril de 2017, período o qual foi dado o início da produção na máquina em estudo, portando estes resultados refletem os primeiros meses de operação da máquina, meses os quais não costumam reproduzir o estado de funcionamento pleno de um equipamento, uma vez que todos os departamentos e as pessoas envolvidas na utilização e manutenção do equipamento estão em processo de aprendizagem e otimização.

Os dados totais de horas programadas de produção (horas totais disponíveis) e as horas de produção efetiva estão exibidas na tabela 1:

Tabela 1 – Horas programadas e em operação nos meses de estudo.

Horas	Fevereiro	Março	Abril
Programadas	168:21:51	379:33:42	249:56:37
Produzindo	134:47:55	277:03:14	213:37:33

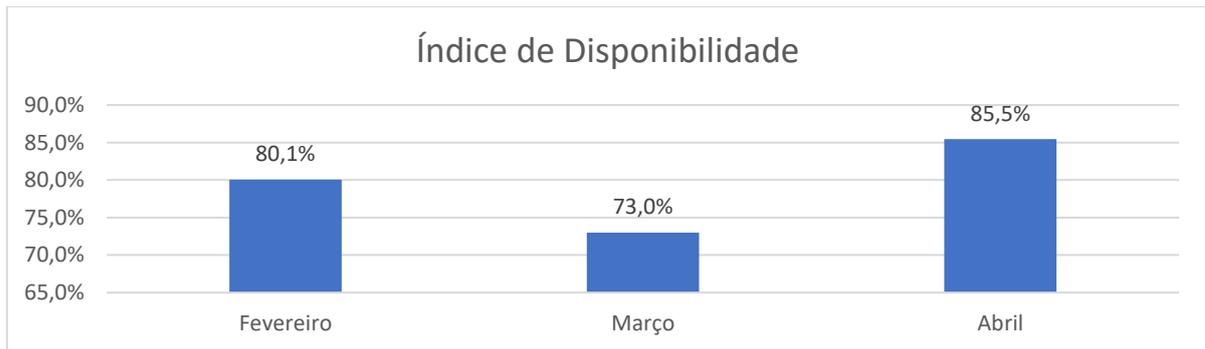
Fonte: Produção do Próprio autor

Ao analisar as horas programadas em cada mês, nota-se uma grande variação nos valores dentre os meses de março e fevereiro, com o mês de abril se situando com um valor intermediário.

Essa discrepância era esperada, principalmente por se tratar de um equipamento novo, onde eram frequentes manutenções programadas, a característica dos produtos que serão produzidos nesta máquina ainda está em processo de definição, também em processo de definição está a quantidade de mão de obra direcionada ao equipamento e o número de turnos em operação.

A figura 13 demonstra a porcentagem de tempo de produção para cada mês de estudo:

Figura 13 – Porcentagem de disponibilidade por mês

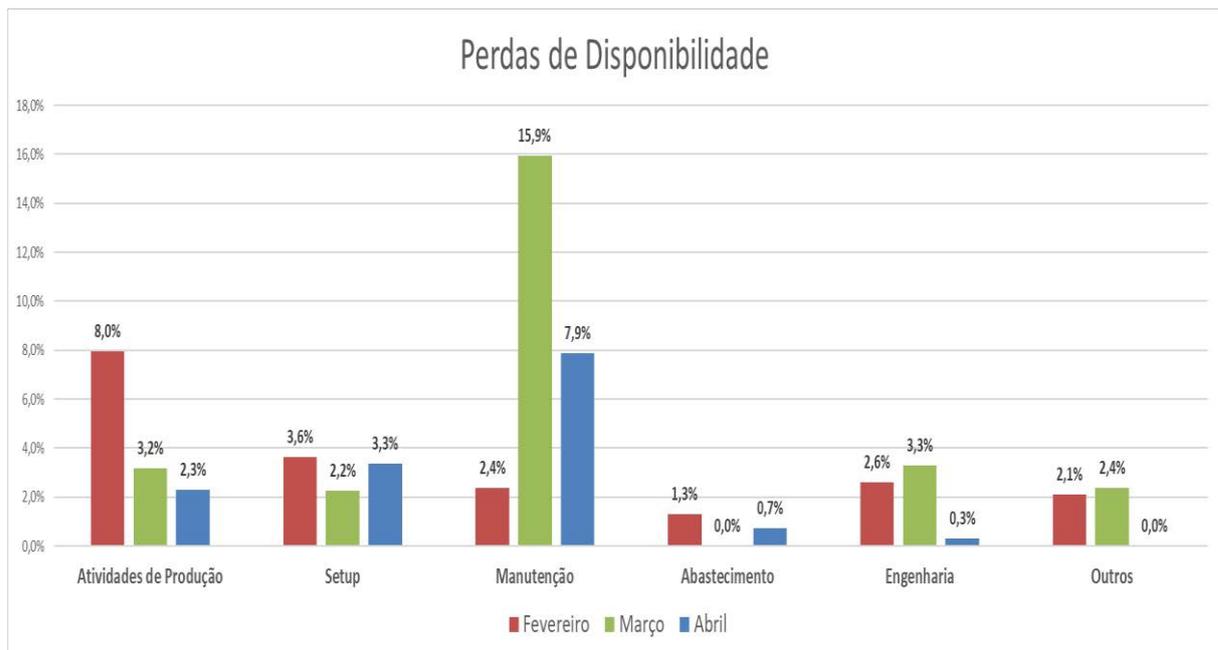


Fonte: Produção do Próprio autor

A partir da figura 13, pode-se ver a disponibilidade dos meses iniciais de operação da máquina entre 73% e 85%, com a média de 78% para o total do período, onde o mês de março apresentou o maior número de horas programadas e também o pior resultado em horas de produção, e o melhor resultado (85.5%) no mês de abril, já no terceiro mês de operação.

Os motivos de o equipamento não estar em produção em todo seu tempo programado, ou seja, as perdas de produção, estão demonstradas em porcentagens na figura 14.

Figura 14 – Perdas de disponibilidade



Fonte: Produção do Próprio autor

A partir das perdas destacadas na figura 14, é possível compreender melhor a evolução do índice de disponibilidade ao longo do tempo, em fevereiro, as maiores perdas de tempo produtivo foram realizando atividades ligadas à produção, na taxa de 8%, o que é esperado

devido ao fato de ser o início de produção de um equipamento, então atividades que normalmente são rotineiras ainda estão em processo de aprendizagem.

Já no mês de março, caracterizado por ter mais que o dobro de horas de produção do mês anterior, as perdas de manutenção ressaltaram ao índice de 15.9%, principalmente devido à falha em um dos sistemas do equipamento onde foi necessária agendar a visita do fabricante para auxiliar no reparo, onde no mês seguinte as taxas de manutenção foram menores.

O mês de abril também se destacou pelas perdas em manutenção do equipamento, desta vez no sistema elétrico de alimentação, e na rede de ar comprimido, onde as devidas ações corretivas foram tomadas e os planos de manutenção preventiva destes sistemas revisados.

4.2 DADOS DE EFICIÊNCIA

Os resultados coletados no campo da eficiência, apresentaram números melhores que a disponibilidade, o que era esperado, uma vez que o processo de produção do equipamento é inteiramente computadorizado e programado via software do fabricante, então a interferência externa é mínima, mas ainda existente.

Na tabela 2, estão comparadas as horas de produção teóricas e reais.

Tabela 2 – Horas de produção para o cálculo da eficiência.

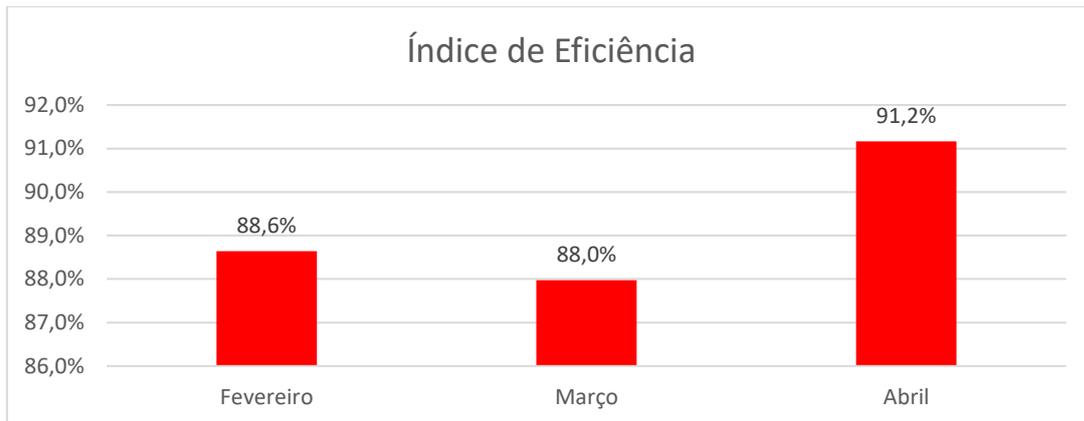
Horas	Fevereiro	Março	Abril
Teóricas de produção	119:29:02	243:44:11	194:44:48
Reais de produção	134:47:55	277:03:14	213:37:33

Fonte: Produção do Próprio autor

De acordo com a tabela, as horas reais de produção durante o período de coleta de dados estão maiores que as horas teóricas calculadas pelo software de corte utilizado pela engenharia da empresa, o que estava de acordo com as expectativas, pois as horas teóricas se baseiam em condições ideais de operação, ou seja, operadores experientes, matéria prima em condições ótimas e sem falhas ou avarias no equipamento que que reduzam sua velocidade.

Para estimar o segundo fator de cálculo do OEE, o índice de eficiência, é necessário calcular as porcentagens das horas indicadas na tabela 2, uma simples divisão das horas teóricas pelas horas reais, o resultado está demonstrado no gráfico da figura 15:

Figura 15 – Porcentagem de eficiência por mês



Fonte: Produção do Próprio autor

Os índices de eficiência calculados no mês de fevereiro e março foram muito similares, com apenas uma pequena queda de 0,6% no mês de março seguido de um grande aumento de 3,2% no mês de abril.

As perdas nesses primeiros meses se deram principalmente aos operadores estarem em períodos de adequação, em processo de entendimento de como o equipamento reage as diferentes condições em que a matéria prima pode estar no momento do corte, sendo fatores como oxidação e dureza muito relevantes. E um dos parâmetros que devem ser ajustados para a correção destas situações é a velocidade de corte, cuja redução impacta diretamente no índice de eficiência.

Um segundo fator impactante no índice da performance são as microparasadas no equipamento, normalmente alguma interrupção em algum sensor da máquina, ou o operador parando a operação durante breves segundos apenas para realizar alguma limpeza dentro da mesa a fim de evitar prováveis colisões ou batidas no sistema.

4.3 DADOS DE QUALIDADE

No campo da qualidade, os índices encontrados foram excepcionalmente altos, novamente, devido ao caráter computadorizado e extremamente padronizado do processo, o produto costumeiramente apresenta não conformidades apenas no início da produção.

Os valores totais de peças produzidas e não conformidades encontradas se encontram na tabela 3 abaixo:

Tabela 3 – Total peças produzidas e não conformes.

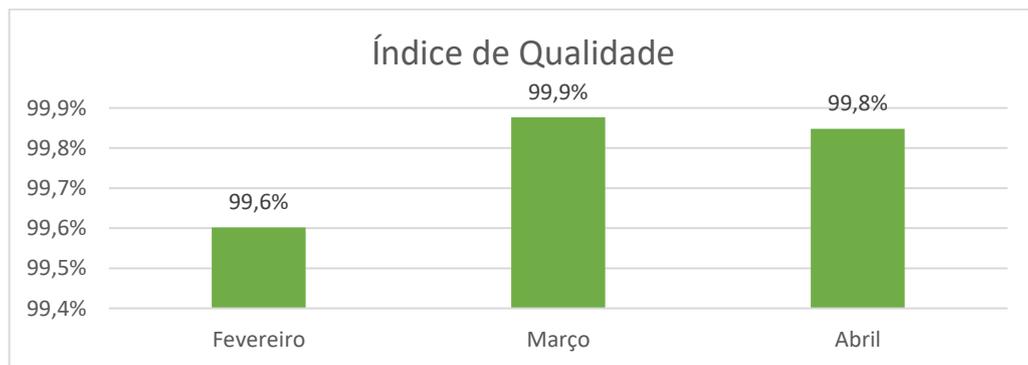
Total de peças	Fevereiro	Março	Abril
Produzidas	17836	30714	27652
Não conforme	71	38	42

Fonte: Produção do Próprio autor

Assim como nos outros parâmetros, o mês de fevereiro apresentou um maior número absoluto de não conformidades, explanados pelo início da produção no equipamento, e os vários testes que foram necessários serem realizados nos primeiros dias de produção naturalmente decorrem em um maior número de não conformidades.

Convertendo os valores absolutos em um índice percentual para cálculo do OEE, tem-se:

Figura 16 – Porcentagem de qualidade por mês



Fonte: Produção do Próprio autor

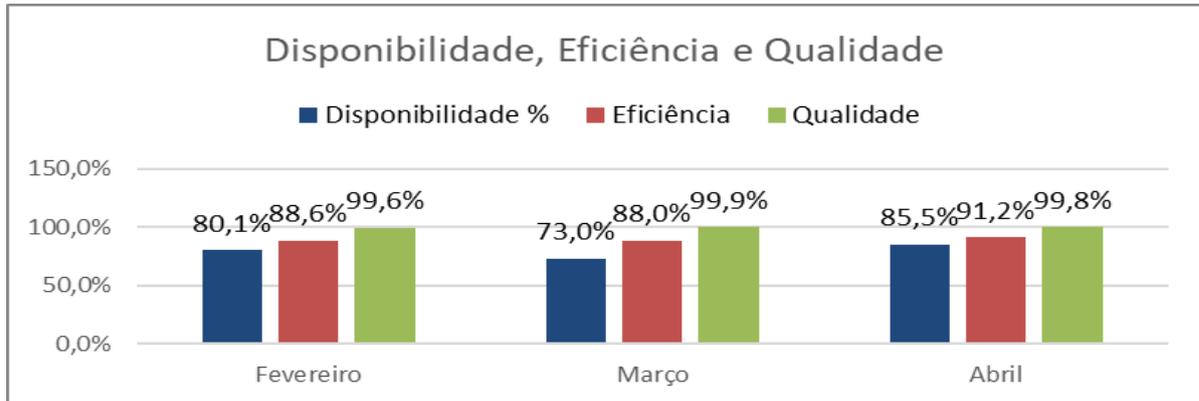
Ao demonstrar os valores em percentuais, é possível verificar que os valores estão muito próximos do 100%, demonstrando uma capacidade muito grande do equipamento em produzir sequencialmente e de forma confiável produtos bons e dentro das especificações do cliente.

Um fator que contribui imensamente para o alto índice de qualidade, é a característica do equipamento de armazenar as informações do último lote de cada *part number* produzido, portanto, cada ajuste só é necessário ser realizado uma vez, e eventuais refugos durante a produção são raros, pois após a manufatura do primeiro lote o sistema já memorizou a forma correta de produção do item.

4.4 CÁLCULO DO OEE

Para uma melhor visualização do desenvolvimento dos fatores de composição do OEE ao longo dos três meses de duração da pesquisa, a figura 17 demonstra a união das figuras 13, 15 e 17.

Figura 17 – Porcentagem de disponibilidade, eficiência e qualidade por mês



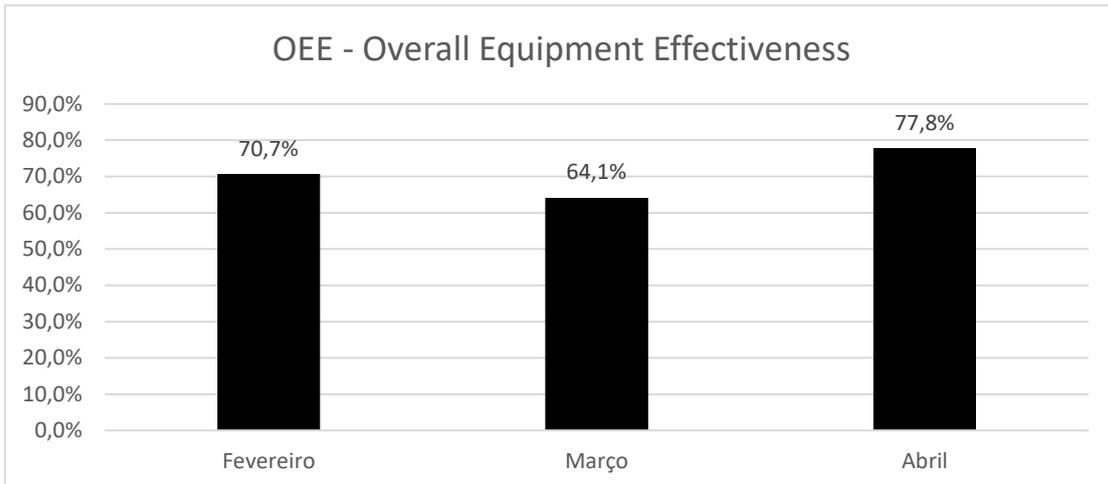
Fonte: Produção do Próprio autor

Analisando o gráfico na figura 17, nota-se o índice de disponibilidade como o menor dos três, sendo o maior fator de penalização no cálculo do OEE, enquanto a qualidade praticamente não contribuiu na redução do índice. Também se nota o mês de março como o que apresenta os resultados mais baixos de forma geral, mês onde o volume de produção aumentou vertiginosamente, e o mês de abril com os resultados mais altos, demonstrando uma curva ascendente de utilização dos equipamentos.

Ao aplicar a equação de cálculo do OEE, é possível gerar o gráfico final da figura 18 com os resultados do OEE nos três meses estudados.

$$OEE (\%) = Disponibilidade (\%) \times Eficiência (\%) \times Qualidade (\%)$$

Figura 18 – OEE nos meses de fevereiro, março e abril.



Fonte: Produção do Próprio autor

O gráfico na figura 18, mostra o valor final do cálculo do OEE para a máquina laser Trumpf 5030 nos três primeiros meses de produção, sendo o mês de fevereiro com um resultado intermediário, caracterizado por uma menor carga horária de produção e a mesma parcialmente realizada com o acompanhamento da fabricante, seguido do mês março com mais que o dobro da carga exigida do mês anterior, caracterizado por grandes falhas e quebras do equipamento, um efeito natural da maior exigência no início da ativação da máquina somados a inexperiência dos operadores acabou resultando no pior dos resultados, beirando o limite inferior de um OEE considerado como ruim ($< 65\%$)

Já o mês de abril apresentou um valor consideravelmente maior, de 77,8% crescimento em rumo ao considerado OEE padrão mundial ($> 85\%$), e já exibindo um comportamento diferente dos meses anteriores, fora de uma curva inicial de aprendizado e já nas características de uma produção sequenciada.

Os resultados finais apresentados na forma do indicador de OEE demonstram uma grande evolução ao longo dos meses de estudo, resultado esperado de um equipamento novo situado no início de uma curva de aprendizagem por parte de todos os setores envolvidos. Pode-se perceber a existência de perdas que não estão precisamente estratificadas, especialmente no campo da eficiência, devido à dificuldade de mensurar microparas e lentidões, no entanto a tendência é a minimização de tais pontos conforme a experiência dos operadores e do departamento de manutenção preventiva forem aumentando.

5 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fundamentação teórica apresentada neste trabalho demonstrou-se precisa e atual, onde várias das perdas e desperdícios demonstrados nos textos bibliográficos se apresentaram ao longo do acompanhamento da pesquisa, e a identificação rápida dos mesmos auxiliou na resolução, ou minimização, dos impactos.

Os resultados operacionais demonstrados no valor do indicador OEE durante os primeiros meses de operação imediatamente apresentaram-se especialmente nas perdas da disponibilidade, e facilitou a decisão de onde dedicar os esforços para uma melhora do índice, e conseqüentemente, o panorama geral do equipamento.

Pelo uso do indicador de OEE foi constatado os principais pontos de perdas de forma clara e precisa, além de comprovar que existem muitas oportunidades de ganhos produtivos no equipamento, muitas vezes apenas com mudanças de comportamento e conscientização. Por fim, foi possível deixar um legado na empresa através de todo o conhecimento teórico e a ferramenta de coleta de dados, dando a oportunidade de manter o acompanhamento das perdas e pontos de interesse, direcionando futuros esforços e investimentos a fim de alcançar um OEE classe mundial.

Recomendações para trabalhos futuros:

- Fazer do OEE um indicador recorrente e permanente no equipamento
- Acompanhar a ferramenta de coleta para possíveis melhorias e correções de erros
- Observar possíveis falhas ao registrar atividades
- Aprimorar o plano de manutenção preventiva

REFERÊNCIAS

- CAUCHICK, P. A. (org). **Metodologia científica na engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2009. (Coleção ABEPRO)
- CHIARADIA, A. J. P. **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria dos equipamentos: um estudo de caso na indústria automobilística**. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia – modalidade Profissionalizante – Ênfase Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações, manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- GAGNON, S.. **Resource-based competition and the new operations strategy**, 1999.
- HANSEN, R.C. **Overall equipment effectiveness: a powerful production/maintenance tool for increased profits**. Nova Iorque: Industrial Press, 2001.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 4.ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2013.
- LIKER, J. **O modelo Toyota : 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM: total productive maintenance**. Portland: Productivity Press, 1988.
- PIÃO, B.L.; SANTOS H.M.; LIMA, L.M.; COSTA, T.C. **Sustentabilidade através da TPM (Total Productive Maintenance) e seus pilares**. Bento Gonçalves: ENEGEP, 2012.
- ROLL-HANSEN, N. **Why the distinction between basic (theoretical) and applied (practical) research is important in the politics of science**. Technical Report 04/09, Centre for the Philosophy of Natural and Social Science Contingency and Dissent in Science, 2009.
- SANTOS, A. C. O.; SANTOS, M. J. Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura: um estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: ABEPRO, 2011. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENECEP2007_TR570426_0265.pdf >. Acesso em: 20 nov. 2017
- SILVA, M. T. A empresa moderna. In: CONTADOR, J. C. **Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- SHINGO, S. **Sistemas de produção com estoque zero: o sistema Shingo para melhorias contínuas**. Porto Alegre: Bookman, 1996.
- SLACK, N. et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas S.A., 1996.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. **Manutenção produtiva total**. 2.ed. São Paulo: IMAM,2000.

VIANA, H.R.G. **PCM: planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 192 p.

TRUMPF. **Laser trulaser 5030**. Disponível em:
<http://www.trumpf.com/en_INT/products/machines-systems/laser-cutting-machines/trulaser-5030-5040-5060/>. Acesso em: 24 nov. 2017.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

PAULA, D.C. **Pesquisa-ação sobre o uso de indicadores de desempenho do equipamento em uma fábrica de geradores.** 2011. 63 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

TAMURA, P. M. **Combinação da análise por envoltória de dados com a eficácia global dos equipamentos na avaliação da eficiência de máquinas industriais.** 2016. 50 f. Trabalho Final de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

WOMACK , J. ; JONES, D. ; ROOS, D . **A Máquina que mudou o Mundo.** 2. ed. Rio de Janeiro ,Ed. Campus , 1992.

JELEN, B. ; SYRSTAD, T. **VBA e Macros Microsoft Excel 2013.** Rio de Janeiro: Alta Books, 2014.

OLIVEIRA, U.R.; DALCOL, P.R.T. Diretrizes metodológicas de pesquisa acadêmica em engenharia de produção: uma abordagem prática. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. **Anais...** Salvador, 2009.