

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LUCAS CORDEIRO DOS SANTOS

**APLICAÇÃO DO INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTO NO
SETOR DE CHAPARIA DE UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA**

GUARAPUAVA

2022

LUCAS CORDEIRO DOS SANTOS

**APLICAÇÃO DO INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTO NO
SETOR DE CHAPARIA DE UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA**

**APPLICATION OF THE OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS IN THE
PLATEWORK SECTOR OF A METALLURGICAL INDUSTRY**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dra. Franciele Bonatto

GUARAPUAVA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LUCAS CORDEIRO DOS SANTOS

**APLICAÇÃO DO INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL DE EQUIPAMENTO NO
SETOR DE CHAPARIA DE UMA INDÚSTRIA METALÚRGICA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Mecânica a da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 08/novembro/2022

Franciele Bonatto
Doutorado em Engenharia de Produção
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
Doutorado em Engenharia de Produção
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Henrique Ajuz Holzmann
Doutorado em Engenharia e Ciência de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

GUARAPUAVA

2022

RESUMO

O período da pandemia de COVID-19 trouxe diversos desafios para as empresas, as quais viram suas cadeias de suprimentos estranguladas enquanto tentavam satisfazer as necessidades de clientes agora cada vez mais exigentes em relação à prazos e qualidade. Neste contexto, onde ineficiência pode ser decisiva para o sucesso ou fracasso, o presente trabalho encontra um cenário de dificuldades em uma empresa, a qual se volta para filosofia Lean como forma de garantir melhorias na eficiência de seus processos, sendo que o presente estudo toma a frente em suas iniciativas. Neste trabalho é apresentado a aplicação do indicador de eficiência global de equipamento no setor de chaparia de uma indústria metalúrgica, com o objetivo de identificar potenciais pontos de melhoria no processo produtivo. Dentro de um período de três meses, foram coletados dados relativos à produção por um sistema de desenvolvimento próprio, e se aplicou a metodologia de cálculo do indicador OEE. O resultado da análise produziu valores de OEE variando de 58% à 70% entre os meses de analisados, com análises subsequentes de disponibilidade, desempenho e qualidade. Por fim, um plano de ação foi estruturado com foco especial em pontos de desempenho, os quais estão extremamente relacionados a ausência de manutenção preventiva dos equipamentos presentes no setor.

Palavras-chave: eficiência global de equipamento; manutenção produtiva total; lean manufacturing; disponibilidade; desempenho; qualidade.

ABSTRACT

The period of the COVID-19 pandemic brought several challenges for companies, which saw their supply chains strangled as they tried to satisfy the needs of now increasingly demanding customers in terms of lead time and quality. In this context, where inefficiency can be decisive for success or failure, the present study finds a scenario of difficulties in a company, which turns to Lean philosophy as a way to guarantee improvements in the efficiency of its processes, and the present study takes forward in its initiatives. This paper presents an application of the overall equipment effectiveness indicator in the Platework Sector of a Metallurgical Industry with a goal of identifying potential improvement points for the productive process. Within a period of three months, production related data was collected by a system developed by the author, and the methodology for calculating the OEE indicator was applied. The result of the analysis produced OEE values ranging from 58% to 70% between the analyzed months, with subsequent analysis of availability, performance, and quality. Finally, an action plan was structured with a special focus on performance points, which are extremely related to the lack of preventive maintenance for the equipment in the sector.

Keywords: overall equipment effectiveness; total productive maintenance; lean manufacturing; availability; performance; quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de produção contínua.....	20
Figura 2 – Sistema de produção em massa.....	21
Figura 3 - Sistema de produção em Lotes	22
Figura 4 - Sistema de Produção Sob Encomenda	23
Figura 5 - TPS House.....	25
Figura 6 - Sistema de Produção Toyota e TPM.....	27
Figura 7 - OEE e as Seis Grandes Perdas.....	28
Figura 8 - Exemplo de distribuição do tempo na produção	29
Figura 9 - Fluxograma do Processo de Corte à Laser.....	32
Figura 10 - Esquematização do sistema de coleta de dados	35
Figura 11 - Tela Inicial do Ambiente de Produção.....	36
Figura 12 - Tela de Histórico de Registro de Produção.....	37
Figura 13 - Tela Inicial do Ambiente de Paradas.....	37
Figura 14 - Tela de Registro Manual de Paradas.....	38
Figura 15 - Tela de Histórico de Registro de Paradas.....	39
Figura 16 - Disponibilidade por Mês.....	43
Figura 17 - Perdas de Disponibilidade por Mês na Laser 1	44
Figura 18 - Perdas de Disponibilidade por Mês na Laser 2.....	44
Figura 19 - Desempenho por Mês.....	46
Figura 20 - Perdas de Desempenho por Mês na Laser 1.....	46
Figura 21 - Perdas de Desempenho Mês na Laser 2.....	47
Figura 22 - MTBF e MTTR por Mês do Transelevador.....	48
Figura 23 - Tempo e Quantidade de Paradas por Mês no Transelevador	49
Figura 24 - Tempo de Parada por Tipo de Falha no Transelevador.....	49
Figura 25 - Índice de Qualidade por Mês	50
Figura 26 - Distribuição de Defeitos por Tipo e Mês na Laser 1.....	51
Figura 27 - Distribuição de Defeitos por Tipo e Mês na Laser 2.....	52
Fotografia 1 - Armazenamento vertical com transelevador	33
Fotografia 2 - Exemplo de AGV.....	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação de Perdas.....	29
Quadro 2 - Motivos de Paradas.....	40
Quadro 3 – Plano de Ação	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento do OEE	42
--------------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV	Veículo autônomo (do inglês – <i>Automated Guided Vehicle</i>)
MTBF	Tempo médio entre falhas (do inglês – <i>Mean Time Between Failures</i>)
MTTR	Tempo médio de reparo (do inglês – <i>Mean Time to Repaire</i>)
OEE	Eficiência Global de Equipamento (do inglês – <i>Overall Equipment Effectiveness</i>)
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PCP	Planejamento e Controle da Produção
TPM	Manutenção Produtiva Total (do inglês – <i>Total Productive Maintenance</i>)
TPS	Sistema Toyota de Produção (do inglês – <i>Toyota Production System</i>)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Objetivos	15
1.2.1	Objetivos Gerais	15
1.2.2	Objetivos Específicos	15
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	17
2.1	Evolução dos Processos Produtivos	17
2.2	Sistemas Produtivos	19
2.2.1	Sistema de Produção Contínua.....	19
2.2.2	Sistema de Produção em Massa.....	20
2.2.3	Sistema de Produção em lotes.....	21
2.2.4	Sistema de Produção sob Encomenda	22
2.3	Sistema Toyota de Produção	23
2.4	TPM.....	25
2.5	Eficiência Global de Equipamento.....	27
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS	31
3.1	Empresa Estudada	31
3.2	Processo produtivo.....	31
3.3	Sistema de Coleta de Dados.....	35
3.3.1	Produção	35
3.3.2	Paradas	37
3.4	Método de Cálculo.....	39
4	DESENVOLVIMENTO	42
4.1	OEE.....	42
4.2	Disponibilidade.....	43
4.3	Desempenho	46
4.4	Qualidade	50
4.5	Plano de Ação.....	53
5	CONCLUSÃO	55
	REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

Desde o advento da industrialização, iniciada na primeira revolução industrial no século XVIII, o maquinário tem sido elemento central dos processos produtivos, sendo responsável por um aumento exponencial de produção em comparação as técnicas artesanais. Com o desenvolvimento do sistema de produção em massa, processos antes realizados por artesãos com ferramentas de aplicação genérica, foram substituídos por máquinas com aplicação especializada, que podem ser utilizadas por operadores com menor capacitação. A maquinaria moderna foi substituindo o que era considerado o centro da produção na manufatura (o homem) e, com isso, foi promovendo uma verdadeira transformação na sociedade, pois provocou a independência em relação ao trabalho vivo (SOUZA et al. 2012).

Os sistemas atuais de produção são compostos de equipamentos que se combinam para transformar a matéria-prima em produtos que são partes para o próximo processo de manufatura ou um produto acabado. Sendo que, um montante significativo de capital é investido para desenhar, construir e implementar sistemas, de forma que o produto manufaturado seja uniforme e possua uma elevada taxa de produção. Uma fábrica deve entregar de forma eficiente produtos que possuam um custo menor do que seria necessário caso produzido individualmente. Por isso, fábricas buscam ser produtoras eficientes e de baixo custo. Essa busca é necessária no ambiente desafiador atual onde clientes exigem produtos de qualidade com o menor preço possível (HANSEN, 2006).

Em decorrência do cenário competitivo atual, muitas companhias se voltam para metodologias e ferramentas derivadas da filosofia *Lean*, as quais se concentram na eliminação sistematizada dos desperdícios no processo produtivo, com o objetivo de atingir menor custo, um lead time mais curto, e um maior nível de qualidade.

Dentro das diversas ferramentas atreladas ao *Lean Manufacturing*, grande parte delas tiveram origem no ocidente, porém sendo posteriormente adaptadas ao cenário social-econômico do Japão pós-guerra, onde a ausência de recursos resultou em uma metodologia que busca pela maior eficiência. O mesmo é verdade para a área da manutenção industrial, onde o TPM (*Total Productive Maintenance*) surgiu como um estilo aperfeiçoado da manutenção produtiva americana com o

objetivo de atender as necessidades do ambiente industrial japonês. (NAKAJIMA, 1989)

Segundo Nakajima (1989), o TPM tem como uma de suas principais características a busca pela maximização da eficiência global do equipamento (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*) trabalhando na eliminação sistemática das perdas relacionadas a paradas de máquina, perda de velocidade e defeitos. Logo, a eficiência global de um equipamento tem por definição três componentes: disponibilidade do equipamento, desempenho produtivo e qualidade do produto.

O cenário mundial durante a pandemia, somada a escassez de componentes eletrônicos, trouxe novos desafios para companhias em manter suas cadeias suprimentos estáveis. Além disto, a empresa foco desse trabalho se deparou ao mesmo tempo com um aumento histórico de vendas de seus produtos, os quais possuem grande variedade e atendem uma diversa gama de clientes. Nesta situação desafiadora, a companhia identificou a necessidade de maior eficiência fabril, se voltando assim para a filosofia *Lean*.

Logo, este trabalho tem como objeto de estudo a aplicação do indicador OEE no setor de chaparia desta empresa metalúrgica, utilizando a identificação de desperdícios/perdas como forma de reconhecer oportunidades de melhoria que possam resultar no aumento da eficiência produtiva.

1.1 Justificativa

Como destacado por Hansen (2006), quase toda indústria possui múltiplos fabricantes, cada um competindo por uma fatia do mercado. Até mesmo companhias com os melhores produtos podem sair do mercado caso as despesas para trazer seus produtos até o consumidor sejam excessivas. Sendo assim, companhias com fábricas mais eficientes terão em mãos o poder de serem sobreviventes ao longo prazo, assumindo que a necessidade do produto seja contínua.

A empresa foco deste trabalho está presente no norte do Paraná a mais de duas décadas, mas possui uma história centenária de existência e teve em seu negócio uma demanda contínua por seus produtos. A capacidade produtiva, historicamente elevada em relação a sua demanda, somada a uma estabilidade

duradoura e uma cultura pouco direcionada para uso de dados produtivos, levou à um cenário de baixa eficiência produtiva.

No cenário da pandemia, ao mesmo tempo que a empresa contava com uma restrição em suprimentos de matéria-prima, também houve um aumento histórico nas vendas de seus produtos, evidenciando assim os gargalos no processo produtivo e a debilidade no planejamento e controle de produção.

O setor de chaparia escolhido para o estudo é de extrema importância para a companhia, uma vez que, este é responsável por abastecer múltiplas linhas de produção com seus produtos. Logo, visando identificar oportunidades de melhoria, esse trabalho busca evidenciar os agressores que atualmente afetam a eficiência produtiva do setor de estudo.

O indicador OEE escolhido para medir a eficiência produtiva, multiplica fatores que representam disponibilidade, desempenho e qualidade. O resultado pode ser expresso como o percentual de eficiência que se correlaciona diretamente com a produção real do chão de fábrica. Então, quando o OEE é usado pela gerência como uma métrica chave para os pontos vitais do processo, uma fábrica eficiente pode se desenvolver rapidamente (HANSEN, 2006).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Aplicar o indicador de eficiência global de equipamento OEE (*Overall Equipmetn Effetiveness*) no setor de chaparia de uma indústria metalúrgica.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento de dados históricos de paradas, produção e índice de qualidade referentes a máquina de corte à laser;
- Calcular os indicadores OEE para as máquinas selecionadas;
- Avaliar o desempenho obtido pelos equipamentos no período selecionado;

- Identificar oportunidades de melhoria no processo e definir ações a serem implementadas no futuro;

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, serão apresentados os conceitos pertinentes a este trabalho os quais serão condensados em cinco tópicos principais: Evolução dos Processos Produtivos, Sistemas de Produtivos, Sistema Toyota de Produção, TPM e Eficiência Global de Equipamento.

2.1 Evolução dos Processos Produtivos

No período anterior a Revolução Industrial, os processos produtivos se baseavam na produção artesanal de produtos, que apresentavam um baixo output e elevada variação. Segundo Womack et al. (1990), processos artesanais se baseavam em uma mão de obra altamente qualificada, que em muitos casos dirigindo suas próprias oficinas, eram treinados através de um relacionamento mestre-aprendiz para utilizar ferramentas de finalidade geral para realizar diversas atividades. Cada mestre artesão produzia pedidos que atendiam a necessidade específica de seu cliente, sendo que não existia um padrão de medidas utilizado entre diferentes artesãos.

Com a invenção da máquina a vapor por James Watt (1736-1819), e sua posterior aplicação na indústria, surgiu uma nova concepção de trabalho que modificou completamente a estrutura social e comercial da época (CHIAVENATO, 2011). À essa transformação deu o nome de Revolução industrial, a qual é dividida em duas grandes fases:

- 1780 a 1860: Primeira Revolução Industrial ou revolução do carvão e do ferro.
- 1860 a 1914: Segunda Revolução Industrial ou revolução do aço e da eletricidade.

A calma produção do artesanato foi substituída pelo regime de produção por meio de máquinas, dentro de grandes fábricas. Junto com essa transformação, houve uma transferência da habilidade do artesão para a máquina, para produzir com maior velocidade, quantidade e qualidade, resultando em uma redução de custos (CHIAVENATO, 2011).

Com a expansão das indústrias e dos centros urbanos, houve também o surgimento de novas técnicas de administração voltadas para gestão das grandes indústrias. Um desses pioneiros, Frederick Winslow Taylor, deu início a chamada Administração Científica, que se preocupa em aumentar a eficiência da indústria por meio da racionalização do trabalho do operário. Taylor procurou aplicar a Administração Científica nos padrões de produção: padronização de máquinas e ferramentas, métodos e rotinas para a execução de tarefas e prêmios de produção para incentivar a produtividade.

Embora Taylor se preocupasse mais com a filosofia, a tendência de seus seguidores foi de uma preocupação maior com as técnicas do que com a filosofia da Administração Científica (CHIAVENETO, 2011). Um dos seguidores de Taylor, Henry Ford é o principal responsável na introdução dos conceitos da Administração Científica no desenvolvimento de seu sistema de produção em massa.

Após a Segunda Guerra Mundial, na *Toyota Motor Company* do Japão, Eiji Toyoda e Taiichi Ohno foram pioneiros com o novo conceito de *Lean Manufacturing*, um novo sistema que combina vantagens da produção artesanal e em massa, enquanto evita os altos custos do primeiro e a rigidez produtiva do segundo. Em sua versão final, o *Lean Manufacturing* emprega times de trabalhadores polivalentes em todos os níveis da organização, e faz uso de máquinas cada vez mais automatizadas e flexíveis para fabricar volumes de produtos com enorme variedade (Womack et al. 1991).

Segundo Womack et al. (1990), a ascensão do Japão para sua atual proeminência econômica se deu em muito com o surgimento do Lean, e enquanto outras companhias e indústrias Japonesas logo copiaram o novo sistema, fabricantes de todo o mundo agora tentam abraçar essa filosofia.

Segundo Ohno (1988), esta transformação ocorre devido a uma transição da sociedade, de uma época em que a indústria podia vender tudo que produzisse, para uma sociedade afluenta onde as necessidades materiais são satisfeitas rotineiramente, não sendo possível vender um produto sem colocá-lo no coração dos consumidores, sendo que cada um destes possui conceitos e gostos diferentes. Logo, o mundo industrial foi forçado a dominar o sistema de produção multi-tipo, e quando tentamos produzir o mesmo produto em quantidades grandes e homogêneas, no fim desperdícios ocorrem, e os custos se elevam.

2.2 Sistemas Produtivos

Sistemas são definidos como conjuntos de partes interdependentes que existem para atingir um determinado objetivo. Dentro de um sistema, as partes funcionam como órgãos, um departamento ou um subsistema (CHIAVENATO,2008).

Segundo Tubino (2009), empresas podem ser entendidas como um sistema que transforma via um processamento, entradas (insumos) em saídas (produtos) uteis aos clientes. Sendo que, a este sistema se dá o nome de sistema produtivo.

O sistema produtivo ou sistema de produção é forma como a empresa organiza seus órgãos e departamentos para atingir seus objetivos, estabelecendo relações lógicas entre cada etapa do processo, desde a entrada de matéria-prima no almoxarifado, até a saída para o depósito de produtos acabados.

Nas seções a seguir, serão apresentados os quatro tipos de sistemas de produção: contínua, em massa, em lotes e sob encomenda (TUBINO, 2009).

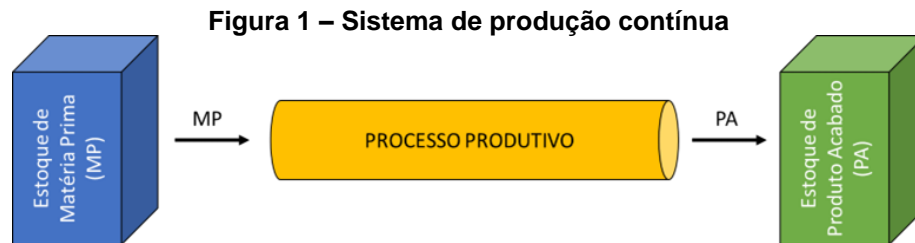
2.2.1 Sistema de Produção Contínua

Os sistemas de produção contínua são aplicados em cenários nos quais existem uma alta uniformidade, produzindo um determinado produto por um longo período sem modificações, sendo assim a produção é acelerada e as operações são executadas sem interrupção. Este sistema recebe nome de contínuo pois não é possível facilmente identificar e separar uma unidade de produto das demais que estão sendo feitas. Dentro desta classificação estão a produção de bens de base como, que são itens utilizados em várias cadeias produtivas, como energia elétrica, petróleo e derivados, produtos químicos (TUBINO, 2009).

Segundo Chiavenato (2008), a produção contínua é possível quando o número de máquinas necessárias para produzir o artigo final na taxa de tempo exigida excede o número de operações detalhadas para a produção de cada produto. Então, o plano de produção coloca cada etapa do processo em sequência linear, fazendo com que o produto passe de uma máquina para seguinte continuamente.

Dentro destes sistemas, a alta sincronização entre etapas e automação de processos resulta em um *lead time* de produção baixo, somando isso ao fato de os

produtos possuem baixa variedade e alta demanda, as empresas tendem a manter grandes estoques para atender aos clientes, visto que a venda é quase garantida. Nestes casos, os maiores custos estão atrelados aos investimentos em equipamentos, sendo que a mão de obra é necessária apenas para condução da produção e manutenção do maquinário (TUBINO, 2009).



Fonte: Adaptado de Tubino (2009)

2.2.2 Sistema de Produção em Massa

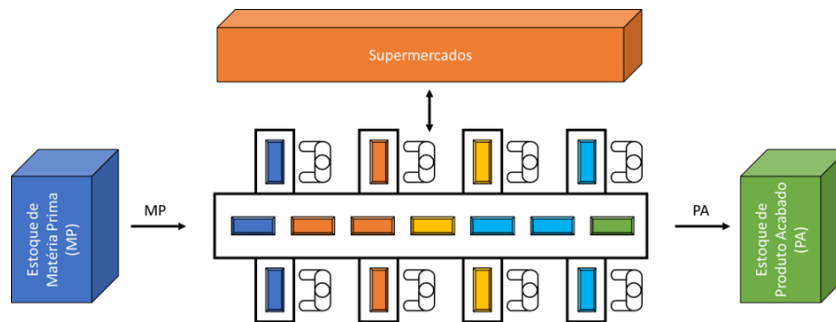
O sistema de produção em massa, em sua aplicação, é similar ao de produção contínua, sendo visto em produções de larga escala. Entretanto, no seu caso os produtos podem ser diferenciados entre si, tornando o sistema menos passível de automações e exigindo a interferência maior da mão de obra durante a operação.

Neste grupo as empresas são as que estão na ponta da cadeia produtiva, como é o caso de montadoras de automóveis, eletrodomésticos, confecções têxteis de larga escala, abate e beneficiamento de gado, aves, suínos etc.

Como apresentado por Tubino (2009), na produção em massa geralmente a variação do produto ocorre na montagem final, sendo que seus componentes são padronizados, permitindo assim uma produção em larga escala. O processo produtivo consiste em uma linha de montagem, ou várias linhas de montagem com supermercados entre elas, sendo que cada etapa é responsável por executar uma sequência de atividades padrão, em um determinado tempo de ciclo. O tempo de ciclo é a variável principal para controlar a linha, pois ele dita o ritmo de saída de produto acabado.

Em uma situação normal, a demanda pelos produtos é alta, então a mudança entre os projetos ao longo do tempo é baixa, justificando assim uma linha de montagem altamente especializada e pouco flexível, sendo que os custos podem ser amortizados à longo prazo.

Figura 2 – Sistema de produção em massa



Fonte: Adaptado de Tubino (2009)

2.2.3 Sistema de Produção em lotes

O terceiro sistema é o de produção em lotes, o qual se caracteriza por uma linha mais flexível, que produz uma variedade maior de produtos padronizados e de médio volume. Este tipo de sistema consegue atender melhor às flutuações na demanda do mercado, empregando equipamentos pouco especializados e empregando uma mão-de-obra mais polivalente, que trabalha em diferentes locais chamados de departamentos ou células. (TUBINO, 2009)

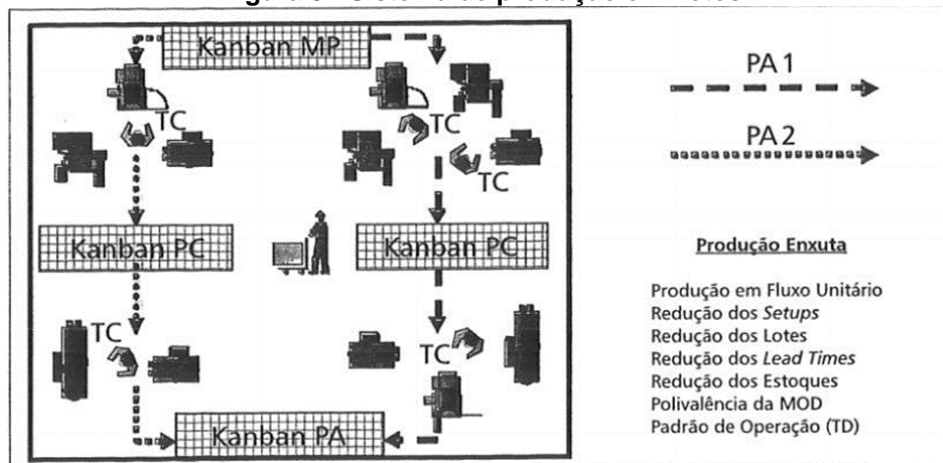
Este tipo de sistema produtivo está no meio termo entre o sistema em massa e sob encomenda, onde a baixa demanda não justifica a operação em larga escala da produção. Sendo assim, este sistema sofre com esperas entre operações, e o *lead time* final é mais alto que o de produções em massa.

Segundo Tubino (2009), como nesse sistema os produtos possuem maior variedade e a menor sincronização entre as etapas, é necessário a criação de estoques entre as etapas para prevenir pausas na produção, que podem estar em um almoxarifado ou espalhados pela fábrica. A lógica estabelecida na programação de produção irá focar em reduzir os estoques e *lead times* produtivos, sendo que o tipo de programação pode ser dividido entre produção empurrada e puxada.

Na programação empurrada as ordens de produção são disparadas para os centros de produção, sendo que quando finalizada está ordem será empurrada para o setor seguinte que deve então executar suas atividades. Enquanto isso, em uma programação puxada, o histórico de necessidades de produto é utilizado para dimensionar supermercados que estão à disposição dos centros de produção, sendo que quando um centro dispara um sinal de necessidade de material para o setor anterior, este está liberado a produzir. Esta programação recebe nome de puxada

pois o centro de produção seguinte indica e puxa a produção, autorizando que a etapa anterior possa produzir (TUBINO, 2009).

Figura 3 - Sistema de produção em Lotes



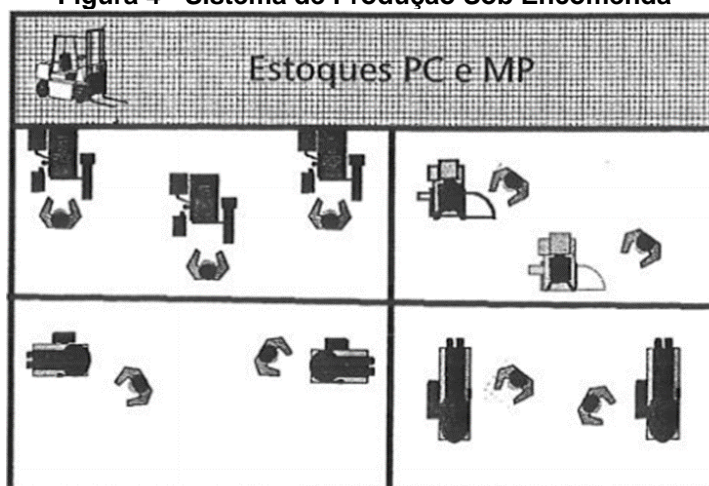
Fonte: Tubino (2009)

2.2.4 Sistema de Produção sob Encomenda

O sistema de produção sob encomenda ou sob projeto, é aquele que está direcionado a atender necessidades específicas de um cliente, resultando assim em uma baixa demanda. As empresas neste caso são contratadas por um cliente e se dedicam para atender o seu projeto, sendo que uma vez que a produção finalize o pedido, ela se voltará para o seguinte. Em situações sob encomenda não é possível ações como em sistema em massas, tais como de criação de estoques intermediários e supermercados para antecipar a demanda de materiais, devido ao fato que o design do produto é feito diretamente ou com uma relação muito próxima com o cliente. Além disso, pode haver momentos de ociosidade da linha de produção enquanto a demanda por produtos não ocorrer, gerando assim maiores custos (TUBINO, 2009).

Na produção sob encomenda é necessário alta flexibilidade afim de atender as necessidades específicas do cliente, sendo assim, os recursos produtivos são distribuídos por centros de trabalho focados na função executada

Figura 4 - Sistema de Produção Sob Encomenda



Fonte: Tubino (2009)

2.3 Sistema Toyota de Produção

Durante um período de 15 anos após a segunda guerra, a economia japonesa enfrentou um período de grande crescimento com uma rapidez incomum. Por este motivo, a produção em massa típica da cultura americana ainda fazia sucesso e produzia resultados. Porém, após a crise do petróleo no outono de 1973, com seguidas recessões e crises que afetaram governos pelo mundo inteiro, a economia japonesa se encontrava numa situação de crescimento zero e muitas empresas estavam com problemas. Entretanto, diferente de seus concorrentes, a *Toyota Motors Company* obteve ganhos maiores que outras empresas, mesmo em um período de lucros reduzidos (OHNO, 1988).

Segundo Ohno (1988), o sistema Toyota de Produção, concebido e implementado logo após a Segunda Guerra Mundial, é um sistema que evoluiu da necessidade. As restrições no mercado exigiram a produção de pequenas quantidades com elevada variedade e sob condições de baixa demanda.

Durante seu desenvolvimento, Ohno e Shingo, então engenheiros da Toyota, desenvolveram uma abrangente análise sistemática das perdas nos sistemas produtivos tradicionais norte-americanos. E como apresentado por Shingo (1996), a teoria que sustenta o Sistema Toyota é a priorização das melhorias na função do processo via a eliminação contínua e sistemática das perdas no sistema produtivo.

Segundo Ohno (1988), os dois pilares necessários para sustentação do sistema são:

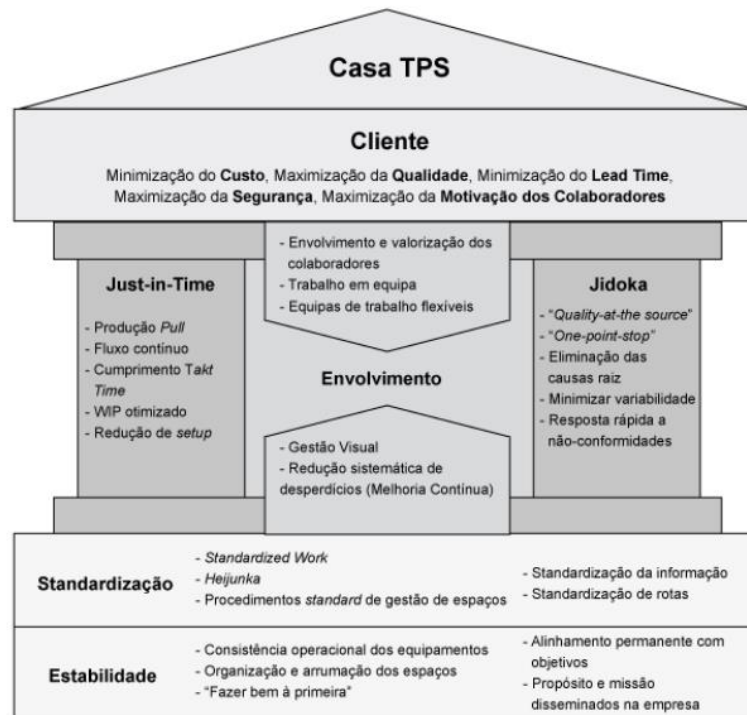
- *Just in Time*
- Automação (*Jidoka*), ou automação com toque humano

Just in Time significa que as partes corretas alcançam a linha de montagem no momento que são necessárias, e na quantidade que são necessárias. Este sistema é um método de produção puxado, com objetivo de diminuir estoques, evitando desperdícios de superprodução. Como sistema de produção puxado, no *Just in Time* o final da linha é visto como ponto inicial e recebe a necessidade de produção, este então sinaliza a necessidade exata de materiais para etapa anterior através do sistema *Kanban* desenvolvido por Taiichi Ohno.

A automação citada por Ohno (1988), não é uma automação comum, mas são máquinas automatizadas com toque humano, que possuem dispositivos que podem distinguir entre um estado normal e anormal de operação. Sendo assim, a máquina não precisa de um operador enquanto estiver trabalhando normalmente, recebendo atenção apenas quando uma situação anormal ocorrer. Isto torna possível que um operador atenda várias máquinas, reduzindo o número de operadores e aumentando a produção. Essencialmente, a automação trabalha a harmonização entre as máquinas automatizadas e o trabalho humano, dando inteligência as máquinas e adaptando o movimento simples humano as máquinas autônomas.

Uma das principais formas de ilustrar o método Toyota de produção é através da Casa TPS (*Toyota Production System House*). Segundo Liker (2004), a casa possui diferentes versões, mas sempre começa no topo com objetivos de melhor qualidade, baixo custo e um lead time menor. Seguido então, dos pilares *Just In Time* e *Jidoka* já descritos anteriormente. Por fim, a fundação inclui a necessidade de processos estáveis, padronizados e confiáveis, junto de *heijuka*, que significa uma produção nivelada em volume e variedade de produtos. *Heijuka* é necessário para manter o sistema estável e manter estoque mínimo na produção.

Figura 5 - TPS House



Fonte: Adaptado de Liker (2004)

No ocidente, o Sistema Toyota ficou conhecido pelo nome de *Lean Manufacturing*, primeiramente citado no trabalho *Triumph of the Lean Production System*, e depois popularizado pelo livro, *A máquina que mudou o mundo* (Womack et al. 1991).

2.4 TPM

O TPM foi criado no início da década de 70 por Seiichi Nakajima, após seus estudos dos Sistemas de Manutenção Produtiva nos Estados Unidos e Europa. O sistema criado combina ideias de *Total Quality Control* e *Total Employee Involvement*, sendo uma forma de manutenção realizada por todos os colaboradores através de pequenas atividades (NAKAJIMA, 1989).

Segundo Nakajima (1989), uma completa definição do TPM inclui cinco elementos:

- TPM busca a maximização da efetividade do equipamento

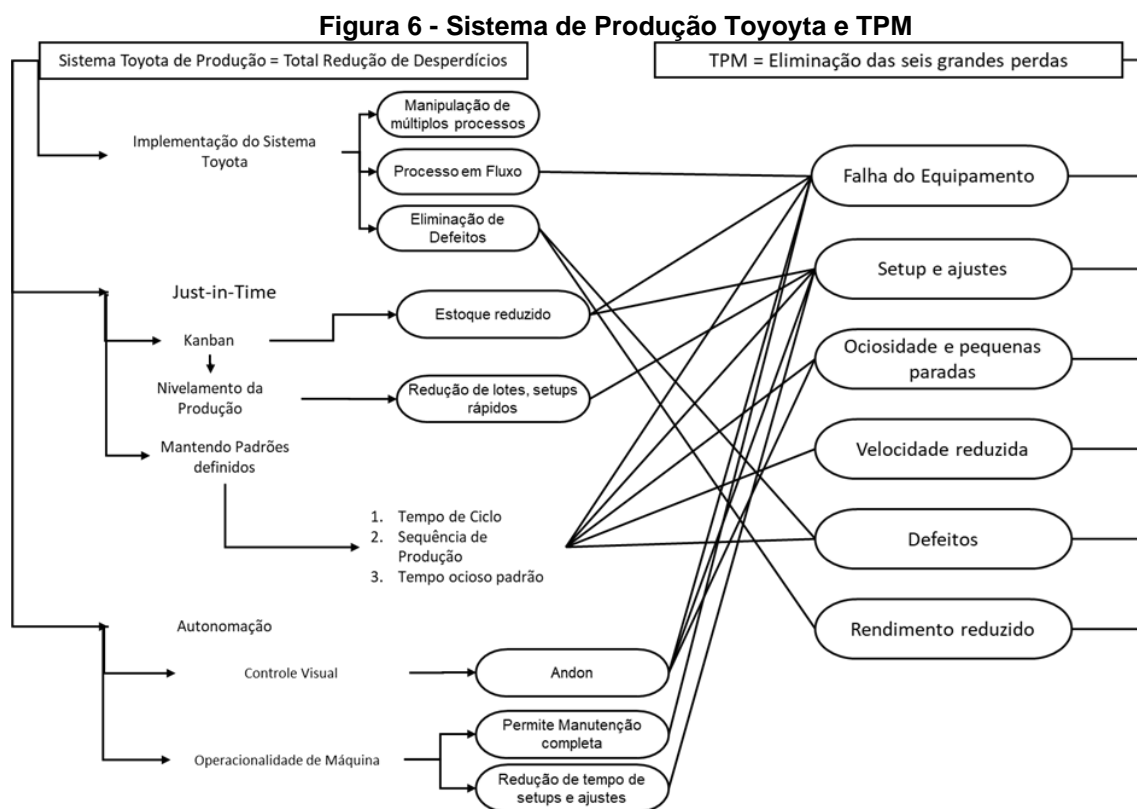
- TPM estabelece um sistema de manutenção pensado para toda a vida do equipamento
- TPM é implementado em diversos departamentos (engenharia, operação, manutenção)
- TPM envolve todos os colaboradores, da mais alta gestão até os trabalhadores do chão de fábrica
- TPM é baseado na promoção de manutenção preventiva através da gestão de motivação: pequenos grupos de atividades.

A obtenção da efetividade global do equipamento, segundo Nakakima (1989), é obtida pela eliminação das 6 grandes perdas:

- Falha do equipamento
- Setup e ajustes
- Ociosidade e pequenas paradas
- Perda de velocidade
- Defeitos de processo
- Rendimento reduzido

Como o TPM prega pela eliminação de perdas, ou seja, desperdícios, ele possui uma relação próxima com o *Lean Manufacturing* ou TPS, sendo adotado e implementado em maioria das instituições que seguem a filosofia do Sistema Toyota de Produção. Como descrito por Nakakima (1989), no esforço de atingir zero quebras, o TPM promove zero defeitos na produção, produção *just-in-time*, e autonomia. E é seguro dizer que sem TPM, o Sistema Toyota de Produção não poderia funcionar (NAKAJIMA, 1898).

A figura 6 representa o relacionamento entre os princípios do Sistema Toyota de Produção, e as seis grandes perdas do TPM.



Fonte: Adaptado de Nakajima (1989)

2.5 Eficiência Global de Equipamento

Eficiência Global de Equipamento (OEE) é um indicador de eficiência amplamente utilizado em indústrias de manufatura ao redor do mundo. O indicador foi inicialmente introduzido quando Seiichi Nakajima apresentou o conceito de *Total Productive Maintenance*, onde o objetivo principal é melhorar e garantir a eficiência do equipamento (HEDMAN; SUBRAMANIYAN; ALMSTRÖM, 2016).

Segundo Hansen (2006), o cálculo do OEE é feito pela seguinte fórmula:

$$OEE = Disponibilidade * Desempenho * Taxa de Qualidade \quad (1)$$

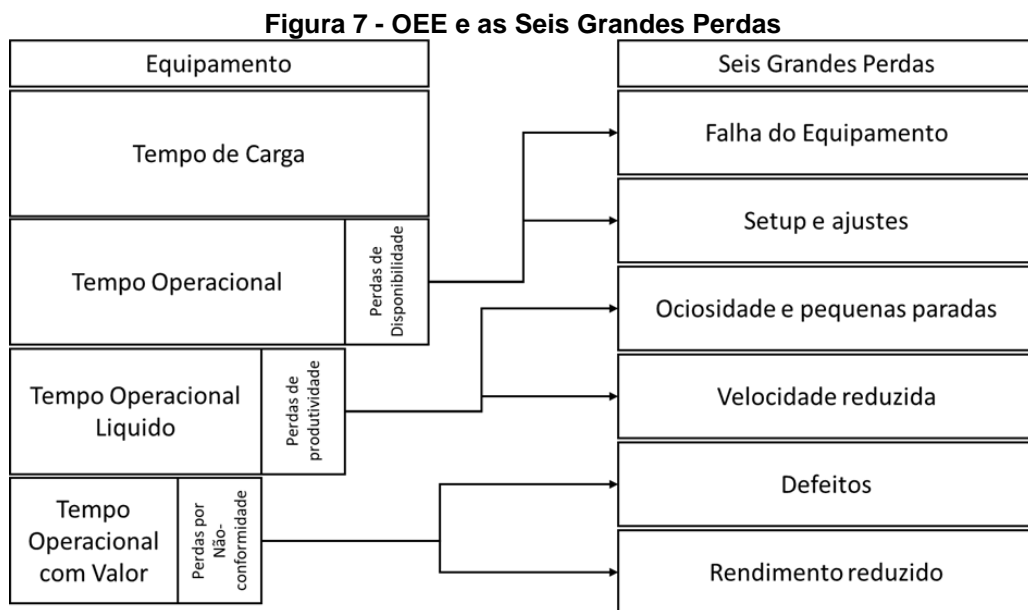
Os fatores representados em (1) são descritos a seguir:

- Disponibilidade: refere-se ao percentual em que a máquina estava disponível para operação, em relação ao tempo total programado para produção, desconsiderando paradas planejadas (reuniões, treinamentos, feriados etc.). Esse indicador é afetado por paradas de manutenção, setups e ajustes.
- Desempenho: refere-se ao desempenho produtivo em relação ao tempo disponível para produção. Esse fator é afetado por perdas de velocidade

devido a ineficiências no processo produtivo, ou pequenas paradas que venham a decorrer durante o dia.

- Taxa de Qualidade: refere-se ao índice de peças conformes dentro da quantidade produzida dentro do período avaliado. Esse fator é afetado por todas as não-conformidades, seja refugo ou retrabalho, que venham a decorrer devido a falhas no processo, erro por parte do operador, ou maquinário fora das condições de uso ideais.

Segundo Nakajima (1989), as condições operacionais de um equipamento não são refletidas de forma precisa quando apenas baseadas na disponibilidade, pois das seis grandes perdas apenas o tempo de equipamento parado é utilizado para o cálculo. Para representar a condição real de operação do equipamento, todas as seis perdas precisam estar inclusas no cálculo. A figura 7 representa o relacionamento entre as seis grandes perdas e os fatores que afetam o cálculo do OEE.



Fonte: Adaptado de Nakajima (1989)

Na figura 7, o Tempo de Carga representa o tempo de expediente total, menos as paradas planejadas, sendo assim é o tempo real programado para produção.

As perdas acontecem em diferentes partes do expediente, e um tempo significativo, no qual a máquina deveria estar operada, ela está parada ou não funcionando adequadamente. A figura 8 representa um exemplo de distribuição do tempo em um expediente, junto com alguns exemplos de eventos causadores.

Figura 8 - Exemplo de distribuição do tempo na produção



Fonte: Silva (2013)

O quadro 1 apresenta em detalhe possíveis causas de paradas e como elas se classificam nos seis grandes desperdícios apresentados pela metodologia do TPM.

Quadro 1 - Classificação de Perdas

Tipo	Causas	Consequências	Observações
1 - FALHAS OU PARADA	<ul style="list-style-type: none"> • Falha mecânica, elétrica ou de outros sistemas. • Falha geral de equipamento • Quebra de ferramentas • Paradas não planejadas • Falhas de energia/utilidades 	Reduzem o tempo disponível para o equipamento produzir ou operar	Consideram-se paradas superiores a 5-10 minutos, registadas pelo operador ou automaticamente
2 - SETUP E AJUSTES	<ul style="list-style-type: none"> • Mudança de produto • Regulagens e ajustes • Substituição de ferramentas de desgaste • Paradas para limpeza • Falta de materiais • Falta de operador 		Dependendo da máquina, pode demandar bastante tempo, até se atingir a regulagem ideal.
3 - PEQUENAS PARADAS	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza e pequenos ajustes • Obstrução no fluxo de produto • Falha na alimentação de materiais • Substituição de ferramentas de desgaste pelo operador • Verificação/regulação de parâmetros 	Afetam a eficiência do equipamento, não permitindo que ele funcione no tempo de ciclo nominal	Paradas inferiores a 5-10 minutos e que não requerem intervenção de manutenção, normalmente não registadas pelo operador
4 -REDUÇÃO DE VELOCIDADE	<ul style="list-style-type: none"> •Funcionamento abaixo da velocidade especificada • Funcionamento irregular • Incapacidade do operador em garantir o funcionamento regular 		Todas as ocorrências que impossibilitem produzir à velocidade máxima especificada para o produto

5 -DEFEITOS E RETRABALHO	<ul style="list-style-type: none"> • Produto fora de especificação • Retrabalho do produto • Montagem incorreta • Componente incorreto • Falta de componentes 	Reduzem a quantidade de produto que cumpre as especificações	Produto rejeitado durante o funcionamento normal do equipamento
6 - RENDIMENTO REDUZIDO	<ul style="list-style-type: none"> • Refugos de produtos iniciais • Produto fora de especificação • Retrabalho do produto 		Produto rejeitado durante a fase de arranque ou parada do equipamento, devido a causas normais (pré-aquecimento) ou a erros de regulagem

Fonte: Megiolaro (2015)

Desta forma, as perdas do que afetam os fatores do OEE são compostas por:

- Perdas de Disponibilidade – Tipos 1 e 2;
- Perdas de Produtividade – Tipos 3 e 4;
- Perdas de Qualidade – Tipos 5 e 6.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Na sequência será apresentado o contexto da empresa onde o estudo foi realizado, assim como, o processo produtivo sobre o qual os dados foram coletados.

Será apresentado o sistema de coleta de dados criado para o estudo e, ao final da seção, os métodos de cálculos utilizados para medição do OEE.

3.1 Empresa Estudada

A empresa com o processo analisado neste estudo de caso escolhe ficar anônima, e concordou com a coleta de dados sob a condição que eles fossem transformados por fatores que evitassem refletir valores exatos de produção e qualidade.

Presente no norte do estado do Paraná, a unidade produtiva é um dos centros industriais da companhia multinacional que produz bens de consumo de alto valor agregado. De forma geral, sua produção se encaixa em um sistema de produção em lotes, onde subconjuntos são produzidos em diversas linhas e posteriormente agregados em montagem. Apesar disso, a fábrica produz apenas produtos já vendidos, e alguns componentes podem ter grande variabilidade, próxima ao ponto que um projeto por completo seja único.

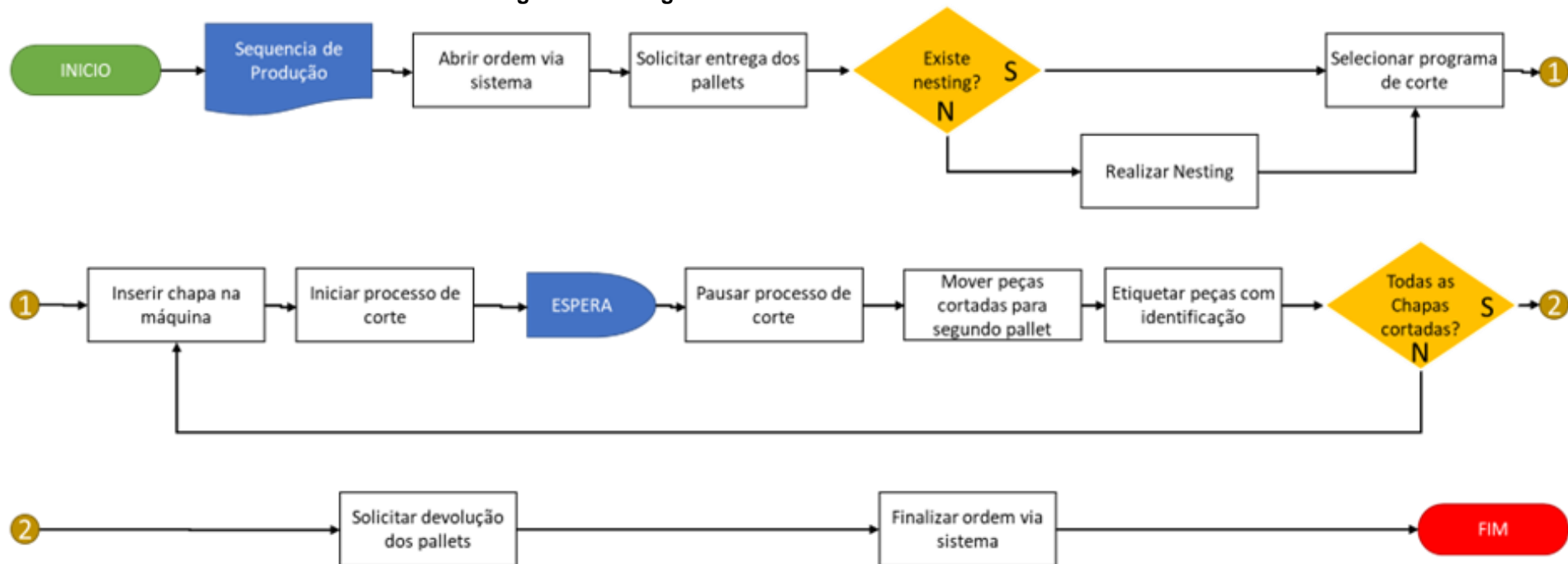
O setor de chaparia foi escolhido como centro do estudo deste trabalho, sendo que o desenvolvimento da ferramenta de coleta de dados foi realizado junto à equipe de PCP da empresa, e o treinamento de funcionários teve o auxílio direto do coordenador do setor.

Os dados coletados e analisados são referentes à um período de 3 meses, entre 01/09/2021 e 30/11/2021.

3.2 Processo produtivo

O processo produtivo analisado no setor de chaparia foi o de corte de chapa por técnica de corte à laser. A figura 9 ilustra o fluxo do processo.

Figura 9 - Fluxograma do Processo de Corte à Laser



Fonte: Autoria própria (2022)

Dentro do Layout do setor, as máquinas de corte são dispostas em torno do armazenamento vertical de chapas, o qual possui um Transelevador. Transelevadores são máquinas criadas para o armazenamento automático de *pallets*. Deslocam-se nos corredores e realizam as funções de entrada, posicionamento e saída de mercadorias (MECALUX, 2022).

Máquinas que estão dispostas ao lado do armazenamento vertical recebem o material diretamente da gôndola, elemento que transporta os *pallets* pelo transelevador, enquanto máquinas distantes recebem o material através de um AGV (*Automated Guided Vehicle*) que coleta o material na gôndola. As fotografias 10 e 11 apresentam exemplos de um armazenamento vertical com transelevador e um AGV.

Fotografia 1 - Armazenamento vertical com transelevador



Fonte: Mecalux (2022)

Fotografia 2 - Exemplo de AGV



Fonte: Wevolver (2022)

O transelevador é guiado por um *software* de gestão que coordena todos os seus movimentos, sendo que o mesmo *software* também gerencia as ordens de

produção do setor. Esse sistema é utilizado pelos operadores para abrir e encerrar ordens, selecionar programas de corte, e solicitar a entrega e devolução de *pallets*. Cada *pallet* no armazenamento vertical possui diversas chapas do mesmo material, e está associada a uma ordem de produção e um programa de corte.

Sendo assim, os operadores iniciam o processo produtivo solicitando a entrega dos *pallets* pela gondola do transelevador, um contendo a matéria-prima do processo e um segundo vazio para armazenar as chapas cortas. Sendo que, enquanto o mesmo espera a entrega do material, ele também realiza ajustes na máquina para iniciar a produção.

Anteriormente ao início do processo produtivo existe o procedimento de *Nesting* para criação dos programas de corte. Sendo que, *Nesting* se refere ao processo de criar padrões de corte que reduzam o tempo e o montante de material residual de refugo. Normalmente isso é uma etapa realizada pela equipe de Engenharia de Processos, porém em certos casos a montagem é realizada pelo próprio operador.

Após a entrega dos *pallets*, então alocando a primeira chapa dentro da máquina laser, o operador inicia o processo de corte. Após a finalização de uma chapa, o operador etiqueta as peças com suas informações de identificação da obra e as armazena no segundo *pallet*. Para economizar tempo na execução do processo, uma vez que a máquina é automatizada para operar sem intervenção direta, o operador pode aproveitar a espera pela finalização do corte da chapa atual para realizar a etiquetagem das peças da chapa anterior.

Após a finalização do corte de todas as chapas, o operador então finaliza a ordem chamando o transelevador para coletar a gôndola com material acabado. Seguindo, assim para a próxima ordem de produção.

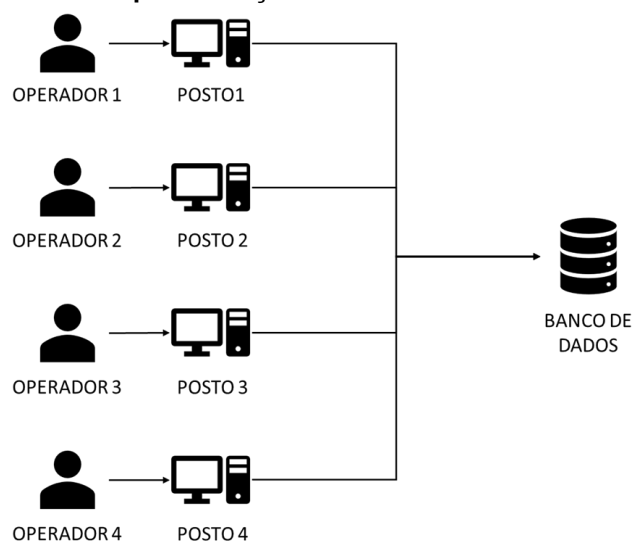
As máquinas de corte utilizadas no setor são *ByStronic BySprint 3015* e *ByStronic BySprint Pro*, sendo que a primeira utiliza corte por fibra óptica e a segunda corte por CO₂. O sistema de corte por fibra apresenta certas vantagens em relação ao de CO₂, pois este não necessita de gases para operação, e apresenta maior eficiência no consumo de energia. Outro ponto a ser destacado, é que a baixa eficiência do corte por CO₂ faz com que o processo gere muito calor, sendo necessário assim um sistema de refrigeração para a máquina. Logo, os custos de operação e manutenção de uma máquina de corte por CO₂ são maiores do que a de corte por fibra (MERCADO LASER, 2018).

3.3 Sistema de Coleta de Dados

O sistema de coleta de dados utilizado no trabalho foi desenvolvido especificamente para esta aplicação, junto com o auxílio da equipe de PCP da fábrica. O propósito do sistema foi facilitar a coleta de dados, evitando a utilização de fichas de papel, as quais apresentariam custos de material e desperdício de tempo para digitalização.

O sistema funciona com planilhas desenvolvidas em *Microsoft Excel* com auxílio de VBA (*Visual Basics for Applications*), que se conectam com um Banco de Dados em *Microsoft Access* armazenado na rede local da empresa. Os computadores dispostos nos postos de trabalho do setor servem como meio de apontamento para o operador, que ao iniciar a produção de ordens ou fazer interrupções da operação, realiza o input de informações que são transferidas para o banco de dados. A figura 10 demonstra a esquematização do sistema.

Figura 10 - Esquematização do sistema de coleta de dados



Fonte: Autoria própria (2022)

As planilhas apresentam dois ambientes, Produção e Paradas, os quais serão apresentados nas seções a seguir.

3.3.1 Produção

O ambiente de produção é destinado aos apontamentos de início e finalização de ordens de produção. A figura 11 apresenta a tela inicial.

Figura 11 - Tela Inicial do Ambiente de Produção

REGISTRO DE PRODUÇÃO

Posto: D7
Usuário: ADMIN

REGISTRO DE PRODUÇÃO

Registro de Ordem | Histórico de Registros | Turno Extra | Configurações

Nova Parada

Ordem Kanban Sem Ordem

Número da Ordem

512323487

INICIAR ORDEM

FINALIZAR ORDEM

PARADA

Timer

Status

PRODUZINDO

Observações

Data de inicio

27/06/2022 20:52:15

N° Peças

Data de finalização

N° Defeitos/Retrabalhos

0

Fonte: Autoria própria (2022)

O procedimento de utilização desta página é:

- 1) Selecionar entre Ordem ou *Kanban*;
- 2) Digitar o número da Ordem ou Número do Item *Kanban*;
- 3) Clicar em “Iniciar Ordem”.

Ao finalizar a produção dos itens, então realizar os seguintes passos:

- 1) Inserir Observações referentes ao processo realizado. Descrição do item, problemas encontrados durante as operações, entre outros;
- 2) Inserir o número de peças produzidas;
- 3) Inserir o número de defeitos e/ou retrabalhos encontrados;
- 4) Clicar em “Finalizar Ordem”.

Além disso, o operador também pode checar suas últimas 10 marcações de produção realizadas dentro do posto, para fins de consulta ou correção de informações que foram inseridas incorretamente.

Figura 12 - Tela de Histórico de Registro de Produção

REGISTRO DE PRODUÇÃO

Posto: D7
Usuário: ADMIN

REGISTRO DE PRODUÇÃO

Registro de Ordem | Histórico de Registros | Tumo Extra | Configurações

Últimos Registros

Posto	Ordem	Início	Fim	N Peças	Retrabalhadas/Defeito	Tipo
D7	517814	05/11/2021 17:58	05/11/2021 20:32	160	0	Ordem
D7	517811	05/11/2021 15:54	05/11/2021 17:42	168	0	Ordem
D7	517810	05/11/2021 13:38	05/11/2021 14:57	180	0	Ordem
D7	3908	05/11/2021 13:12	05/11/2021 13:38	2	0	Ordem
D7	517809	04/11/2021 20:32	05/11/2021 13:04	300	0	Ordem
D7	517806	04/11/2021 17:46	04/11/2021 20:15	180	0	Ordem
D7	517805	04/11/2021 15:02	04/11/2021 17:20	300	0	Ordem
D7	517666	22/10/2021 11:04	04/11/2021 13:28	2	0	Ordem
D7	517667	22/10/2021 09:38	22/10/2021 10:48	180	0	Ordem
D7	517664	21/10/2021 17:08	22/10/2021 09:07	180	0	Ordem

EDITAR

Fonte: Autoria própria (2022)

Ao selecionar a ordem e clicar em “Editar”, o operador tem a opção de corrigir os dados referentes a ordem selecionada.

3.3.2 Paradas

O ambiente de paradas é destinado aos apontamentos de início e finalização de interrupções no processo produtivo, sendo essas de origens diversas. A figura 13 apresenta a tela inicial deste ambiente.

Figura 13 - Tela Inicial do Ambiente de Paradas

REGISTRO DE PARADAS

Posto: L1
Usuário: ADMIN

REGISTRO DE PARADAS

Registro | Registro Manual de Parada | Histórico de Registros | Configurações

Nova Parada

- Abastecimento de gás
- Ações de Qualidade
- Espera de Gôndola/Setup
- Falta de Material
- Manutenção
- Monitor da máquina travado
- Movimentação de material
- Nesting
- Outros
- Protótipo
- Refeição
- Reunião do Setor

Timer

Status

DISPONÍVEL

Observações

Data de início

Data de finalização

INICIAR PARADA

FINALIZAR PARADA

Fonte: Autoria própria (2022)

O procedimento de utilização deste ambiente é:

- 1) Selecionar o motivo de parada;
- 2) Clicar em “Iniciar Parada”.

Após a finalização da interrupção da produção, deve-se então seguir os seguintes passos:

- 1) Inserir observações sobre a parada. Motivo de manutenção, material faltante, entre outros;
- 2) Clicar em “Finalizar Parada”.

Os motivos de parada listados na tela terão sua natureza esclarecida em maior detalhe na seção de método de cálculo do OEE.

Além disso, o ambiente de registro de paradas também possui uma aba para input de paradas manuais, caso o operador venha a esquecer de iniciar ou finalizar o registro da interrupção no momento correto.

Figura 14 - Tela de Registro Manual de Paradas

REGISTRO DE PARADAS

Posto: L1
Usuário: ADMIN

REGISTRO DE PARADAS

Registro | Registro Manual de Parada | Histórico de Registros | Configurações

Registrar Turno Extra

Motivo

- Ações de Qualidade
- Construindo Programa
- Espera de gôndola/Setup
- Falta de Material
- Manutenção
- Movimentação de carrinho
- Outros
- Refeição
- Reunião do setor

Início

Dia Mês Ano Hora Min

27 / 6 / 2022 [] : []

Fim

Dia Mês Ano Hora Min

27 / 6 / 2022 [] : []

Observações

REGISTRAR

Fonte: Autoria própria (2022)

Assim como o ambiente de produção, também está disponível uma tela com o histórico das últimas 10 paradas, para fim de consulta e correção de possíveis inconsistências nos dados inseridos previamente.

Figura 15 - Tela de Histórico de Registro de Paradas

REGISTRO DE PARADAS

Posto: L1 **REGISTRO DE PARADAS**

Usuário: ADMIN

Registro | Registro Manual de Parada | Histórico de Registros | Configurações

Últimos Registros

Posto	Motivo	Início	Fim	Obs	Ordem	User Inico
L1	Espera de Gondola/Se	09/11/2021 12:25	09/11/2021 13:10			EDMILSON GAMBAR
L1	Espera de Gondola/Se	09/11/2021 09:14	09/11/2021 09:50			EDMILSON GAMBAR
L1	Refeição	09/11/2021 01:57	09/11/2021 03:06		517780	MARCOS ANTONIO D
L1	Espera de Gondola/Se	08/11/2021 15:42	08/11/2021 15:59			EDMILSON GAMBAR
L1	Espera de Gondola/Se	08/11/2021 15:29	08/11/2021 15:36			EDMILSON GAMBAR
L1	Espera de Gondola/Se	08/11/2021 10:52	08/11/2021 11:15			EDMILSON GAMBAR
L1	Refeição	06/11/2021 02:03	06/11/2021 02:51		517778	MARCOS ANTONIO D
L1	Espera de Gondola/Se	05/11/2021 21:57	05/11/2021 22:00			JOAO MARIA DE OLIV
L1	Manutenção	05/11/2021 20:37	05/11/2021 21:55	ADEQUAÇÃO NR-12		JOAO MARIA DE OLIV
L1	Refeição	05/11/2021 18:28	05/11/2021 19:30		711644	JOAO MARIA DE OLIV

Fonte: Autoria própria (2022)

3.4 Método de Cálculo

Nesta seção será descrito como foi realizado o cálculo dos indicadores OEE baseado nos dados de produção, paradas e defeitos. Sendo que, as fórmulas e nomenclaturas citadas por Hansen (2006) foram utilizadas como referência para este trabalho.

Como descrito na seção 2.5, o OEE é representado pela equação (1)

$$OEE = Disponibilidade * Desempenho * Taxa de Qualidade \quad (1)$$

O primeiro elemento do OEE, a disponibilidade é representada pela seguinte equação:

$$Disponibilidade = \frac{T_{OP}}{T_C} \quad (2)$$

Onde:

- T_{OP} é o Tempo de Operação, tempo no qual a máquina está disponível para operação;
- T_C é o Tempo de Carga, sendo esse o tempo real programado para a produção.

Sendo que o Tempo de Operação e Tempo de Carga, podem ser descritos como:

$$T_C = T_{Exp} - Paradas Programadas \quad (3)$$

$$T_{OP} = T_C - \text{Perdas de Disponibilidade} \quad (4)$$

Onde:

- T_{EXP} é o Tempo total de Expediente, ou seja, o tempo total dos turnos programados para produção no período.

O segundo tempo do OEE, o desempenho é representado pela seguinte equação:

$$\text{Desempenho} = \frac{\text{Peças Produzidas} * T_{TC}}{T_{OP}} \quad (5)$$

Onde:

- T_{TC} é o Tempo de Ciclo Teórico, o qual representa o tempo teórico necessário para processar uma peça.

Por fim, o terceiro termo do OEE, a qualidade é representada pela seguinte equação:

$$\text{Taxa de Qualidade} = \frac{\text{Total Produzido} - (\text{Refugo} + \text{Retrabalho})}{\text{Total Produzido}} \quad (6)$$

Na análise do desempenho, foi utilizado um tempo de ciclo teórico padrão para cada máquina, sendo que esse valor foi informado pelo setor de Engenharia de Processos da empresa. As diferentes complexidades de cada peça podem afetar o tempo de ciclo, porém essa variabilidade se dilui dentro do período de uma semana, onde todos os tipos de peças são produzidos em um número de lotes fixos. Logo, para evitar imprecisões na medição do desempenho, a análise se limita a avaliar o indicador em nível de semanas.

Com o objetivo de tornar o procedimento de registro dos dados por parte do operador em uma atividade de fácil entendimento, foram escolhidos motivos padrões de paradas que se relacionassem com as atividades da célula de trabalho. Para efeitos de cálculo, esses motivos são classificados em paradas programadas, perdas de disponibilidade ou perdas de produtividade, afetando de formas diferentes o indicador final. O quadro 2 elenca os motivos, sua classificação e relação com os seis grandes desperdícios do TPM:

Quadro 2 - Motivos de Paradas

MOTIVO	TIPO	DESPERDÍCIO RELACIONADO
Abastecimento de gás	Perda de Disponibilidade	Setup e Ajustes

Espera de Gôndola/Setup	Perda de Disponibilidade	Setup e Ajustes
Manutenção	Perda de Disponibilidade	Falhas
Monitor da máquina travado	Perda de Disponibilidade	Falhas
Ações de Qualidade	Perda de Desempenho	Pequenas Paradas
Falta de Material	Perda de Desempenho	Pequenas Paradas
Movimentação de material	Perda de Desempenho	Pequenas Paradas
Nesting	Perda de Desempenho	Pequenas Paradas
Outros	Perda de Desempenho	Pequenas Paradas
Protótipo	Parada Programada	
Refeição	Parada Programada	
Reunião de Setor	Parada Programada	

Fonte: Autoria própria (2022)

Para realizar uma investigação mais profunda da causa raiz das perdas, os dados de paradas foram analisados em detalhe utilizando como referência a classificação apresentada no Quadro 2, além do auxílio das observações apresentadas pelos operadores dentro dos apontamentos de parada, gerando assim pontos que poderiam ser atacados para melhorar a eficiência dos equipamentos.

Além disso, também foi utilizado indicadores de manutenção de MTTR (Tempo Médio de Reparo) e MTBF (Tempo Médio entre Falhas) para analisar ainda mais afundo a natureza das falhas dos transeleavador. Segundo MEGIOLARO (2015), o método de cálculo desses indicadores é representado pelas seguintes equações:

$$MTBF = \frac{T_{total}}{n} \quad (3)$$

$$MTTR = \frac{Tnp_{man}}{n} \quad (4)$$

Onde:

- T_{total} é o tempo total trabalhado (em minutos ou horas)
- Tnp_{man} é o tempo total de paradas não planejadas devido à manutenção
- n é o Número de intervenções

4 DESENVOLVIMENTO

Nesse capítulo apresenta-se o resultado da análise dos dados coletados sob a metodologia da ferramenta do OEE. Primeiramente será apresentado um resultado geral do indicador do OEE, e posteriormente colocado em detalhe cada fator do indicador, seguido de apontamentos com descrições de causas e levantando possíveis soluções. Por fim, será criado o plano de ação baseado nos pontos levantados anteriormente.

A partir de agora para se referir a máquina de corte à laser por CO2 se usará o termo Laser 1, enquanto para máquina de corte à laser por fibra óptica será usado o termo Laser 2

4.1 OEE

Na tabela 3 são apresentados os resultados do OEE, e os respectivos fatores observados dentro do período observado.

Tabela 1 - Levantamento do OEE

Equipamento	Mês	OEE	Disponibilidade	Desempenho	Qualidade
Laser 1	agosto	58%	89%	65%	99,79%
	setembro	64%	94%	69%	99,82%
	outubro	67%	95%	71%	100,00%
Laser 2	agosto	61%	90%	68%	99,96%
	setembro	68%	95%	72%	100,00%
	outubro	70%	96%	73%	99,98%

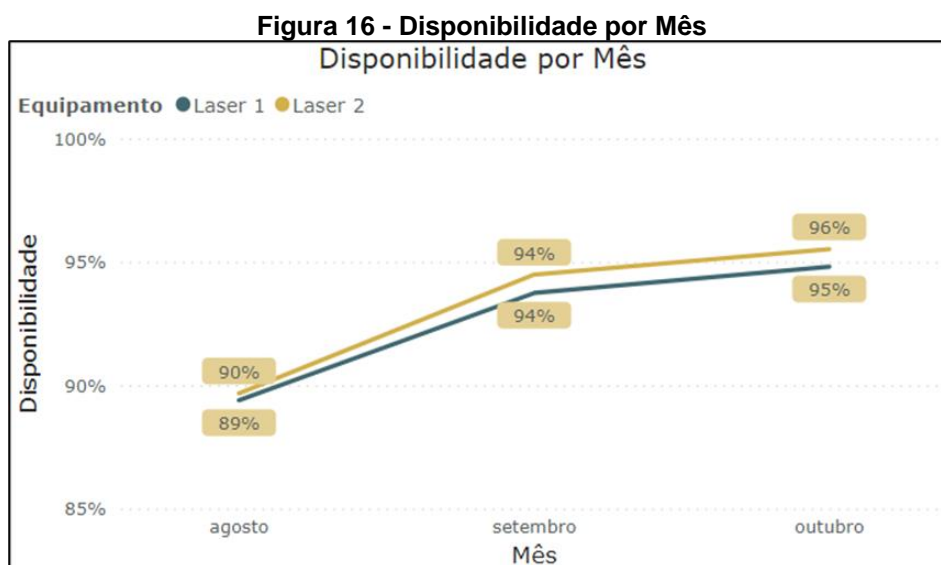
Fonte: Autoria própria (2022)

Observando a tabela, é possível ver que a máquina Laser 1 possui uma eficiência abaixo da Laser 2 para os correspondentes meses analisados, sendo que em ambas o principal agressor é o desempenho, seguida pela disponibilidade. Características de seu processo levam a máquina Laser 1 a ter maior desperdícios, como será descrito nas seções seguintes.

Outro ponto é o nível elevado de qualidade, que é representativo do auto volume de produção e a automação do equipamento, que se configurado corretamente e com um plano de manutenção correto, consegue apresentar elevado índice de qualidade.

4.2 Disponibilidade

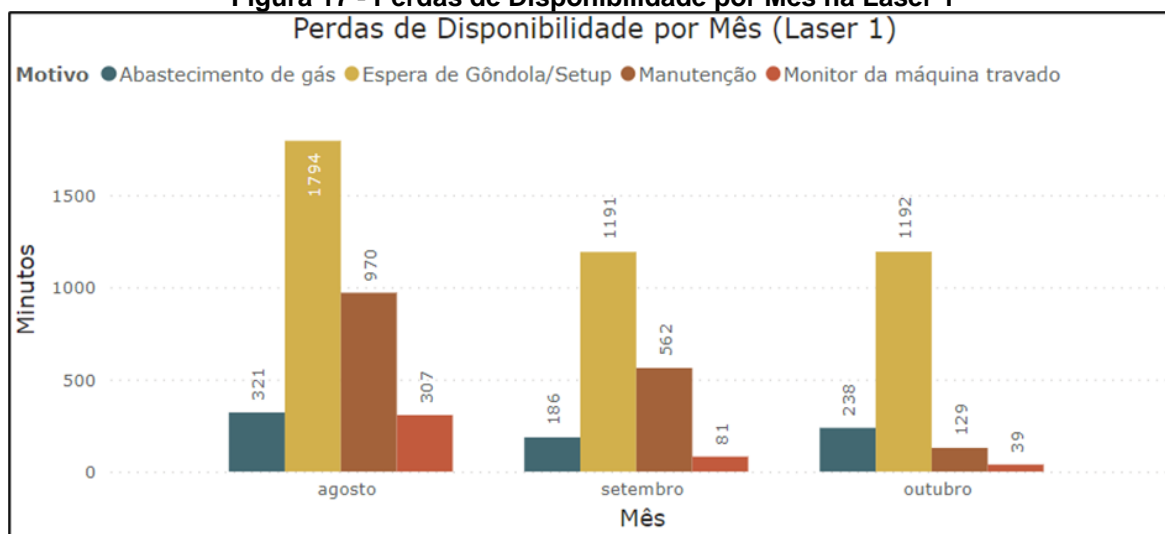
Na Figura 16 é apresentado os valores da disponibilidade para as máquinas Laser 1 e Laser 2, nos meses de agosto à outubro.



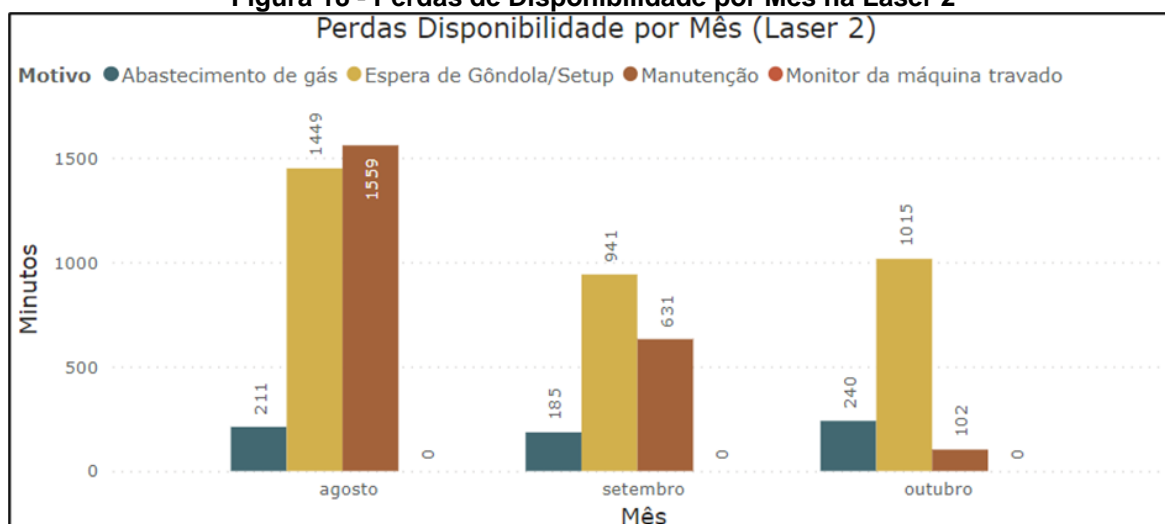
Fonte: Autoria própria (2022)

A máquina Laser 1 apresenta uma disponibilidade levemente menor do que a máquina Laser 2 nos meses analisados, pois como apresentado nas figuras 17 e 18, existe um maior tempo de paradas por Espera de Gôndola vinda do transelevador na alimentação de material. O transelevador está configurado para dar prioridade à chamados vindos de postos mais distantes do armazenamento vertical, sendo assim, as máquinas à Laser, que estão próximas do local, acabam perdendo prioridade na entrega de material para máquinas que são alimentadas pelo AGV (*Automated Guided Vehicle*).

Em especial isso é verdade para Laser 1, pois ela também está posicionada no ponto mais distante de onde o AGV recebe o material da gôndola do transelevador, sendo que o processo de alimentação pelo AGV já é mais demorado que a alimentação direta no posto.

Figura 17 - Perdas de Disponibilidade por Mês na Laser 1

Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 18 - Perdas de Disponibilidade por Mês na Laser 2

Fonte: Autoria própria (2022)

O processo de abastecimento de gás é frequentemente responsável pela parada das máquinas, o qual é um processo necessário para ambas as máquinas. No cenário atual, por existir apenas um tanque de gás que alimenta as máquinas, em caso da necessidade de reabastecimento é obrigatório a pausa da produção. Isso poderia ser solucionado com a introdução de um segundo reservatório de gás, fazendo com que o reabastecimento seja realizado de forma alternada.

Outro ponto a ser observado é que a Laser 1 apresenta problemas com o monitor da máquina, sendo que o equipamento é mais antigo que a máquina Laser 2. Logo é necessário avaliar uma troca ou modernização do monitor do equipamento.

No mês de agosto houve um elevado tempo de manutenção corretiva, isso se deve à uma manutenção periódica da subestação de energia das instalações, a qual levou a quedas de energia causando assim a reinicialização das máquinas. A reinicialização durante o corte faz com que a máquina retorne sua posição original e reinicie o processo, porém um erro de configuração em um dos parâmetros de reinicialização da posição do cabeçote, levou à choques entre a ponta da ferramenta e a chapa, danificando assim o bico que fica na ponta do cabeçote. Quebras consecutivas num pequeno período levaram ao esgotamento do estoque de peças para reposição, causando assim um período de ociosidade devido à falta do bico do cabeçote.

No mês de setembro o compressor de ar, que serve ambas as máquinas e outras partes da instalação fabril, apresentou baixa pressão de ar. Após o ocorrido a equipe organizou medidas mitigadoras para evitar paradas prolongadas, porém é indicado a inclusão de um novo compressor para melhorar a taxa de compressão da rede da empresa.

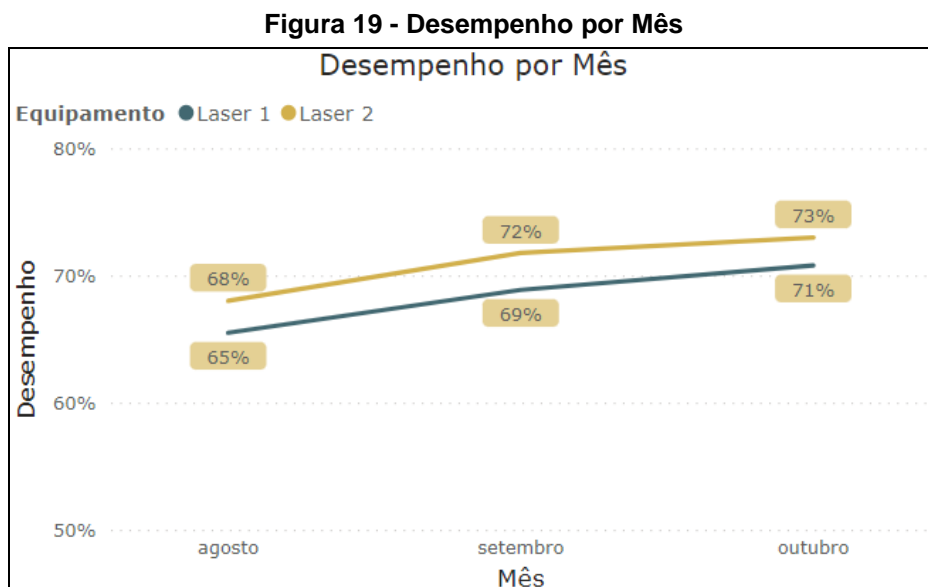
O último ponto que deve ser considerado sobre as paradas de manutenção corretiva, são as frequentes paradas para limpeza da lente do cabeçote das máquinas. As lentes ficam logo acima do feixe de laser e estão expostas a sujeiras, fumaça e detritos, que com o passar do tempo levam a perda da qualidade do corte. No sistema atual de manutenção das máquinas, os operadores são responsáveis por realizar a limpeza sempre que, através de uma inspeção visual da qualidade do corte, acreditarem necessário a realização da atividade. E sendo esse um tempo variável, ele não é considerado na programação da produção como uma parada programada, gerando uma falsa impressão de capacidade. Além disso, especialistas indicam manutenção preventiva a partir de determinadas horas de corte para aumentar a vida útil das lentes. Sendo assim, incluir um cronograma de manutenção preventiva das lentes das máquinas seria um bom caminho para ter mais controle desse procedimento de manutenção.

Considerando todos as questões levantadas em relação a disponibilidade, os principais pontos de melhoria são:

- 1) Abastecimento de gás
- 2) Travamento do monitor da Laser 1
- 3) Suprimento de ar comprimido para os equipamentos
- 4) Plano de manutenção preventiva dos equipamentos

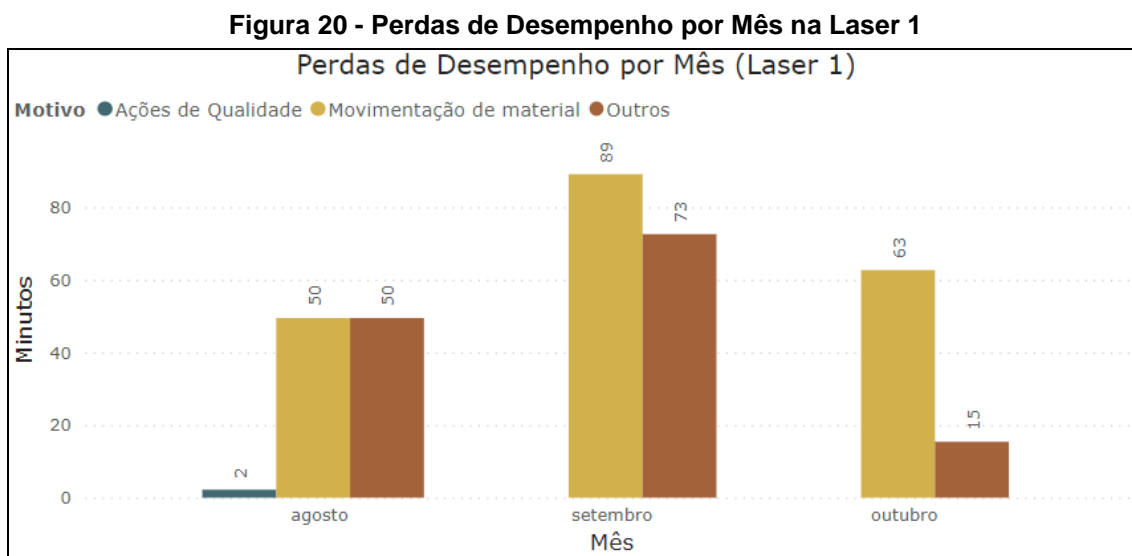
4.3 Desempenho

Na Figura 19 é apresentado os valores do desempenho para as máquinas Laser 1 e Laser 2, nos meses de agosto a outubro.



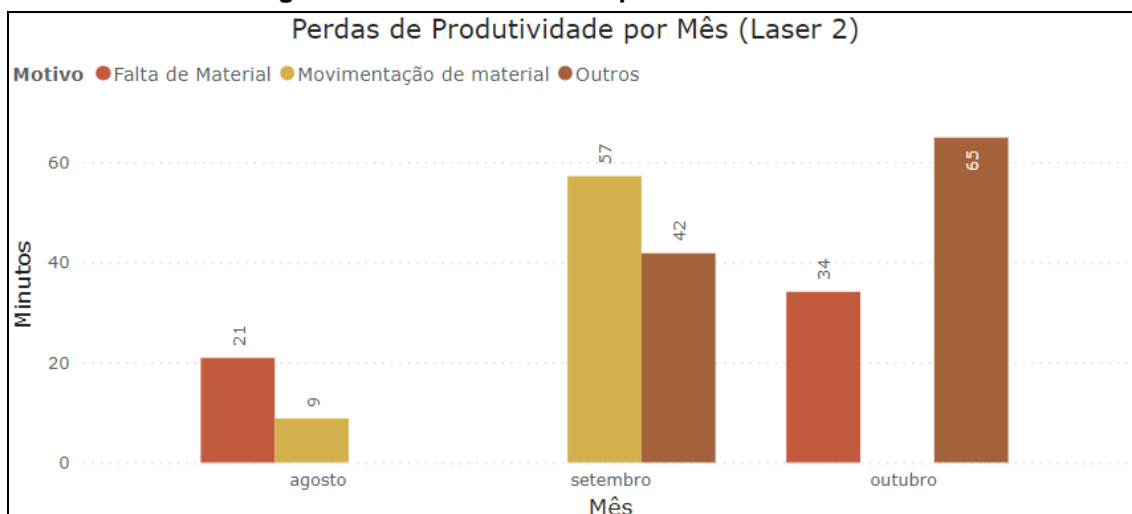
Fonte: Autoria própria (2022)

Nas figuras 20 e 21 será apresentado segundo as paradas apontadas pelos operadores, os principais agressores de desempenho para as máquinas Laser 1 e Laser 2, respectivamente.



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 21 - Perdas de Desempenho Mês na Laser 2



Fonte: Autoria própria (2022)

As paradas por “Falta de Material” são períodos de ociosidade devido ausência de matéria-prima para o trabalho, isso é de modo geral causado por problemas de planejamento e programação de produção, e não será discutido dentro do escopo deste trabalho formas de melhorar o processo visto a complexidade e magnitude da problemática.

Em seguida, parada de “Movimentação de material” ocorre pois os operadores em certas ocasiões são obrigados a levar carrinhos com materiais acabados direto para a linha de montagem, seguindo um fluxo de processo diferente do apresentado anteriormente. Essa atividade de forma geral não tomaria muito tempo, porém a falta de material em diversas linhas de montagem acarretou uma quantidade elevada de *work in process*, que se acumula dentro de corredores dentro do setor, prejudicando o transporte e armazenamento de materiais na linha de produção, causado por problemas de planejamento e programação de produção. Porém, uma análise mais profunda também mostrou que existe um mal dimensionamento do número e tamanho dos carrinhos de materiais que são utilizados na linha de montagem, já que esses constantemente se encontram em falta durante a movimentação do material.

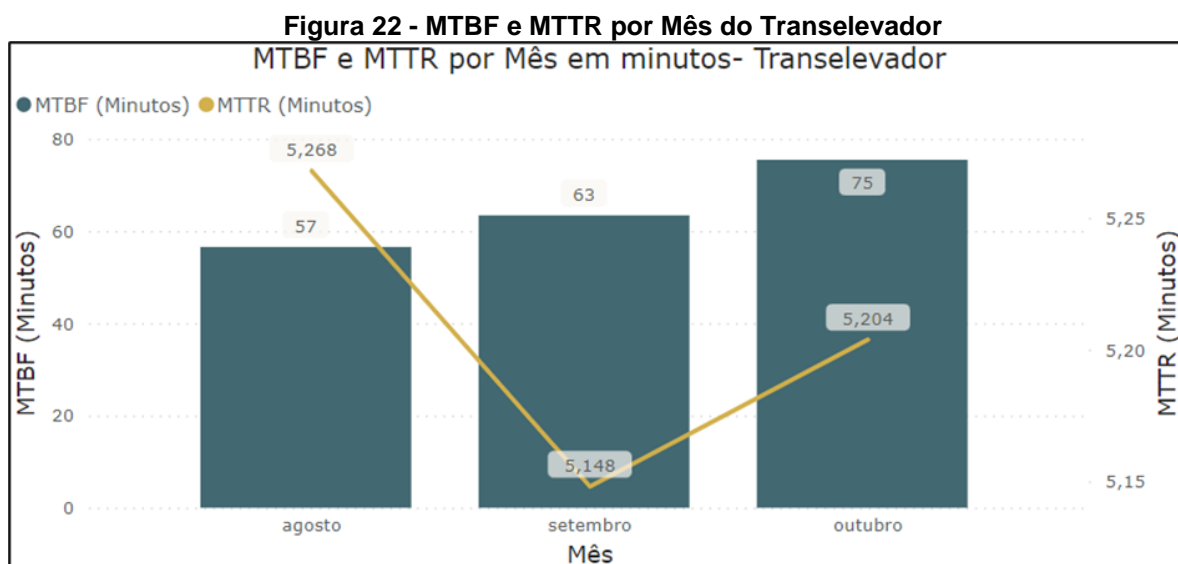
As paradas atribuídas como “Outros” são utilizadas quando o operador não encontra um motivo adequado para situação em questão, entretanto os operadores foram orientados a escrever observações que indicassem a natureza da parada. Existiram três motivos que apareceram recorrentemente:

- 1) Limpeza da área

- 2) Falta ou falhas no programa CNC
- 3) Falhas do Transelevador

Para o item 1 fica evidente a necessidade de um cronograma de limpeza da área alinhado com as paradas programadas da produção, como almoço ou reuniões do setor. Já o item 2 vai ter sua natureza descrita em mais detalhe na próxima seção com os tópicos de qualidade, onde seus efeitos são mais sentidos.

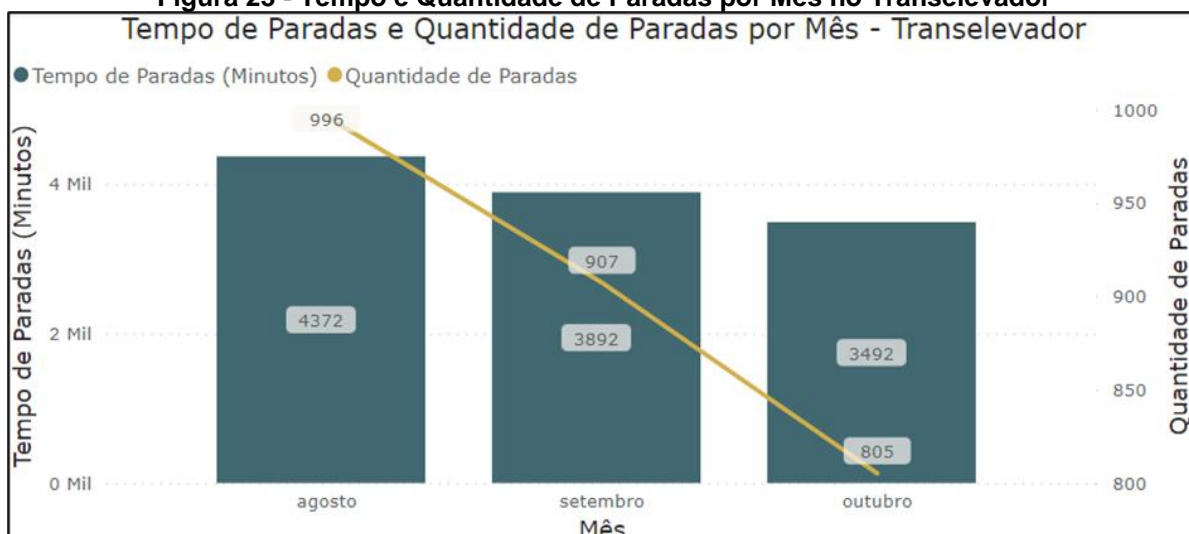
Enquanto isso, as paradas devido a falhas do transelevador merecem maior atenção, pois é possível que essas representem uma quantidade de tempo ainda maior que não é apontada pelos operadores. Na Figura 22 é apresentado os valores de MTBF (*Mean Time Between Failure*) e MTTR (*Mean Time To Repaire*) do equipamento:



Fonte: Aatoria própria (2022)

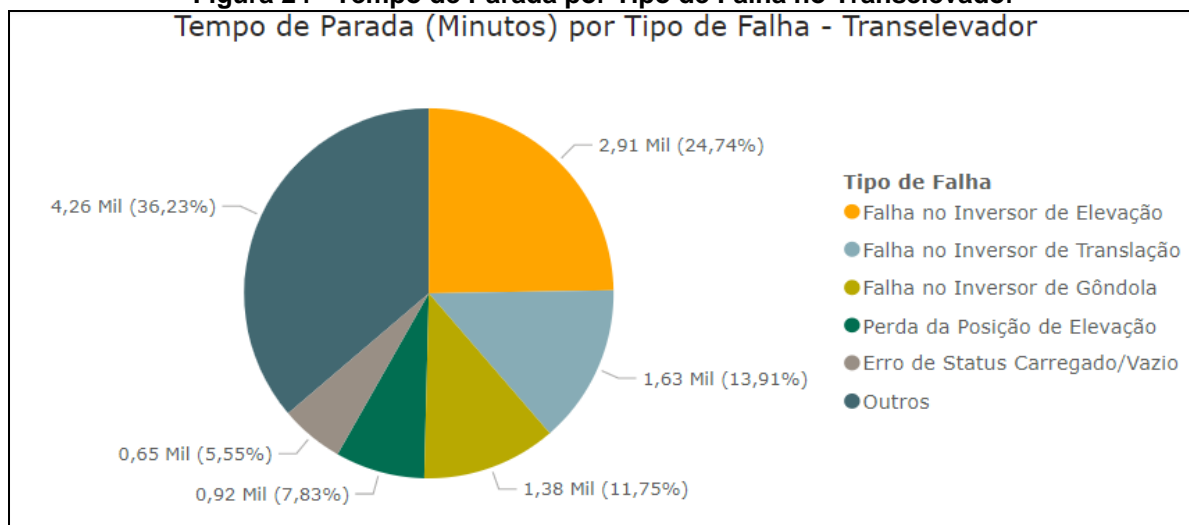
É possível ver uma certa correlação entre o aumento do tempo médio entre falhas do transelevador e o desempenho das máquinas. E de fato, durante suas atividades os próprios operadores são responsáveis por retirar as falhas do equipamento quando essas ocorrem, o qual segundo relatos e como é possível ver pelos valores do gráfico, são frequentes quando o equipamento é acionado. E conforme a figura 22, pelo MTTR obtido, a correção paliativa realizada pelos operadores é feita em média dentro de 5 minutos, um tempo curto que leva eles a não realizarem a marcação no sistema.

Entretanto, mesmo que a ação corretiva seja rápida, falhas frequentes somam para valores consideráveis ao longo do tempo, como é observado na Figura 23.

Figura 23 - Tempo e Quantidade de Paradas por Mês no Transelevador

Fonte: Autoria própria (2022)

O sistema controlador do transelevador registra as falhas automaticamente, e na Figura 24 é mostrado que a origem das falhas que somadas representam cerca de 50% do tempo parado, são devido a falha nos inversores de translação, elevação e controle da gôndola.

Figura 24 - Tempo de Parada por Tipo de Falha no Transelevador

Fonte: Autoria própria (2022)

Um diagnóstico feito por uma empresa terceira durante o período, mostrou que existe uma falha nos contatos dos inversores, sendo necessário a substituição de todo o conjunto do equipamento. Porém é importante observar que todo o sistema do transelevador é antigo, tendo sido implantado no ano 2000, tendo não só *hardware*, mas *software* também ultrapassado, causando assim transtornos frequentes durante a operação. O programa que gerencia as ordens e solicitação de

material, não possui suporte para versões mais recentes do sistema operacional *Windows*, sendo necessário a utilização de uma máquina virtual em *Windows 98*. Logo, é sugerido a análise da viabilidade de um *Retrofit* completo do equipamento, para a modernização de hardware e software.

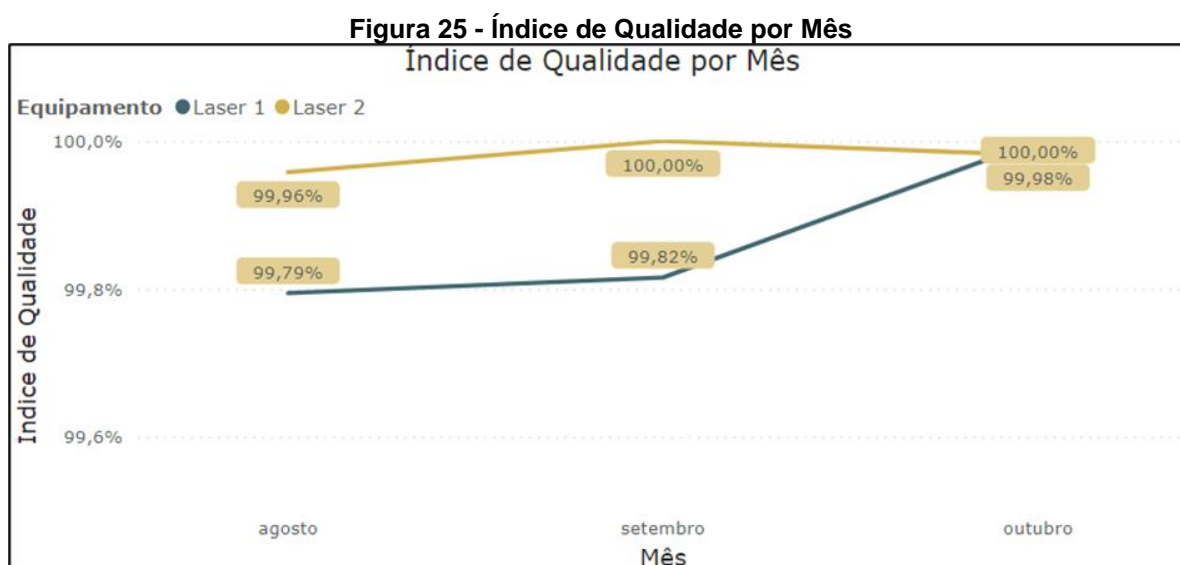
Por fim, também é importante destacar que o Transelevador enfrenta uma degradação acelerada a muito tempo devido à falta de manutenção preventiva, sendo assim esse trabalho identifica a necessidade de um plano mais abrangente e detalhado de manutenção preventiva do equipamento.

Considerando todos as questões levantadas em relação a disponibilidade, os principais pontos de melhoria são:

- 1) Dimensionamento dos carrinhos de transporte de material
- 2) Horários de limpeza do setor
- 3) Substituição dos inversores do transelevador
- 4) *Retrofit* do transelevador
- 5) Plano de manutenção preventiva do transelevador

4.4 Qualidade

Na Figura 25 é apresentado os valores do Índice de Qualidade para as máquinas Laser 1 e Laser 2, nos meses de agosto a outubro.



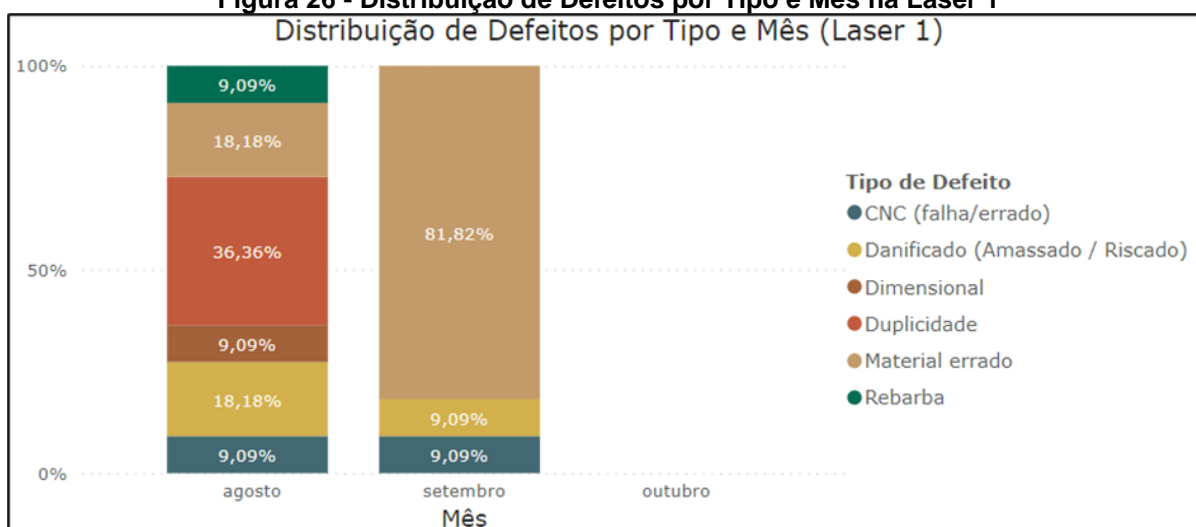
Fonte: Autoria própria (2022)

Apesar de o índice de qualidade ser elevado, pois em comparação aos valores produzidos o número de itens defeituosos é baixo, os custos pela falta de

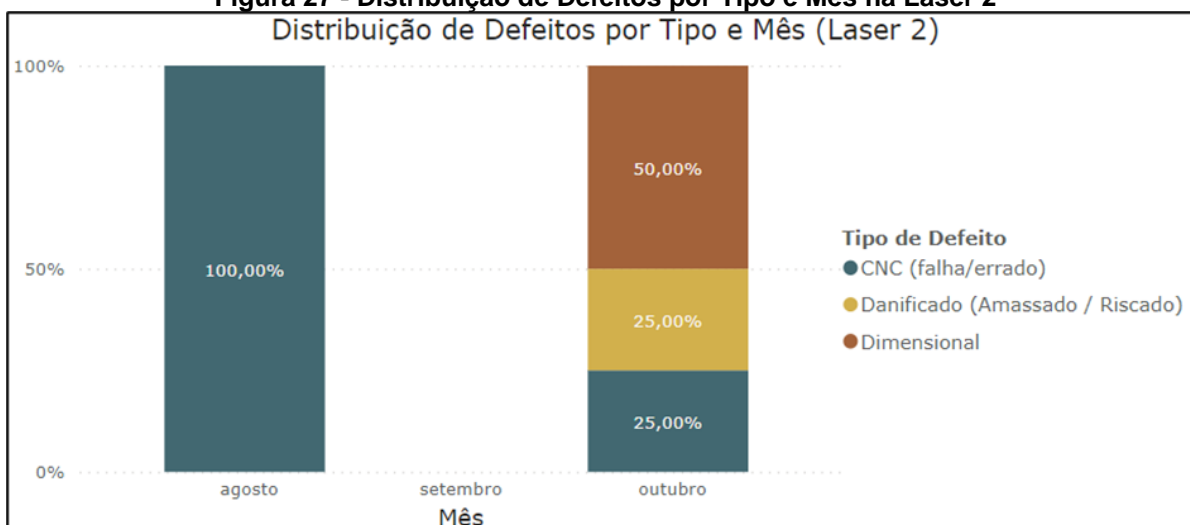
qualidade em toda a cadeia produtiva são elevadíssimos para a companhia. A origem desses defeitos é sistêmica, vindo da estrutura do produto e na geração dos programas CNCs, sendo assim valores de não qualidade não são transparecidos no índice de qualidade para as máquinas de estudo, pois em muitos casos as peças não são produzidas, tendo os seus programas retrabalhados antes de voltarem para o posto de produção, levando a paradas na linha como observadas nos dados de desempenho.

Entretanto, em alguns casos a inconsistência pode não ser detectada, ocorrendo assim a produção da peça, como é observado nas figuras 26 e 27, para os casos de CNC e Duplicidade. A empresa em questão trabalha com diversos itens parametrizados e com estrutura variável, sendo que inconsistências durante a configuração deles levam à erros nos programas CNC ou duplicidade dos itens na lista de produção. Incluir ou melhorar filtros de checagem antes do processo produtivo pode ser uma ação paliativa, porém a causa real está no processo de implementação de modificações de produto.

Figura 26 - Distribuição de Defeitos por Tipo e Mês na Laser 1



Fonte: Autoria própria (2022)

Figura 27 - Distribuição de Defeitos por Tipo e Mês na Laser 2

Fonte: Autoria própria (2022)

O tipo de defeito de “Material errado” ocorre quando a peça é etiquetada com a identificação incorreta. Isso acontece devido ao processo de etiquetagem ser manual, sujeito assim à erros por parte de operador. Uma solução definitiva seria modificar a máquina para que ela possa gravar a identificação da peça em sua superfície.

Já os problemas dimensionais e de rebarba, acontecem quando a máquina não consegue cortar as peças sob a tolerância e acabamento desejado. Erros dimensionais quando analisados mais a fundo tem origem em deslocamentos indevidos da chapa durante o corte. Enquanto a rebarba, a qual pode acontecer por diversos motivos, nos casos registrados durante o período teve sua origem encontrada na falta de limpeza das lentes da máquina. Logo, a ação de manutenção preventiva das lentes pode contribuir para melhoria desse ponto.

Por fim, uma última observação sobre as figuras 26 e 27 é o fato dos meses de outubro para Laser 1 e setembro para Laser 2 não possuírem dados, isso ocorreu pois não houve apontamento de defeitos gerados nos postos.

Considerando todos as questões levantadas em relação a disponibilidade, os principais pontos de melhoria são:

- 1) Qualidade de programas CNC
- 2) Identificação das peças

4.5 Plano de Ação

Levando em consideração os pontos levantados na análise do OEE das máquinas, o plano com as ações de melhoria é apresentado no quadro 3.

Quadro 3 – Plano de Ação

Ação	Motivo	Responsável	Local	Prazo
Analisar a alocação do Segundo Reservatório de Gás	Eliminar paradas para abastecimento de gás	Engenharia de Processos	Área de armazenagem de gás Hidrogênio	2 semanas
Realizar troca do monitor da Laser 1	Eliminar paradas por travamento do monitor	Time de PCM	Laser 1	1 mês
Analisar a compra de um novo compressor	Eliminar paradas devido a baixa pressão de ar comprimido	Engenharia de Processos	Compressor de Ar	2 semanas
Revisar o plano de manutenção preventiva das máquinas Laser	Reduzir paradas para manutenção corretiva Melhorar qualidade do corte	Time de PCM	Laser 1 e Laser 2	3 semanas
Redimensionar os carrinhos de material	Garantir agilidade no processo de movimentação do material	Engenharia de Processos	Linha de Montagem	1 semana
Analisar a contratação de auxiliares para movimentação de material	Garantir foco dos operadores em suas atividades principais	Coordenador	Setor de Chaparia	1 semana
Alterar os horários de limpeza da área	Eliminar paradas na produção devido limpeza	Coordenador	Setor de Chaparia	1 semana
Realizar a troca dos inversores	Eliminar paradas devido a mal contato dos inversores	Time de PCM	Transelevador	2 meses
Analisar viabilidade do Retrofit do Transelevador	Garantir fluxo contínuo na alimentação de material	Time de PCM	Transelevador	1 mês
Criar plano de manutenção preventiva do Transelevador	Reduzir paradas para manutenção corretiva do equipamento	Time de PCM	Transelevador	3 semanas

Criar filtros de checagem dos programas CNC	Garantir programas CNC com zero defeitos Reduzir paradas por espera de correções Reduzir retrabalhos	Engenharia de CAD/CAM	Setor de CAD/CAM	1 mês
Adaptar máquinas Laser para transcrever identificação do item	Garantir a correta identificação do item	Engenharia de Processos	Laser 1 e Laser 2	3 meses

Fonte: Autoria própria (2022)

Como a evolução dos dados foi observada pela liderança da fábrica, algumas dessas ações já tiveram seu início, como é o caso da análise do *Retrofit* do transelevador. Porém, as demais ações serão apresentadas à gerência da companhia com objetivo de dar continuidade no trabalho iniciado.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho aplicou o indicador de eficiência global de equipamento no setor de chaparia de uma indústria metalúrgica, focado em centros de trabalho chaves para o sucesso no atendimento na qualidade e prazo exigidos pelos seus clientes.

Com o auxílio do coordenador do setor, um sistema de coleta de paradas e produção foi estabelecido para o levantamento da informação necessária para as análises, totalizando mais de 2 mil apontamentos de paradas e produção.

Seguindo a metodologia de cálculo estabelecida por Hansen (2006), os fatores do OEE e seu valor geral foram computados para os meses de agosto, setembro e outubro do ano de 2021. Posteriormente, uma análise aprofundada foi realizada para cada fator do OEE, sendo seus valores confrontados com as justificas de paradas e defeitos apontados pelos operadores. Além disso, dados adicionais das falhas do transelevador do armazenamento vertical do setor foram analisados para dar um melhor entendimento dos efeitos deste sistema no processo como um todo.

Desta análise, levantando cada tipo de parada/falha em consideração e tendo foco nos principais agressores, criou-se um tota de 12 ações, que foram então atribuídas para responsáveis, cada uma com seu respectivo prazo. Cabendo agora, a coordenadoria do setor dar continuidade e acompanhamento à essas ações.

Como sugestão para futuros estudos deste trabalho, se aconselha a aplicação mais abrangente do indicador nos demais centros de trabalhos e diferentes setores. Associando isso a ações para fomentação da filosofia Lean e metodologia TPM, tais como treinamentos e palestras, uma cultura voltada para melhoria contínua e direcionada pra o cliente pode então tomar forma dentro da companhia.

REFERÊNCIAS

DALVIO FERRARI TUBINO. **Planejamento e controle da produção: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2009.

WEVOLVER. **GoPal 400**. Disponível em: <<https://www.wevolver.com/specs/gopal.400>>. Acesso em: 20 out. 2022.

MERCADO LASER. **DIFERENÇA ENTRE CORTE LASER DE FIBRA E LASER DE CO2**. Disponível em: <<https://www.mercadolaser.com.br/loja/noticia.php?loja=639418&id=6>>. Acesso em: 27 jul. 2022.

HANSEN, R.C. **Eficiência global dos equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para aumento dos lucros**. Editora Bookman, Porto Alegre, 2006.

HEDMAN, R.; SUBRAMANIYAN, M.; ALMSTRÖM, P. Analysis of critical factors for automatic measurement of OEE. **Procedia CIRP**, Gothenburg, v. 57, p. 128-133, 2016.

IDALBERTO CHIAVENATO. **Introdução a teoria geral da administração**. Rio De Janeiro (Rj): Elsevier, 2011.

IDALBERTO CHIAVENATO. **Planejamento e controle da produção**. Barueri: Manole, 2008.

LIKER, J. K. **The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer**. New York: Mcgraw-Hill, 2004.

MECALUX. **Transelevadores para paletes**. Disponível em: <<https://www.mecalux.com.br/armazens-automaticos-para-paletes/transelevadores>>. Acesso em: 27 jul. 2022.

MEGIOLARO, Marcello Rodrigo de Oliveira. **Indicadores de Manutenção Industrial Relacionados à Eficiência Global de Equipamentos**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2015.

MUNRO, R. A.; ZRYMIK, D. J.; GOVINDARAJAN RAMU. **The certified six sigma green belt handbook**. Milwaukee, Wis.: Asq Quality Press, 2015.

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

SHINGO, S. **O Sistema de Toyota de Produção**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1996.

SOUZA, Osmar Martins; MELO, José Joaquim Pereira; GOMES, Renan Willian Fernandes. Da Manufatura à Maquinaria Moderna: A Subsunção real do Trabalho ao Capital. **Revista Labor**. n 7, v.1, 2012.

OHNO, T.. **Toyota production system:** beyond large-scale production. London: Crc Press, 1988.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. **The machine that changed the world.** London Etc.: Simon & Schuster, 1990.