

# OTIMIZAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE ATIVOS A PARTIR DO INDICADOR DE OEE

## OPTIMIZATION OF ASSETS UTILIZATION BASED ON OEE INDICATOR

Lucas Silveira Santos\* E-mail: [silveirasantos.lucas@gmail.com](mailto:silveirasantos.lucas@gmail.com)

José Luis Duarte Ribeiro\* E-mail: [ribeiro@producao.ufrgs.br](mailto:ribeiro@producao.ufrgs.br)

\*Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

**Resumo:** Este estudo foi motivado pela necessidade de uma empresa adequar a sua capacidade produtiva ao cenário atual de demanda, fazendo melhor uso dos resultados do indicador de OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) nas tomadas de decisão. Trata-se de uma pesquisa-ação que utiliza dados reais de equipamentos para realizar análises de cenários, envolvendo programação não-linear, a fim de otimizar a utilização e priorizar máquinas a serem direcionados esforços de melhoria. Os resultados evidenciaram, em um cenário conservador de melhoria do OEE, a possibilidade de desativar quatro das treze máquinas que hoje operam, aumentando em doze por cento a utilização total média do setor.

**Palavras-chave:** utilização; eficiência; OEE; otimização; indústria siderúrgica.

**Abstract:** *This work was motivated by the need of a company adjust its productive capacity to the actual demand scenario, making a better use of the OEE results in their decision making process. It is a research-action based on equipment real data to carry out scenario analysis, involving non-linear programming, aiming to optimize utilization and to prioritize equipment to which improvement efforts must be driven. The results revealed for an OEE conservative improvement scenario the possibility of turning four equipment off out of thirteen that are actually working, increasing by twelve percent the utilization rate.*

**Key-words:** *utilization; efficiency; OEE; optimization; steel mill industry.*

### 1. Introdução

O mercado atual tem exigido que as empresas de manufatura disponibilizem seus produtos com qualidade, rapidez e menor custo (SILVA et.al., 2016). Nesse sentido, a disponibilidade e produtividade dos recursos produtivos são peças chaves para que as empresas consigam se manter competitivas (FLEISCHER, WEISMANN e NIGGESCHMIDT, 2006). Slack (2002) já destacava que os objetivos estratégicos e metas definidas pelas organizações somente são alcançados por meio de uma manufatura saudável, a qual prevê, dentre outros componentes, a adequada utilização dos ativos.

Em períodos de crise econômica, a maximização do uso dos recursos é ainda mais importante em função das restrições de investimento, o que obriga as empresas a promoverem melhorias para tornarem seus processos mais eficientes. Nesse contexto, é essencial que elas identifiquem, entendam e monitorem as condições que fazem com que as máquinas sejam menos eficientes, gerando subsídios para assegurar um bom embasamento das decisões gerenciais.

Uma das metodologias contemplada pelo Sistema Toyota de Produção que visa

maximizar a performance operacional dos equipamentos é o TPM (Total Productive Maintenance). Segundo Monteiro et al. (2012), as atividades de TPM se concentram na otimização do uso do ativo industrial, com envolvimento e motivação de equipes para identificação e combate de perdas, reduzindo custos de produção. Associado a outros métodos relacionados à produção enxuta, o TPM pode contribuir para o sucesso e sobrevivência de empresas e indústrias (PACHECO et al., 2012).

Como forma de medição e controle do aproveitamento da capacidade instalada sob uma abordagem abrangente, foi criado o indicador de Eficiência Global de Equipamentos (OEE) (NAKAJIMA, 1989; LJUNGBERG, 1998). Tal indicador pode trazer informações relevantes de cunho operacional e estratégico às organizações, viabilizando um diagnóstico do sistema produtivo e identificando equipamentos que devem receber foco dos esforços do TPM.

Apesar da metodologia TPM estar difundida em diversos segmentos industriais, muitas empresas ainda apresentam dificuldades para analisar as reais condições de utilização dos recursos (CHIARADIA, 2004), identificar suas perdas e focar ações na direção do aumento de eficiência. Muitas vezes, a limitação envolvendo a priorização das ações resulta no direcionamento dos esforços para perdas pouco significativas, acarretando a não obtenção dos resultados esperados (SLACK, 2002). Apesar do potencial apresentado pelo OEE na minimização dos problemas supracitados, muitas empresas não se beneficiam inteiramente do indicador, seja por não medirem com acurácia, não utilizarem os resultados nas decisões gerenciais ou não proverem as pessoas com ferramentas necessárias para identificação de melhorias.

Diante dos problemas apresentados, este artigo tem como objetivo propor uma análise gerencial acerca dos equipamentos de uma empresa siderúrgica a partir do indicador de OEE, de modo a otimizar e maximizar a utilização dos ativos disponíveis. Foi discutido como os resultados de OEE podem ser usados para tornar plantas industriais mais enxutas, ajustando a capacidade produtiva ao cenário atual de demanda, através da priorização das máquinas que necessitam de investimentos e ações de melhoria e aquelas que podem ser desativadas. Essa sistemática de análise pode contribuir, portanto, para maximizar os benefícios advindos do indicador, utilizando-o como elemento chave na tomada de decisão.

O panorama atual do setor siderúrgico brasileiro, que contempla a empresa foco deste estudo, justifica a escolha deste tema. Até o primeiro trimestre de 2016, já haviam sido registradas mais de 30 mil demissões, 74 unidades industriais paralisadas e quase 40% de capacidade ociosa. O consumo de aço vem sendo afetado pela queda da atividade industrial nos setores automotivo, de bens de capital e construção civil. Essa queda é o reflexo da crise política e econômica que atravessa o Brasil, da retração do Produto Interno Bruto, dos baixos investimentos e da forte competição internacional. Com a desaceleração da economia

chinesa, a demanda por aço em esfera global diminuiu, e a necessidade de exportações do país asiático cresceu, implicando o excesso de oferta e a diminuição dos preços (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016).

O contexto descrito pressiona as empresas a maximizarem o uso de seus ativos, a fim de manterem sua competitividade. Com restrições de investimento, a empresa em questão vem tentando ajustar a capacidade produtiva à demanda, melhorando sua eficiência. Apesar da métrica de OEE já estar consolidada na empresa, é necessário analisar o indicador de forma mais estruturada e fazer melhor uso dos resultados nas tomadas de decisão, permitindo a ela planejar melhor suas ações de longo prazo.

Este artigo está dividido em cinco seções. Esta primeira contempla a Introdução, apresentando o problema de pesquisa e os objetivos. Após, uma seção de Referencial Teórico discute os conceitos que embasam o estudo, como o TPM e o OEE. Em seguida, a seção 3 apresenta o método de trabalho empregado, enfatizando análises e coleta de dados. As seções 4 e 5 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos e as conclusões advindas do estudo.

## **2. Referencial Teórico**

Esta seção está organizada em 2 subseções. Na primeira o tema geral é apresentado, a partir de uma revisão de conceitos da literatura, e na segunda são discutidas aplicações realizadas por outros autores a respeito do tema.

### **2.1. Total Productive Maintenance (TPM)**

TPM é uma metodologia advinda do Lean Manufacturing que tem como objetivo o incremento da eficácia e da longevidade das máquinas por meio de um gerenciamento orientado ao equipamento (LJUNGBERG, 1980). Tal metodologia está baseada nos pilares de melhoria individual, manutenção autônoma e manutenção planejada (TAKAHASHI e OSADA, 2000). Hoje, empresas em todo o mundo utilizam-se das práticas do TPM para melhorar a capacidade dos seus equipamentos e atingir suas metas atuando sobre os desperdícios, o que inclui a restauração e manutenção de condições padrão de operação (SANTOS e SANTOS, 2007). Perceber atividades de manutenção como geradoras de ganhos financeiros, seja em função da prevenção de falhas ou do potencial incremento em disponibilidade, além promover a integração de todas as políticas de manutenção da empresa e a participação voluntária dos operadores, são algumas das características importantes das práticas envolvidas no TPM (NAKAJIMA, 1989).

Medir e acompanhar as atividades desempenhadas por uma empresa é imprescindível

nos dias de hoje. Kaplan e Norton (1997) já afirmavam que, se o desempenho não está sendo medido, ele não está sendo gerenciado. Em função disso, indicadores de performance são elaborados no intuito de auxiliar os tomadores de decisão a avaliar seus processos, demonstrando sob uma base de medida aquilo que está sendo feito, os problemas e as oportunidades de melhorias (FERNANDES, 2004). Dado o grande número de indicadores de desempenho disponíveis, Davis et.al. (2001) já destacavam que os gestores devem ser seletivos, priorizando aqueles que avaliam os processos chaves do negócio, tendo como base o setor de atuação da empresa.

Dentro do âmbito de manufatura, métodos de medição sustentáveis possibilitam as empresas alcançarem altos patamares de produção sem que incorram em altas despesas de capital em maquinário adicional e novas tecnologias (AHMAD e DHAFR, 2002). A adoção de um sistema de avaliação e medição de eficiência consistente possibilita às empresas o conhecimento da “fábrica escondida” que existe dentro de si. Hansen (2006) utiliza esse termo para designar o potencial da capacidade de produção instalada em uma planta que não é utilizada devido à baixa eficiência no uso dos ativos disponíveis. A eficiência, neste contexto, está relacionada à redução ou eliminação das atividades que não agregam valor ao produto e que, portanto, são geradoras de custos.

## **2.2. Overall Equipment Effectiveness (OEE)**

Em um cenário globalizado e dinâmico no qual as empresas estão inseridas, a utilização de um conjunto de medidas de monitoramento do desempenho estruturado torna-se uma das principais estratégias para a otimização das operações (TAYLOR apud SOUSA, 2014). Uma das métricas utilizadas para acompanhar o resultado de eficiência de equipamentos e medir as melhorias advindas do TPM é o indicador OEE. Considerando a sua função de controle e monitoramento, o OEE permite verificar se os equipamentos permanecem em condições ideais de funcionamento, tornando visíveis perdas que implicam a baixa utilização (GARZA-REYES et. al., 2010).

Um importante objetivo de se medir o OEE é tornar o equipamento gargalo, ou seja, aquele que limita a produção de um sistema produtivo, mais eficiente (MATHUR et.al., 2011). De forma geral, o OEE é o produto de três fatores, sendo eles a disponibilidade, que mede o tempo em que a máquina está disponível para produzir desconsiderando as paradas programadas, o desempenho, que evidencia discrepâncias entre a velocidade de projeto e a velocidade real da máquina, e a qualidade, que considera a geração de produtos defeituosos frente à produção total (VENKATESH, 2007). Associado a estes três fatores, 6 perdas podem ser evidenciadas, conforme mostra a Figura 1.

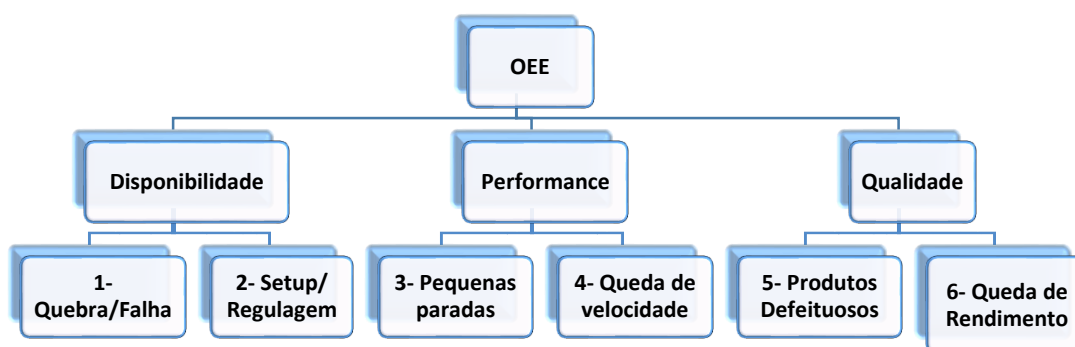
De acordo com Nakajima (1989), um dos primeiros autores a explicitar perdas

relacionadas à manutenção em sistemas produtivos, há seis tipos de perdas que interferem no desempenho dos equipamentos como um todo. Estas perdas são:

- 1) Perdas por Quebra/Falha: indisponibilidade do equipamento por algum motivo, como manutenção corretiva, falta de energia, falta de material, falta de operador e ausência de ferramentas.
- 2) Paradas por setup/regulagens: relacionadas a trocas de produtos, mudanças de linha e regulagens das máquinas;
- 3) Ociosidade e pequenas paradas: caracterizadas por rápidas interrupções nos ciclos dos equipamentos em pequenos intervalos de tempo.
- 4) Oscilações de velocidade: Ocorrem quando o equipamento opera com velocidade menor do que a velocidade de projeto, aumentando o tempo de ciclo. São decorrentes de problemas operacionais, de processo ou de manutenção.
- 5) Perdas por problemas de qualidade: relativas à geração de produtos não conforme;
- 6) Perdas por queda de rendimento (startup): relacionadas a restrições técnicas dos equipamentos, que necessitam de um período para estabilização das suas condições após períodos sem produção.

Serra et al. (2010) afirmam não existir obrigatoriedade em se utilizar ou explicitar as seis perdas de Nakajima, conceituadas na Figura 1. É interessante que as empresas desenvolvam a sua própria classificação de paradas, desdobrando os motivos que melhor retratem as suas intervenções. Dessa forma, o OEE conseguirá representar fidedignamente a realidade do seu processo.

**Figura 1** - Estratificação dos fatores de OEE



**Fonte:** Chiaradia (2004)

Para a eliminação das seis grandes perdas, podem ser utilizados métodos, técnicas e ferramentas de gestão e controle da qualidade. Uma abordagem de melhoria utilizada para aumentar o OEE é a do ciclo de Deming, que contempla as etapas de planejamento, monitoramento, análise e diagnóstico, reação, correlação e benchmarking (IANONNE e NENNI, 2013). Cabe destacar que a condução das etapas de “monitoramento” e de

“diagnóstico e análises” podem ser diferentes dependendo do tipo de empresa. Aquelas em que a tomada de decisão em tempo real é crítica exigem monitoramento contínuo, através de sistemas de coleta automáticos, para identificar os problemas e promover ações corretivas imediatamente. Isso ocorre geralmente para monitorar a eficiência de processos contínuos. Mesmo nessas empresas, análises em horizontes maiores também são importantes.

Outro método utilizado em análises de problemas relacionado com o OEE é o MASP (Método de Análise e Solução de Problemas). A utilização deste método para a busca da causa fundamental dos problemas, em conjunto com ferramentas como folhas de verificação, diagrama de causa-efeito, cartas de controle e técnicas estatísticas, possibilitou a evolução do OEE de 55,2 para 63,4% em uma empresa do ramo eletro-eletrônico (GEREMIA, 2001). Benjamin, Marathamuthu e Murugaiah (2015), por sua vez, utilizaram a análise dos cinco porquês para atacar perdas de velocidade, demonstrando que a utilização da metodologia vai além do seu uso tradicional, comumente empregado em investigações de perdas relacionadas com qualidade e disponibilidade. A eliminação da perda oriunda de velocidades reduzidas resultou em uma economia de 32.811,5 dólares à empresa em estudo.

Santos e Santos (2007) afirmam que empresas que aplicam o sistema de medição do OEE e implementam efetivamente as ações necessárias para melhorar a eficácia dos equipamentos podem obter rapidamente um aumento do OEE da ordem dos 5 a 20 pontos percentuais no prazo de um ano. Segundo Ahmad e Dhafir (2002), uma boa medição possibilita, ainda, priorizar projetos com maiores e mais rápidos retornos, além de permitir acompanhar os resultados advindos desses investimentos. Algumas ações que podem ser usadas envolvem treinamento de operadores, promoção de melhorias técnicas nos equipamentos gargalos, ajuste da programação da produção e redesign de produtos.

Pesquisas de percepção relativas à implementação do indicador de OEE, conduzidas por Chiaradia (2004) junto a gestores e líderes de produção, mostraram que a análise crítica dos dados e resultados disponíveis do OEE, além da participação de equipes de melhoria, são fundamentais para o incremento da eficiência. Santos e Santos (2007) afirmam, nesse sentido, que o OEE quando analisado criticamente pode servir como subsídio para quatro análises importantes: planejamento da capacidade, controle do processo, melhoria do processo e cálculo dos custos associados às perdas produtivas.

Relativamente ao processo de implementação da métrica do OEE, Oliveira et.al. (2012) propõem a utilização do indicador como forma de controle do processo em tempo real, por meio de planilhas eletrônicas e também por um quadro de acompanhamento visual na célula produtiva implantada. O estudo realizado por esses autores mostrou que o forte engajamento da operação, sendo eles próprios os responsáveis pelo preenchimento, juntamente com a realização de eventos Kaizen e sessões de Brainstorming, resultou em uma melhoria de aproximadamente 20% no OEE em seis meses.

Iannone e Nenni (2013) apresentam um estudo de caso referente à necessidade da divisão de uma empresa aumentar a sua produção utilizando melhor a capacidade instalada sem realizar altos investimentos. Através do rastreamento dos fatores que compunham o OEE, aliado à busca pelas causas raízes das falhas e à prática de manutenção preditiva e preventiva, a divisão em estudo conseguiu aumentar em 21% a sua produção. No mesmo estudo, foram destacados alguns fatores de sucesso no uso do OEE como direcionador de melhorias, tais como: priorização de ações diárias por meio de reuniões de follow-up entre operação e liderança; visualização gráfica das melhorias do OEE e de produção, como forma de motivação e engajamento; foco da gerência nos resultados de processo, como estabilidade e eficiência; envolvimento das áreas de apoio como fatores chave para aumentar o OEE e acelerar as mudanças.

Serra et. al. (2010) utilizaram os resultados de OEE para realizar uma análise envolvendo alocação da produção de condutores elétricos de alumínio em cinco máquinas de trefilação. O fator disponibilidade se mostrou o mais significativo, demonstrando que setup e quebras eram os principais limitantes da capacidade do parque. Além disso, os resultados demonstraram ociosidade de algumas máquinas, como também extrapolação de capacidade para outras, evidenciando desbalanceamento das horas-máquina alocadas. O estudo mostrou, assim, que uma análise envolvendo OEE pode servir como subsídio para decisões relacionadas ao planejamento e controle da produção, como balanceamento das células produtivas e realocação de produção nos equipamentos, por meio de abordagens sistêmicas das perdas produtivas, transformadas em horas-máquina e suas significâncias.

Algumas limitações do indicador de OEE devem ser consideradas pelas empresas que o utilizam. Lesshamar (1999) afirma que o indicador não possibilita a comparação de diferentes processos e empresas, uma vez que as condições de manufatura e as técnicas de coleta de dados podem diferir entre si. Nesse sentido, segundo Högfeltdt (2005), o OEE torna-se útil a nível de comparação apenas em análises internas de um mesmo processo ou então quando a evolução de seu comportamento é utilizada como forma de comparação de diferentes setores ou processos Högfeltdt (2005) destacou, ainda, que o OEE carece de contribuição para melhoria de outras dimensões importantes no contexto de manufatura, como fluxo produtivo e eficiência externa, devendo, pois, ser utilizado em complemento com outros medidores e ferramentas que englobem tais dimensões.

### **3. Metodologia**

Esta seção envolve a descrição dos procedimentos metodológicos adotados. A seção 3.1 descreve o cenário da empresa, a seção 3.2, o método de pesquisa, e a seção 3.3, as etapas que compõem o método de trabalho.

### 3.1. Descrição do Cenário

O estudo foi realizado em uma empresa siderúrgica que possui operações em quatorze países e em diversos estados do Brasil. A unidade específica na qual o trabalho foi conduzido possui uma ampla gama de produtos que atendem à construção civil, à indústria metal-mecânica e à agropecuária. Tais produtos podem ser agrupados em quatro linhas principais: barras e perfis, produtos para construção civil, arames trefilados e pregos. A usina em questão é do tipo semi-integrada, uma vez que o aço produzido advém da sucata de ferro, processada em fornos elétricos. As áreas produtivas da empresa são: Aciaria, Laminação, Trefilaria e Fábrica de Pregos.

A aciaria é a área responsável pela transformação da sucata de ferro em aço. A área é composta pelas seguintes células: pátio de sucatas, que recebe, movimenta, estoca e processa a carga metálica; Forno Elétrico a Arco, que realiza a fusão; Forno Panela, que é responsável pelo ajuste da composição química; e Lingotamento Contínuo, no qual ocorre a solidificação em forma de tarugos.

A laminação é um processo a quente utilizado para conformar mecanicamente o tarugo proveniente da aciaria. Os produtos dessa área são o fio-máquina e longos acabados, como barras, perfis e vergalhões.

Já a trefilaria, que é a área explorada neste estudo, realiza a redução da seção do fio-máquina produzido pela laminação em um processo a frio, por meio de fieiras e microcassetes. Após trefilar o arame, ele poderá ser empregado como matéria prima nos processos internos de Galvanização, Recozimento, Farparia e Fábrica de Pregos, ou ir diretamente a clientes externos.

A Fábrica de Pregos recebe o arame trefilado e o processa em máquinas de corte, transformando-o em pregos rapidamente, em tambores de polimento, responsáveis pela extração da limalha do processo de corte, e em máquinas de empacotar, que colocam os pregos em pacotes de 1kg para então serem encaixotados e colocados em pallets.

Existem diversas áreas de apoio que suportam as áreas produtivas, como, por exemplo: manutenção, laboratórios de ensaios, logística, setor de tecnologia de processos e produtos, entre outros. Essas áreas estão em constante interação com as operacionais para que o processo como um todo funcione bem.

Relativamente às informações das áreas produtivas da empresa, essas são geradas e armazenadas em sistemas informatizados, alocados em um servidor interno, o qual interage com os equipamentos que possuem uma IHM (Interface Homem-Máquina) instalada, como é o caso das máquinas de trefila. Esses supervisórios recebem, portanto, as informações dos ambientes de produção e abastecem o sistema integrado de gestão (ERP – Enterprise Resource Planning), permitindo um bom gerenciamento dos recursos.



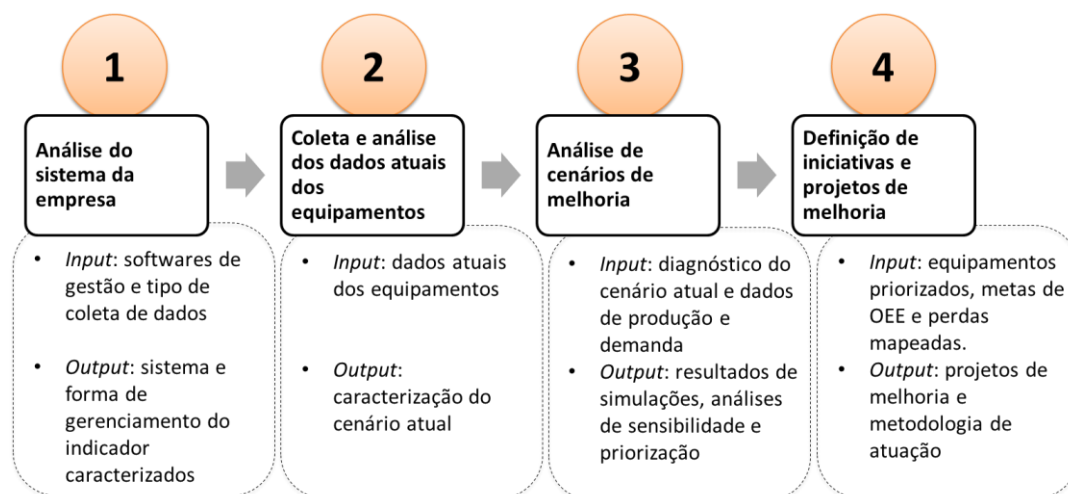
### 3.2. Caracterização do Método de Pesquisa

Com relação aos procedimentos técnicos utilizados, conforme Gil (2002), a pesquisa é de natureza aplicada, uma vez que seus resultados irão ajudar as empresas a fazer melhor uso do indicador de OEE, passível de utilização imediata. Quanto à abordagem, trata-se de uma pesquisa quantitativa, já que as etapas metodológicas envolvem a coleta e tratamento de dados numéricos, que servirão de entrada para as análises que serão feitas e, conseqüentemente, para a tomada de decisão. Com relação aos objetivos e aos procedimentos, é possível classificá-la, respectivamente, como explicativa, dado que a pesquisa seguirá uma sequência estruturada de etapas e visará estabelecer e analisar relações de causa-efeito, e como uma pesquisa-ação, pois o desenvolvimento do trabalho depende do envolvimento ativo do pesquisador em colaboração com pessoas da empresa que lidam com os processos explorados.

### 3.3. Caracterização do Método de Trabalho

Para possibilitar o alcance dos objetivos do estudo, este está estruturado em quatro etapas, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Etapas do método de trabalho



Fonte: autores (2017)

Primeiramente foi caracterizado o sistema utilizado pela empresa para gerenciar os dados de produção do setor da trefilaria. Além disso, foi observado o modo como o OEE é alimentado e calculado nesse setor. Após essa caracterização, foi realizada uma coleta dos

seguintes dados para detalhar o cenário atual dos equipamentos:

- a. Valores de OEE desmembrado em cada um dos seus componentes, para avaliar a eficiência produtiva das máquinas;
- b. Regimes de turno adotado para a operação de cada equipamento, para calcular os tempos disponíveis de operação e de programação;
- c. Capacidade produtiva das máquinas para cada um dos itens passíveis de serem produzidos nas mesmas;
- d. O perfil de perdas da área produtiva, que se refere aos problemas mais significativos que prejudicam a eficiência dos equipamentos.
- e. Demanda mensal dos produtos do setor em questão;

Com essas informações foi possível fazer um diagnóstico da área produtiva como um todo. Após, foi realizada uma análise de cenários envolvendo programação não-linear, com auxílio da ferramenta Solver, do software Microsoft Excel, para priorizar as máquinas a serem direcionados esforços de melhoria e otimizar a utilização dos ativos. O objetivo desta análise foi avaliar a possibilidade de tornar o parque industrial da empresa mais enxuto, desativando máquinas ociosas e realocando a produção dessas para outros equipamentos mais eficientes, aumentando, assim, a utilização total do setor. Para possibilitar esse rearranjo, foram simulados diferentes percentuais de melhoria do OEE das máquinas e analisado o impacto dessas melhorias na configuração do sistema, através de análises de sensibilidade.

De posse da análise de cenários, foi definido e discutido qual dos percentuais de melhoria do OEE seria mais interessante a ser estudado e implementado pela empresa. Essa definição desencadeou a priorização dos equipamentos a serem dirigidas as melhorias, sendo elencadas ações, baseadas nas iniciativas do TPM e em ferramentas de produção enxuta, que promovessem evolução dos fatores de OEE e, conseqüentemente, o alcance das metas traçadas. Ademais, foram sugeridas metodologias para cada um dos projetos propostos.

## **4. Resultados**

A metodologia descrita na seção 3 fundamentou a estratégia necessária para o alcance dos objetivos. Os resultados obtidos e as análises realizadas são apresentados nas próximas seções.

### **4.1. Sistemática de Cálculo e Coleta de Dados**

No setor da trefilaria, a ligação entre o planejamento e a produção é estabelecido pelo Sistema MES (Manufacturing Execution System). Este sistema gera diferentes tipos de informações em tempo real, como dados de produção, paradas e estoques. Um dos relatórios

gerados é o de OEE. Para a construção e manutenção deste indicador, há um cadastro completo de cada um dos produtos da empresa, constando suas especificações técnicas e a capacidade teórica das máquinas a eles associadas, além de uma árvore de paradas, na qual estão mapeados todos os possíveis motivos de intervenção no processo para os operadores apontarem no momento de uma parada.

De posse do supervisão MES, os supervisores analisam os dados de OEE e produção a cada início de turno, a fim de enxergarem as principais ocorrências do turno anterior antes de saírem para o Gemba (chão de fábrica). Essa análise prévia permite que eles priorizem as máquinas durante sua rota diária, direcionando recursos aos locais críticos.

## 4.2. Cenário Atual dos Equipamentos

Após caracterizar a forma de gerenciamento do OEE, foi realizado um levantamento de dados junto ao setor da Trefilaria. Foram analisados os materiais trefilados com maior representatividade em termos de volume de produção e as máquinas onde eles poderiam ser produzidos. A Tabela 1 mostra o cenário atual dos equipamentos, com os valores de OEE e tempos disponíveis. A fim de garantir o sigilo das informações, alguns dados, como os de demanda, foram alterados.

**Tabela 1** - Cenário atual dos equipamentos

Parâmetros	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
<b>Tempo Disponível Total (h)</b>	620	620	620	620	420	620	177	420	420	421	620	620	620
<b>OEE (%)</b>	74%	55%	59%	60%	46%	73%	58%	45%	54%	53%	49%	74%	72%
<b>Tempo Disponível para Programar (h)</b>	456	339	363	371	193	451	103	191	226	223	302	460	445
<b>Tempo de Perda (h)</b>	164	281	257	249	227	169	74	230	194	198	318	160	175

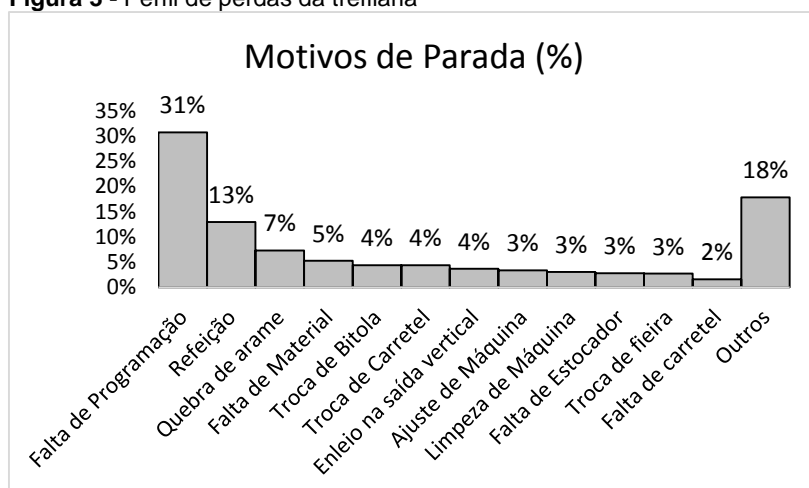
Fonte: autores (2017)

No cenário atual, todas as máquinas recebem ordens de produção, porém cada uma adota um regime de turnos específico, visando a reduzir a ociosidade, o que acaba provocando diferenças nos tempos disponíveis totais de produção. Existem restrições quanto à programação da produção, tanto em função das perdas e ineficiências das máquinas, devido ao baixo OEE, que resulta em uma eficiência média de 59% no setor, quanto em função da baixa demanda. Por conta disso, a utilização dos equipamentos acaba sendo baixa, o que motiva repensar os parâmetros atuais de eficiência, atuando sobre as perdas por disponibilidade e desempenho prioritariamente. Além disso, como a utilização está baixa, surge o questionamento se é necessário que todas as máquinas estejam trabalhando para

atender a atual demanda. Tal análise pode ser feita analisando em quanto se deve melhorar a eficiência dos equipamentos de modo a carregar mais algumas máquinas e, potencialmente, desligar as que podem ter suas produções supridas por outro equipamento, elevando, dessa maneira, a utilização média do setor.

Para se obter um panorama geral das perdas associadas aos equipamentos estudados, foi elaborado o perfil de perdas da área produtiva, apresentado na Figura 3. Essa figura evidencia os principais motivos de parada em valores percentuais, que acarretam a baixa eficiência global. Pode ser observado que há muitos apontamentos de horas paradas por falta de programação, ratificando a baixa utilização dos equipamentos, como também perdas por quebra de material, troca de bitola (setup) e troca de carretel, que juntos somam 60% das paradas. O apontamento “Outros” se refere uma série de outros motivos englobados na árvore de paradas do setor, como recusa à tarefa de risco, parada para reunião e falta de sabão.

**Figura 3** - Perfil de perdas da trefilaria



Fonte: autores (2017)

### 4.3. Análise de Cenários de Melhoria

De posse da análise geral realizada, que evidenciou a baixa utilização dos ativos e as oportunidades de melhorar as condições de funcionamento dos equipamentos, surge a necessidade de priorizar quais equipamentos devem ser direcionados esforços de melhoria e em quanto eles devem ser melhorados. Essa análise é importante para evitar investimentos em equipamentos que não precisam ampliar a produção em detrimento daqueles que são essenciais. A fim de saber quais devem ter sua eficiência otimizada e aqueles que potencialmente poderão ser desativados, foi realizada uma análise de cenários envolvendo programação não linear com auxílio do Solver.

Tal etapa tem por objetivo maximizar a utilização total dos equipamentos, alocando horas de programação de produção para cada uma das máquinas observando as seguintes restrições de: i) atendimento da demanda de cada um dos produtos e ii) observância das horas disponíveis para programação de cada equipamento. Para tanto, foram utilizadas duas matrizes: a primeira, apresentada na Figura 4, contempla as capacidades produtivas das máquinas para cada produto, cujos valores estão em Kg/h. Uma segunda matriz (Figura 5), de mesma dimensão da primeira, foi construída para contemplar as células variáveis do problema (grifadas na matriz), que correspondem à quantidade de horas de produção alocadas em cada um dos equipamentos, cujo preenchimento ocorre assim que o Solver finaliza o processo para encontrar a solução ótima do problema. A hachura nas células da matriz indica em quais máquinas os produtos podem, potencialmente, ser produzidos, permitindo a alocação de horas de programação. Na parte inferior da segunda matriz há uma linha contendo o somatório das horas alocadas pelo Solver, que deve ser inferior aos valores da linha superior da matriz, no sentido das horas alocadas de produção de cada máquina respeitar as horas disponíveis para programar as mesmas. A multiplicação das duas matrizes deve atender a demanda média mensal de cada um dos itens, que é mostrada na última coluna da matriz da Figura 5.

**Figura 4 - Matriz de capacidades produtivas (Kg/h)**

Produtos	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
P1		1594				797						1594	797
P2		1100				1200	1050						
P3		1296				918						1296	655
P4	1292	1715				1820	1029	993	1250	1372	1187	1715	
P5		1100				1200	1050	1050					700
P6	1524	1524	722	1091	1016	1118	1010	1163		1220	813	1524	915
P7	1026	1414			1056	1118	915			1220	821	1220	610
P8	768	1260	461	921	400								
P9	1000	1000			1213	1691	1031	987	1128	1409			
P10	747	1208	690	702	690	690							
P11	634		674	634									
P12	739	1250	682	682									
P13	848	1523	684	761									
P14	852		768	772									
P15		787										340	436

Fonte: autores (2017)

**Figura 5 - Matriz de horas de programação alocadas via Solver**

Tempo disponível para programar														
Produtos	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	Demanda (kg)
P1														578.490
P2														279.937
P3														258.448
P4														175.362
P5														173.214
P6														113.720
P7														108.701
P8														96.706
P9														95.639
P10														89.312
P11														87.096
P12														83.995
P13														77.573
P14														75.615
P15														75.368
Somatório de horas alocadas via Solver														

Fonte: autores (2017)

Por fim, a função objetivo foi elaborada de forma a premiar máquinas com carregamento máximo, alocando horas de programação tão próximas quanto possível das horas disponíveis para programar, e máquinas com carregamento zero. Buscou-se, assim, maximizar o número de máquinas cheias e o número de máquinas desativadas, aumentando, pois, o carregamento total do setor produtivo. A Equação 1 apresenta a função objetivo, onde  $Md$  é o número de máquinas desligadas,  $r$  é o número de máquinas com utilização maior que zero,  $Ci$  se refere ao carregamento do equipamento  $i$ , calculado de acordo com a Equação 2, onde  $HPI$  são as horas de programação alocadas via Solver para o equipamento  $i$  e  $TDPi$  é o tempo disponível para programar do equipamento  $i$ .

$$MaxZ = Md + \sum_{i=1}^r Ci \quad (1)$$

$$Ci = \frac{HPI}{TDPi} \quad (2)$$

Após a construção do problema, foram simulados, através do Solver, cenários para avaliar o impacto que diferentes níveis de melhoria dos indicadores de OEE das máquinas tem sobre a configuração atual do setor. À medida que o OEE melhora, o tempo disponível para programar de cada equipamento aumenta. O cálculo do OEE com melhoria ( $OEE_m$ ) é representado pela Equação 3, onde  $Im$  é o índice de melhoria, que varia de 1 a 0, sendo 1 a manutenção do OEE atual, e 0, quando o OEE passa a ser 100%.

$$OEE_m = OEE^{lm}$$

(3)

Para facilitar, as melhorias são tratadas em termos percentuais ao longo do trabalho, ou seja, um índice de melhoria de 0,9, por exemplo, será tratado como 10% de melhoria do OEE. Adotando esse raciocínio, foram realizadas simulações desde um cenário no qual nenhuma melhoria de eficiência é adotada (0% de melhoria), até o cenário no qual todos os equipamentos possuem OEE 100%. A Tabela 2 apresenta os resultados destas simulações, colocando em evidência as utilizações parciais dos ativos, essas advindas da razão entre a as horas de programação alocadas pelo Solver e o tempo disponível total dos equipamentos. Os campos grifados da tabela se referem a máquina que podem ser desativadas e aquelas que tem 100% de utilização.

**Tabela 2 - Utilizações frente às melhorias de OEE**

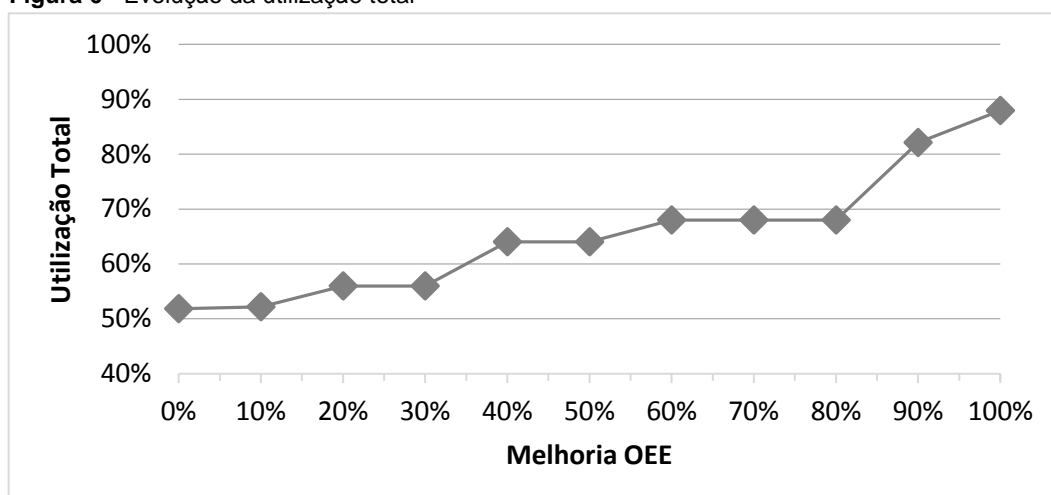
Melhoria do OEE	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	Utilização Total
<b>0%</b>	0%	43%	59%	45%	46%	73%	58%	45%	49%	0%	44%	36%	72%	52%
<b>10%</b>	0%	40%	62%	40%	50%	75%	61%	49%	46%	0%	44%	36%	74%	52%
<b>20%</b>	0%	52%	65%	34%	54%	77%	65%	53%	43%	0%	0%	26%	77%	56%
<b>30%</b>	0%	58%	69%	28%	58%	80%	68%	57%	39%	0%	0%	36%	79%	56%
<b>40%</b>	0%	51%	59%	18%	35%	69%	17%	22%	0%	0%	0%	52%	68%	64%
<b>50%</b>	0%	68%	77%	39%	68%	85%	76%	67%	0%	0%	0%	36%	85%	64%
<b>60%</b>	0%	79%	77%	45%	0%	87%	0%	39%	0%	0%	0%	62%	72%	68%
<b>70%</b>	0%	75%	86%	45%	0%	87%	0%	39%	0%	0%	0%	62%	72%	68%
<b>80%</b>	0%	75%	86%	45%	0%	87%	0%	39%	0%	0%	0%	62%	72%	68%
<b>90%</b>	0%	54%	95%	0%	0%	97%	0%	92%	0%	0%	0%	62%	96%	82%
<b>100%</b>	0%	88%	96%	0%	0%	94%	0%	0%	0%	0%	0%	62%	100%	88%

Fonte: autores (2017)

Já na primeira rodada de simulação, duas máquinas puderam ser desativadas. A partir de 20% de melhoria do OEE, outras máquinas deixam de ser necessárias, tendo sua produção suprida pelo avanço de eficiência das demais.

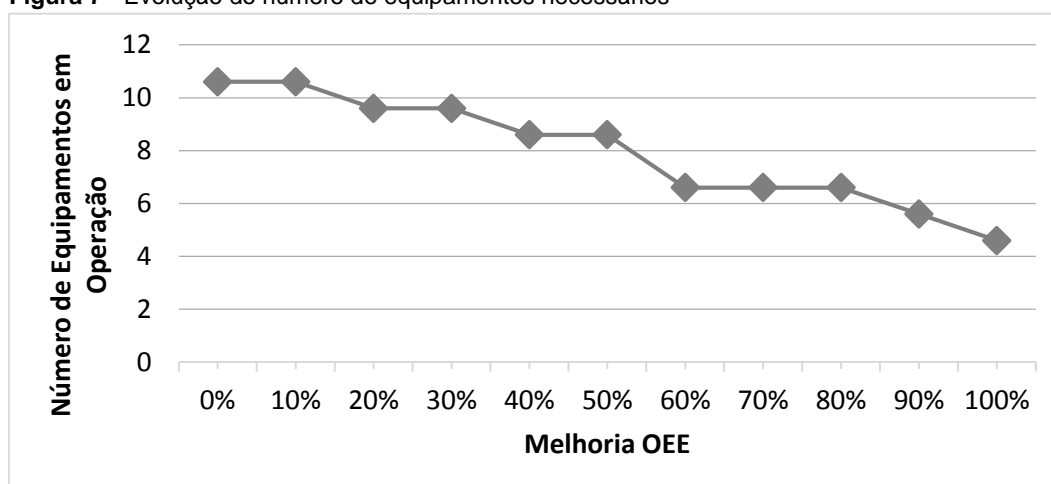
A evolução da utilização total do setor produtivo em análise frente aos níveis de melhoria do OEE é apresentada na Figura 6, enquanto a evolução do número de equipamentos que potencialmente poderiam ser desligados a partir dessas melhorias é apresentada na Figura 7. Estes dois gráficos fornecem informações importantes ao tomador de decisão, dando a ele condições de escolher o nível de melhoria desejado considerando a recompensa em relação ao número de equipamentos que poderão ser desativados, reduzindo, assim, o custo operacional.

**Figura 6 - Evolução da utilização total**



Fonte: autores (2017)

**Figura 7 - Evolução do número de equipamentos necessários**



Fonte: autores (2017)

Analisando os gráficos, é possível observar três faixas principais de utilização: aquela em que a utilização total é de 56%, compreendida por melhorias na ordem de 20 a 30% que resultam na desativação de três máquinas, em comparação às treze atualmente em operação; a segunda em que a utilização atinge 64%, compreendendo melhorias no OEE entre 40 e 50% e que demanda a operação de nove máquinas; e a terceira na qual tem-se apenas sete equipamentos em operação e uma utilização de 68% a partir de melhorias na faixa de 60 a 80% no indicador. No cenário em que todos os equipamentos tem OEE 100%, tem-se apenas 5 equipamentos em operação, associado a um patamar de 88% de utilização.

As faixas descritas anteriormente permitem balizar a decisão de quanto a empresa está disposta em investir para melhorar a sua eficiência. Para fins de estudo, um patamar interessante de se almejar é o de melhoria de 40% nos valores de OEE das máquinas, dada a quantidade interessante de equipamentos que potencialmente podem ser desligados. Esse nível de melhoria não requer grandes investimentos para ser atingido, o nível de utilização



total resultante (64%) é substancialmente superior à condição atual e, ainda, possibilita uma folga para o sistema, caso a demanda venha a aumentar. De posse dessa definição, ficam definidos os equipamentos onde devem ser concentrados os esforços de melhoria e em quanto o OEE deverá melhorar.

#### 4.4. Discussão de Melhorias

Para os equipamentos que continuaram em operação no cenário de 40% de melhoria do OEE, é importante analisar os resultados da simulação envolvendo esse cenário. A Tabela 3 apresenta esses resultados.

**Tabela 3** - Tempo disponível para programar x horas alocadas (Solver)

<b>Tempos Disponíveis para programar (h)</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M7</b>	<b>M8</b>	<b>M12</b>	<b>M13</b>
<b>Atual</b>	339	363	371	193	451	103	191	460	445
<b>Cenário 40%</b>	432	450	456	264	512	128	261	519	508
<b>Horas Alocadas de Programação (Solver)</b>	381	443	137	264	512	128	165	385	508

Fonte: autores (2017)

Pode-se observar que, para os equipamentos M4, M8 e M12, as horas alocadas de produção são inferiores às horas disponíveis para programar do cenário atual, onde nenhuma melhoria é adotada. Consequentemente, deve-se priorizar os outros equipamentos para incorporar melhorias que garantam o atingimento de 40% de evolução do indicador. Adotando essa estratégia, o sistema passa a apresentar uma folga menor de horas disponíveis para programar, mas a utilização total do setor não é alterada.

A partir do raciocínio explicitado, os indicadores de eficiência das máquinas priorizadas foram desmembrados em cada um dos fatores, para analisar onde havia maiores oportunidades.

**Tabela 4** - OEE atual desmembrado e OEE meta

<b>Equipamento</b>	<b>Disponibilidade Atual</b>	<b>Qualidade Atual</b>	<b>Desempenho Atual</b>	<b>OEE Atual</b>	<b>OEE Meta</b>
<b>M2</b>	63%	100%	87%	55%	70%
<b>M3</b>	62%	100%	94%	59%	73%
<b>M5</b>	53%	99%	88%	46%	63%
<b>M6</b>	83%	99%	88%	73%	83%
<b>M7</b>	62%	100%	94%	58%	72%
<b>M13</b>	77%	98%	95%	72%	82%

Fonte: autores (2017)

De maneira geral, o principal fator a ser atacado é a Disponibilidade. A fim de alcançar as metas de OEE definidas, foi necessário analisar o perfil de paradas de cada máquina, utilizando gráficos similares ao que foi apresentado anteriormente na Figura 3, e elencar iniciativas que combatessem os motivos de parada mais significativos.

O fator desempenho, como mostra a Tabela 4, é um ponto de atenção para a máquina M2, onde há oportunidades de aumento de velocidade, a fim de se alcançar ou chegar próximo da sua velocidade de projeto. Em função da velocidade de trefilação ter efeito sobre diversas partes do processo, como, por exemplo, sobre a decapagem mecânica, podendo ocasionar problemas (como quebras de arame) quando o equipamento não apresenta condições para suportar esse aumento de velocidade, deve ser feita uma investigação mais aprofundada, usando o ciclo de Deming, sobre as restrições que estão impedindo que a máquina opere em sua velocidade de projeto para, então, serem implementadas as melhorias que eliminem essas restrições.

Para os equipamentos M2 e M13, analisando os respectivos perfis de paradas, observa-se que a principal perda em disponibilidade se dá em função da falta de carretel. O carretel é um cilindro no qual o arame se acumula após o processo de trefilação destas duas máquinas. Pelo fato do mesmo carretel ser empregado também em outros processos (tanto internos quanto externos), este recurso acaba faltando em determinados momentos, não existindo um fluxo lógico de utilização do mesmo. Para tanto, é necessário realizar um mapeamento do fluxo de carretéis da empresa, dimensionar a quantidade necessária, comparar com a quantidade existente, verificando se a aquisição de novos é necessária, e padronizar um fluxo ótimo para este recurso, além de atuar sobre problemas que acabam travando o fluxo dos carretéis, como, por exemplo, o desbalanceamento de estoques. Recomenda-se, nesse caso, uma semana Kaizen como metodologia de atuação. Outra solução, cuja aplicação exige esforço e investimento superior (CAPEX – despesa de capital), mas que certamente elimina este problema, é usar carretel colapsível ao invés do tradicional. Desta maneira, os rolos de arames saem das máquinas apenas cintados e não mais acumulados nos carretéis, eliminando a necessidade de movimentação do carretel entre os processos.

A máquina M13 também possui outra perda significativa associada ao fator disponibilidade que é a parada para troca de carretel. Essa atividade é realizada toda vez que ela enche um carretel com arame, o que exige a substituição do carretel cheio por um vazio na máquina. Analogamente, a máquina M7 fica muito tempo parada em função de troca de bitola, que se refere a atividades de câmbio entre produções de itens distintos. Ambas as perdas devem ser atacadas por meio de projetos envolvendo Troca Rápida de Ferramentas (TRF), utilizando a metodologia SMED (Single Minute Exchange of Die).

As máquinas M3 e M5 são as que apresentam os piores indicadores de

disponibilidade. Elas sofrem com problemas crônicos de quebra de arames, principalmente por trabalharem com arames mais finos. A quebra do arame ocorre majoritariamente no ponto de solda, na etapa de decapagem mecânica, na qual a carepa é retirada do fio máquina. É necessário proporcionar aos colaboradores treinamentos práticos com especialistas para evitar que haja tanta variação de qualidade de solda de um colaborador para outro. A falta de material para a máquina M3, juntamente com a parada por quebra de arame, também é significativa em seu perfil de paradas. As principais razões deste tipo de parada são a baixa capacidade da central de solda, que acarreta baixos níveis de atendimento de demanda de fio máquina soldado do processo de trefilação, e os problemas constantes na ponte rolante. Deve-se considerar, pois, a possibilidade de aumentar o número de operadores na central de solda ou promover a realocação de mão de obra em alguma parte do turno para aumentar a capacidade desse setor. Ademais, a ponte rolante deve ser prioritária nos esforços de manutenção, tanto preventivos quanto corretivos, dada sua importância para o processo.

A gestão de horários de refeição e a troca de turnos também acarretam perdas em disponibilidade dos equipamentos. Para a máquina M5, o tempo de parada associado à troca de turno apresenta grande impacto no indicador. Nesse caso, o horário das turmas deve ser pensado de forma que haja uma rápida sobreposição das jornadas de trabalho, de forma que o equipamento não precise ser desligado até que a outra turma chegue para trabalhar. Para a parada por refeição, que é a segunda principal parada da área produtiva, como mostrado anteriormente na Figura 3, deve ser feito um rodízio, no intuito de evitar que todos os operadores saiam para almoçar ao mesmo tempo. Em ambos casos, sugere-se a utilização de um plano de melhorias para atacar os problemas.

Por fim, a máquina M6, apesar de apresentar o segundo melhor OEE do setor, ainda pode evoluir em disponibilidade, eliminando enleios de arames na saída vertical. Esse problema ocorre em função de enosamentos das espiras de fio máquina. Deve ser investigada, por meio do MASP, uma forma da espira ficar melhor disposta, facilitando o processo de solda, minimizando a ocorrência dos enleios na trefilação e possibilitando a máquina operar em velocidades maiores, o que promoverá, também, o aumento do desempenho.

O Quadro 1 apresenta um resumo de todas as melhorias que foram discutidas. Foram destacadas as principais perdas, as iniciativas para alcançar as metas de OEE estabelecidas e as metodologias de atuação.

**Quadro 1 – Resumo de Melhorias**

<b>Equipamento</b>	<b>Perda</b>	<b>Iniciativa</b>	<b>Metodologia</b>
<b>M2</b>	Velocidade reduzida	Aproximação da velocidade de projeto	Ciclo de Deming
<b>M2</b> <b>M13</b>	Falta de carretel	Mapeamento do fluxo de carretel Carretel colapsível	Kaizen CAPEX
<b>M13</b> <b>M7</b>	Troca de carretel Troca de bitola	Diminuir tempo de câmbio	TRF (SMED)
<b>M5</b> <b>M3</b>	Quebra de arame	Melhorar a qualidade da solda	Treinamento
<b>M3</b>	Falta de material	Aumentar a capacidade da central de solda	Plano de melhoria Man. preventiva
<b>M5</b>	Troca de turno Refeição	Alteração de horários	Plano de melhoria
<b>M6</b>	Enleios na saída vertical	Melhorar disposição da espira de FM	MASP

Fonte: autores (2017)

## 5. Conclusão

O estudo apresentado neste artigo teve como principal objetivo otimizar e maximizar a utilização dos equipamentos do setor da trefilaria de uma usina siderúrgica por meio de análises acerca do OEE, adequando a capacidade produtiva ao cenário atual da demanda. Utilizando programação não linear, foi analisado o impacto que diferentes níveis de melhoria do OEE acarretam na configuração dos equipamentos do sistema, na utilização de cada máquina e na utilização média resultante do setor.

Os objetivos do estudo foram alcançados, pois as análises acerca do OEE resultaram em informações chaves para a tomada de decisão. Os gráficos resultantes das simulações permitem a empresa decidir em quanto ela está disposta a investir para melhorar a sua eficiência considerando também a recompensa em relação ao número de equipamentos que poderão ser desativados (redução de custos operacionais) e à utilização média resultante. O cenário definido como ideal contempla melhoria de 40% na condição atual do OEE, permitindo um aumento de 12% da utilização do setor e uma redução de quatro equipamentos necessários para o sistema.

Outro objetivo associado à priorização de ações no processo fabril, apontado pela literatura como uma dificuldade enfrentada pelas empresas, foi alcançado ao se priorizar as máquinas a serem dirigidos os esforços de melhoria, a partir dos resultados das simulações, que evidenciam quais máquinas seguem operando. Assim, é possível direcionar as iniciativas apenas para os equipamentos que terão horas de programação alocadas superiores às horas atualmente disponíveis em função dos atuais parâmetros de eficiência. Paralelamente, foram realizadas análises acerca do perfil de paradas de cada equipamento, que resultou na definição de ações e projetos que terão impacto direto no indicador OEE, atacando as perdas relevantes de cada máquina.

Por fim, considerando o grau de conhecimento das causas das perdas e a dificuldade de implementação das melhorias, foram sugeridas metodologias para atacar as principais oportunidades elencadas, a partir de ferramentas da qualidade e de produção enxuta que foram utilizadas em trabalhos anteriores e que trouxeram resultados importantes, conforme indicou o estudo da literatura. Sugere-se, como trabalhos futuros, um aprofundamento das metodologias de execução das iniciativas, para aumentar a probabilidade das perdas serem erradicadas, e incorporar ao estudo análises de custos para fornecer ao tomador de decisão uma análise de cenários ainda mais completa.

## REFERÊNCIAS

- AHMAD, M.; DHAFR, N. **Establishing and improving manufacturing performance measures**. Robotics And Computer-Integrated Manufacturing, 18(3-4), 171-176, 2002.
- BENJAMIN, S. J., MARATHAMUTHU, M. S., & MURUGAIAH. **The use of 5-WHYs technique to eliminate OEE's speed loss in a manufacturing firm**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 21(4), 419-435, 2015.
- CHIARADIA, A. **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria contínua dos equipamentos: um estudo de caso na indústria automotiva**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – PPGE / UFRGS, Porto Alegre, 2004.
- DAVIS, M.M. et al. **Fundamentos da Administração da Produção**. Porto Alegre. Bookman, 2001.
- FERNANDES, D.R. **Uma contribuição sobre a construção de indicadores e sua importância para a gestão empresarial**. Revista da FAE, Curitiba, v.7, n.1, p.1-18, 2004.
- FLEISCHER, J.; WEISMANN, U.; NIGGESCHMIDT, S. **Calculation and optimisation model for costs and effects of availability relevant service elements**. Proceedings of LCE, 2006.
- GARZA-REYES, J. A. et al. **Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures: a relationship analysis**. International Journal of Quality & Reliability Management, v. 27, n. 1, p. 48-62, 2010.

GEREMIA, C. F. **Desenvolvimento de programa de gestão voltado à manutenção das máquinas e equipamentos e ao melhoramento dos processos de manufatura fundamentado nos princípios básicos do Total Productive Maintenance (TPM)**. Mestrado Profissionalizante em Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

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

HÖGFELDT, Daniel. **Plant efficiency: a value stream mapping and overall equipment effectiveness study**. Master of Science Programme, Mechanical Engineering, Luleå University of Technology, 2005.

IANNONE, R; NENNI, M. E. **Managing OEE to Optimize Factory Performance**. INTECH Open Access Publisher, 2013.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Aço Brasil Informa 32ª Edição**. Disponível em: <[http://www.acobrasil.org.br/siderurgiaemfoco/Aco\\_Brasil\\_Informa\\_MAR%2016.pdf](http://www.acobrasil.org.br/siderurgiaemfoco/Aco_Brasil_Informa_MAR%2016.pdf)>. Acesso em: 8 set. 2016.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **A estratégia em ação: balanced scorecard**. 6. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

LESSHAMMAR, P. J. M. **Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - the role of OEE**, International Journal of Operations & Production Management, Vol. 19 Iss 1 pp. 55 – 78, 1999.

LJUNGBERG, O. **Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities**. International Journal of Operations and Production Management, v. 18, n. 5, p. 495-507, 1998.

LJUNGBERG, Ö. **Measurement of overall equipment effectiveness as a basis for TPM activities**. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 18 Iss: 5, pp.495 – 507, 1980.

MATHUR, G.S. et. al. **Performance measurement in automated manufacturing**. Measuring Business Excellence, Vol. 15 Iss: 1, pp.77 – 91, 2011.

MONTEIRO, A.; MONTEIRO, D.; MOTTA, D.; SILVA, D. **Proposta de aumento de eficiência fabril por meio da manutenção produtiva total em uma empresa fabricante de embalagem de alumínio**. XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Bento Gonçalves: ABEPRO, 2012.

MUTHIAH, K.; HUANG, S.; MAHADEVAN, S. **Automating factory performance diagnostics using overall throughput effectiveness (OTE) metric**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 36, n.7/8, p. 811-824, 2008.

NAKAJIMA, S. **Introduction to Total Productive Maintenance - TPM**. Cambridge: Productivity Press, 1989.

OLIVEIRA, M. R.; HEMOSILLA, JOSÉ LUIS GARCIA; SILVA, ECC. **Implantação do Índice de Eficiência Global dos Equipamentos em uma Célula de Manufatura de uma Empresa de Grande Porte do Setor Automotivo–Segmento de Embreagens**. Anais do XV Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais-SIMPOI. São Paulo, 2012.

PACHECO, D. et al. **Modelo de gerenciamento da capacidade produtiva: integrando teoria das restrições e o índice de rendimento operacional global (IROG)**. Revista Produção Online, v. 12, n. 3, p. 806, 2012.

SANTOS, Ana Carolina Oliveira; SANTOS, Marcos Jose. **Utilização do indicador de eficácia global de equipamentos (OEE) na gestão de melhoria contínua do sistema de manufatura–um estudo de caso**. Foz do Iguaçu, ENEGEP, 2007.

SERRA et. al. **Utilização do Indicador OEE na Análise do Desempenho dos Processos e Melhoria Contínua na Produção de Condutores Elétricos**. São Carlos, ENEGEP, 2010.

SILVA, Sergio Evangelista et al. **Proposta de um modelo das áreas de decisão da estratégia competitiva: aplicação em uma grande usina siderúrgica**. Revista Eletrônica Produção em Foco, v. 6, n. 1, 2016.

SLACK, N. **Vantagens competitivas em manufatura: atingindo competitividade nas operações industriais**. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUSA, I. F. **Eficiência Global Dos Equipamentos (OEE): Um Estudo de Caso**. Trabalho de Graduação. Associação de Educação e Cultura de Goiás. 2014.

TAKAHASHI, Y; OSADA, T. **Manutenção Produtiva Total**. São Paulo: Instituto IMAN, 2000.

VENKATESH, J. **An introduction to total productive maintenance (TPM)**. The plant maintenance resource center, pp. 3-20, 2007.