

Universidade do Estado do Pará
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Produção



RODRIGO DA SILVA SANTOS

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA OEE – *OVERALL EQUIPMENT*
EFFECTIVENESS – COMO INDICADOR DE DESEMPENHO DO PROCESSO
PRODUTIVO DE UMA FÁBRICA DE CONDUTORES ELÉTRICOS DE
COBRE**

BELÉM
2017

RODRIGO DA SILVA SANTOS

**APLICAÇÃO DA FERRAMENTA OEE – *OVERALL EQUIPMENT
EFFECTIVENESS* – COMO INDICADOR DE DESEMPENHO DO PROCESSO
PRODUTIVO DE UMA FÁBRICA DE CONDUTORES ELÉTRICOS DE
COBRE**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Engenharia de Produção
pelo Centro de Ciências Naturais e Tecnologia da
Universidade do Estado do Pará. Orientador:
Prof. Esp. Cláudio Mauro Vieira Serra.

BELÉM

2017



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO PARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



“APLICAÇÃO DA FERRAMENTA OEE – OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS – COMO INDICADOR DE DESEMPENHO DO PROCESSO PRODUTIVO DE UMA FÁBRICA DE CONDUTORES ELÉTRICOS DE COBRE”. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito necessário para obtenção do título de Engenheiro de Produção pelo aluno **Rodrigo da Silva Santos**, em 05 de dezembro de 2017, no Centro de Ciências Naturais e Tecnologia da Universidade do Estado do Pará - CCNT/UEPA, e aprovado pela Banca Examinadora, formada pelos seguintes membros:

Esp. Cláudio Mauro Vieira Serra – UEPA
Orientador

M.Sc. Marcelo Pinto da Costa Mendes - CESUPA
Avaliador 1

M.Sc. Carlos Gilberto Vieira da Silva Junior – SESI
Avaliador 2

Belém/PA, 05 de dezembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo concedo a Deus todas as minhas conquistas e agradeço todos os dias pelo dom da minha vida e por sempre guiar meus caminhos com sabedoria.

A minha família que sempre me apoiou e sempre esteve ao meu lado nos bons momentos e principalmente nos mais difíceis. Em especial aos meus pais que sempre fizeram o possível para me ajudar a alcançar meus objetivos e sonhos.

Ao meu orientador professor Cláudio Serra pela parceria ao longo desses anos de graduação e em especial pela paciência e suporte nesse último ano tão cheio de desafios.

E por fim agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte da minha vida pessoal, acadêmica e profissional e contribuíram de maneira positiva para o meu crescimento e desenvolvimento.

Rodrigo da Silva Santos

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin

RESUMO

SANTOS, Rodrigo da Silva. **Aplicação da ferramenta OEE – *Overall Equipment Effectiveness* – como indicador de desempenho do processo de trefilação primária de uma fábrica de condutores elétricos de cobre.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade do Estado do Pará. Belém, 2017.

Esse trabalho consistiu em um estudo de caso realizado em uma fábrica de condutores elétricos de cobre e tratou da utilização do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) como ferramenta para mensurar o desempenho do seu processo produtivo. O processo de Trefilação Primária foi definido como o alvo de estudo desse trabalho, visto se tratar de um processo crítico para a produção de condutores elétricos de cobre. O estudo teve o intuito de identificar fatores limitantes da eficiência e produtividade desse processo de transformação do vergalhão em fios, relacionando e identificando perdas de produção por utilização, *performance* e qualidade e assim buscar meios que auxiliem em melhores tomada de decisões direcionadas à melhoria contínua do processo e aumento da capacidade de produção de modo a buscar atender com eficácia as demandas de clientes internos e externos.

Palavras-Chave: OEE. Medição de desempenho. Cabos de cobre. Trefilação primária.

ABSTRACT

SANTOS, Rodrigo da Silva. **Application of the OEE (Overall Equipment Effectiveness) tool as a performance indicator of the primary wire drawing process of a copper electric cables factory.** Term paper (Degree in Production Engineering) – Pará State University. Belém, 2017.

This research consisted in a case study at a copper electric cables factory and talked about the OEE (Overall Equipment Effectiveness) indicator, as a tool to measure its productive process. The Primary Wire Drawing process was defined as the target of this research because of its critical level for the production of copper electric conductors. The purpose of this study was identify efficiency and productivity limiting factors in the rebar to wire transformation process, relating and identifying production losses by utilization, performance and quality and then find ways to help in a better decision making, directed to a continuous improvement and increasing production capacity, in order to meet the demands of internal and external customers with efficiency.

Keywords: OEE. Performance measurement. Copper cables. Primary drawing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Uso mundial do cobre refinado (Em mil toneladas)	20
Figura 2 – Capacidade Global de Energia Solar e Adições Anuais, 2005-2015	21
Figura 3 – Capacidade Global de Energia Eólica e Adições Anuais, 2005-2015.....	21
Figura 4– Relacionamento entre o OEE e seus índices de perda	28
Figura 5– Diagramas de métricas dos tempos para cálculo do OEE	30
Figura 6– Vergalhão acondicionado em jumbo.....	38
Figura 7 – Processo de Trefilação	38
Figura 8 – Fio de cobre acondicionado em espula	39
Figura 10 – Processo de Extrusão.....	40
Figura 11 – Cabo de cobre isolado acondicionado em carretel de madeira	41
Figura 12 – Cabos multiplexados reunidos.....	41
Figura 13 – Cabos reunidos acondicionados em carretéis de madeira	41
Figura 14 – Fluxograma Simplificado do Processo Produtivo da Fábrica do Cobre	43
Figura 15 – Ocorrências de paradas entre os meses de fevereiro a julho de 2017 ...	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Paradas operacionais referentes à Linha de Trefilação Primária.....	44
Quadro 2 – Velocidade máxima e real da Trefiladora Primária	48
Quadro 3 – Perdas por qualidade de fevereiro a junho de 2017.....	49
Quadro 4 – Fator <i>Performance</i>	51
Quadro 5 – Resultados OEE	53
Quadro 6 – Percentual de perdas mensais dos fatores e OEE para o fio 1,36 mm...56	
Quadro 7 – Perdas mensais em horas dos fatores e OEE para o fio 1,36 mm.....	56
Quadro 8 – Resultado OEE desconsiderando paradas por falta de vergalhão (2° Cenário).....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Análise do Fator de Utilização	50
Tabela 2– Fator Qualidade com base no índice de perdas de fevereiro a junho de 2017	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1– Percentual proporcional de perdas do OEE por fator.....	57
Gráfico 2– Quantitativo percentual de paradas não programadas.....	57

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Cálculo de Produtividade	25
Equação 2: Cálculo do OEE	29
Equação 3: Cálculo do Fator Utilização (FU)	29
Equação 4: Cálculo do Fator <i>Performance</i> (FP)	29
Equação 5: Cálculo do Fator Qualidade (FQ).....	29
Equação 6: Cálculo Alternativo do OEE	31
Equação 7: Cálculo do Tempo Programado	49
Equação 8: Cálculo do Tempo Disponível Efetivo	50
Equação 9: Cálculo de perdas por utilização (h).....	53
Equação 10: Cálculo de perdas por utilização (%).....	53
Equação 11: Cálculo de perdas por <i>performance</i> (h)	54
Equação 12: Cálculo de perdas por <i>performance</i> (%)	54
Equação 13: Cálculo da quantidade total produzida	54
Equação 14: Cálculo da velocidade mássica média	54
Equação 15: Cálculo da quantidade boa produzida.....	55
Equação 16: Calculo de perdas por qualidade (h)	55
Equação 17: Cálculo de perdas por qualidade (%).....	55
Equação 18: Cálculo de perdas total OEE (%)	55

LISTA DE SIGLAS

OEE – *Overall Equipment Effectiveness* (Eficiência Global dos Equipamentos)

TPM – *Total Productive Maintenance* (Manutenção Produtiva Total)

FU – Fator de Utilização

FP – Fator de *Performance*

FQ – Fator de Qualidade

DDS – Diálogo Diário de Segurança

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
1.2	TEMA E PROBLEMA	16
1.3	OBJETIVOS	18
1.3.1	OBJETIVOS GERAIS	18
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
1.4	JUSTIFICATIVA	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	MERCADO DO COBRE	20
2.2	TPM – MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL	22
2.2.1	AS SEIS GRANDES PERDAS	23
2.3	MEDIÇÃO DE DESEMPENHO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	25
2.3.1	INDICADORES DE DESEMPENHO	26
2.3.1.1	TOMADA DE DECISÃO COM BASE EM INDICADORES	27
2.4	INDICADOR OEE (<i>OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS</i>)	27
2.4.1	HISTÓRICO	28
2.4.2	MÉTODO DE CÁLCULO	28
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
3.1	TIPO E DELINEAMENTO DA PESQUISA	33
3.2	ETAPAS DE EXECUÇÃO DO PROJETO	33
4	ESTUDO DE CASO	35
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA	35
4.2	FÁBRICA DO COBRE	35
4.2.1	LINHA DE PRODUTOS	36
4.2.2	PROCESSO PRODUTIVO	37
4.3	DEFINIÇÃO DO PROCESSO CRÍTICO	44
4.4	COLETA DE DADOS	44
4.5	ANÁLISE DOS DADOS E CÁLCULO DOS FATORES	49
4.6	CÁLCULO DO OEE E ANÁLISE DAS PERDAS	52
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A demanda por cobre continua em grande expansão devido às características únicas desse material e seus múltiplos benefícios que são essenciais para o contexto global, atual e futuro. Além disso, o metal também possui inúmeras oportunidades de aplicação: arquitetura, saúde, meio ambiente, construção civil, energia, telecomunicações, transporte e muitos outros (ICSG, 2015).

Conforme o *European Copper Institute* (2017), um dos principais setores em expansão global e de maior expressividade na utilização do cobre como matéria-prima é o seguimento de eletroeletrônicos, cerca de 60% do uso total desse metal é destinado a essas aplicações, devido às suas ótimas propriedades elétricas, térmicas e natureza sustentável. Outros dados mostram ainda que os cabos utilizados na construção, os conectores elétricos e eletrônicos e os cabos de transmissão de potência são os três usos elétricos mais importantes do cobre na atualidade, diz Associação Brasileira do Cobre (2017). Vale ressaltar também que o fio de cobre tem sido o material condutor preferido na maioria dos cabos utilizados para energia e telecomunicações, visto que a condutividade do cobre é quase o dobro comparado com a do seu principal concorrente nesse segmento, o alumínio (*EUROPEAN COPPER INSTITUTE*, 2017).

Além disso, tem-se observado também uma crescente demanda de cabos elétricos de cobre em sistemas de energia renovável, em especial fontes solares fotovoltaicas e eólicas e em projetos de construção verde, atuando como um elemento fundamental na geração e transmissão de energia com máxima eficiência e mínimo impacto ambiental (*INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION LATIN AMERICA*, 2017).

1.2 TEMA E PROBLEMA

Frente a esse contexto de elevadas demandas e novos investimentos no setor elétrico, os desafios para as empresas do segmento de cabos de energia vêm se tornando cada vez maiores, logo precisam buscar estratégias para que possam se manter competitivas e capazes de atender seus consumidores.

Segundo Slack *et. al.* (2015, p. 313) um equilíbrio adequado entre capacidade e demanda pode gerar altos lucros e clientes satisfeitos, enquanto que esse desequilíbrio pode gerar custos excessivos, por isso a eficiência produtiva se tornou

estratégia de competitividade nesse mercado, essa competência aumenta a disponibilidade de produção, logo sua flexibilidade de volume, podendo atender o perfil atual de clientes que exigem maior variedade de produtos (BUSSO, 2012).

Dessa forma, as organizações precisam tomar decisões que busquem melhorias de desempenho em seus processos e conseqüentemente aumento na eficiência e produtividade, para isso precisam conhecer a fundo seus sistemas de produção. “Todas as operações produtivas, portanto, precisam de alguma forma de medida de desempenho como pré-requisito para melhoramento” (SLACK *et. al.*, 2015, p. 563).

O OEE do inglês *Overall Equipment Effectiveness*, conforme KODA (2012, *apud* STORTTE *et. al.*, 2014) é uma ferramenta que fornece uma medida sobre o desempenho fabril, relacionando três fatores essenciais para o processo: disponibilidade de produção que representa o tempo real em que o equipamento está de fato produzindo, o desempenho do equipamento que nos indica se a máquina está rodando na sua velocidade máxima especificada pelo fornecedor e qualidade dos produtos que nos informa qual nosso percentual de perdas por não conformidade de produto.

Hansen (2006) fala que o OEE possui como um de seus benefícios, a capacidade de demonstrar os impactos financeiros obtidos em sua implementação. Segundo ele, inúmeros projetos importantes não são viabilizados devido à dificuldade em se avaliar com acurácia os seus ganhos financeiros. Ter pleno conhecimento desses números é de extrema importância para a aprovação de projetos na área de produção.

Além disso, o OEE também é capaz de nos auxiliar a identificar fatores que limitam a produtividade da fábrica, bem como as áreas onde devem ser desenvolvidas melhorias e se há ou não a necessidade de novos investimentos em maquinário ou pessoal, auxiliando assim em tomada de decisões mais assertivas e melhoria contínua do processo produtivo.

A empresa em estudo começou a atuar recentemente no segmento de condutores elétricos de cobre, logo, a nova fábrica ainda possui muitas lacunas gerenciais, como a ausência de indicadores eficazes que auxiliem os gestores em tomada de decisões precisas.

Sabe-se que atualmente a fábrica produz em média 200 toneladas por mês de condutores de cobre e tem como meta estratégica alcançar uma capacidade produtiva de 450 toneladas por mês, necessidade essa baseada em estudos de projeções de demanda realizados pela empresa.

Com esse intuito, muitos investimentos têm sido realizados na fábrica, como a aquisição de novos maquinários e equipamentos, por outro lado pouco se sabe sobre o desempenho dos processos e a utilização da capacidade de produção das máquinas da fábrica, o que gera um grande risco de investimentos e dispêndios desnecessários.

Diante do exposto, o presente trabalho visa utilizar o indicador de eficiência global dos equipamentos (OEE), para retratar o desempenho do processo produtivo em utilizar seus recursos fabris e indicar possíveis limitadores produtivos e oportunidades de melhoramento, sempre em busca do máximo potencial de utilização da capacidade produtiva, sejam esses por meio de estratégias de melhoria ou ainda novos investimentos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar o processo produtivo de uma fábrica de condutores elétricos de cobre por meio da utilização da ferramenta OEE.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir quais as principais perdas no processo;
- Indicar possíveis causas dos limitadores produtivos;
- Identificar possíveis oportunidades de melhoria no processo produtivo em estudo;
- Avaliar os demais benefícios, dificuldades e limitações quanto à utilização dessa ferramenta na fábrica.

1.4 JUSTIFICATIVA

Com o mercado atual globalizado, em um ambiente de extrema competição, cada vez mais rígido e clientes muito mais exigentes, impõem às organizações, a necessidade de instrumentos gerenciais, técnicas e métodos capazes de auxiliá-las em tomada de

decisões mais coerentes, em tempo hábil, com as mínimas possibilidades de erros e pautadas em dados e informações precisas (FISCHMAN, ZILBER, 2000).

Nesse sentido, observa-se a grande necessidade de utilização de indicadores como ferramentas de apoio para auxiliar tomadores de decisão a avaliar o desempenho de seus processos e direcionar seus investimentos da forma mais correta, buscando excelência na produção (FISCHMAN, ZILBER, 2000).

A decisão pelo indicador OEE como ferramenta de aplicação a ser utilizada nesse trabalho, justifica-se principalmente pela sua grande difusão e implementação em empresas do âmbito nacional e internacional. Além disso, ele se apresenta como um indicador global, capaz de considerar um sistema de produção como um todo. E ainda vale ressaltar sua facilidade e rapidez de implementação, aliado a uma metodologia de análise que relaciona informações extremamente relevantes que representam a realidade do processo: disponibilidade, *performance* e qualidade, de forma a guiar a gestão ao melhor caminho (KITEMES, 2013).

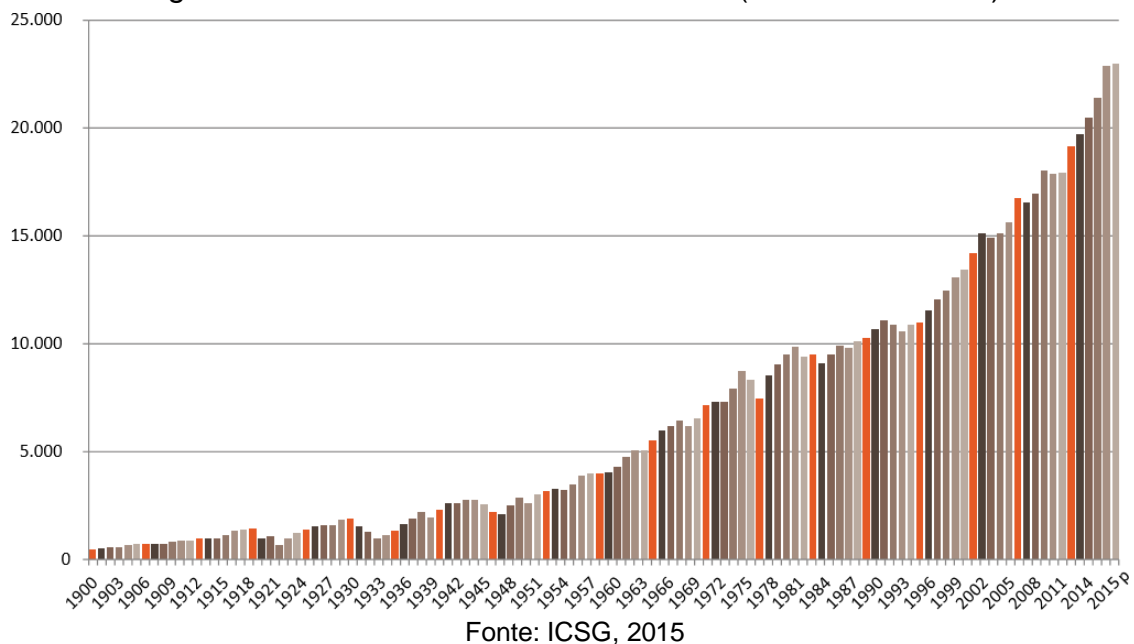
Em relação à empresa, o trabalho se justifica devido à necessidade atual dela em aumentar sua capacidade produtiva. Dessa forma, o estudo busca soluções economicamente mais viáveis, tirando o foco de caros investimentos, aquisição de máquinas e equipamentos de elevado custo de instalação, e direcionando para o aumento de desempenho da utilização da capacidade produtiva instalada atualmente na fábrica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MERCADO DO COBRE

Segundo o *International Copper Study Group – ICSG (2015)*, o consumo de produtos de cobre refinado mais que triplicou nos últimos 50 anos, de 1900 a 2014 houve um crescimento de menos de 500 mil toneladas para 23 milhões, respectivamente, uma taxa composta de crescimento anual de 3,4% (ICSG, 2015). Esses dados com tal tendência de crescimento podem ser observados na figura 1.

Figura 1 – Uso mundial do cobre refinado (Em mil toneladas)



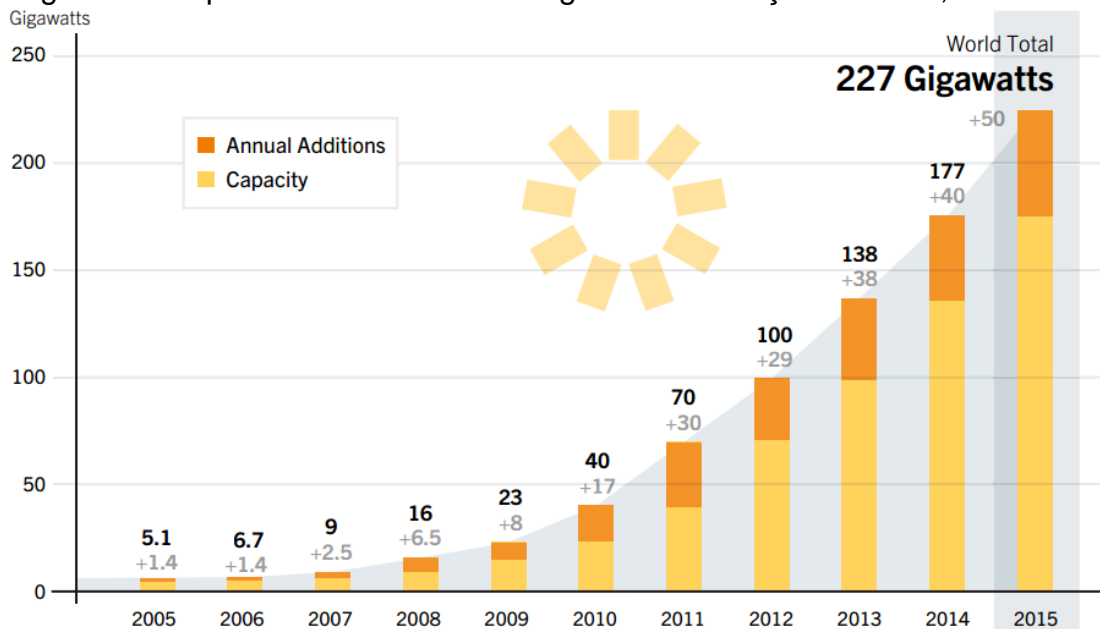
Esse consumo só tem a crescer cada vez mais, pois está amplamente envolvido com um tema essencial nos dias de hoje e que vai perdurar para o futuro, que é a sustentabilidade por meio da utilização de energias renováveis. A grande aplicação desse metal nesse contexto se deve principalmente às suas ótimas propriedades, como as citadas pela *International Copper Association Brazil*:

- a) Baixa resistência elétrica, reduzindo as perdas por efeito joule, contribuindo para o melhor dimensionamento econômico e ambiental das instalações elétricas;
- b) Elevada capacidade de condução da energia elétrica e térmica, aumentando a eficiência energética e reduzindo o consumo energético e as emissões de CO₂ para o meio ambiente;
- c) Resistência mecânica e à corrosão, viabilizando seu uso em diversos sistemas de energia limpa;

- d) 100% reciclável e reutilizável, possuindo uma longa vida útil, sem perda de desempenho.

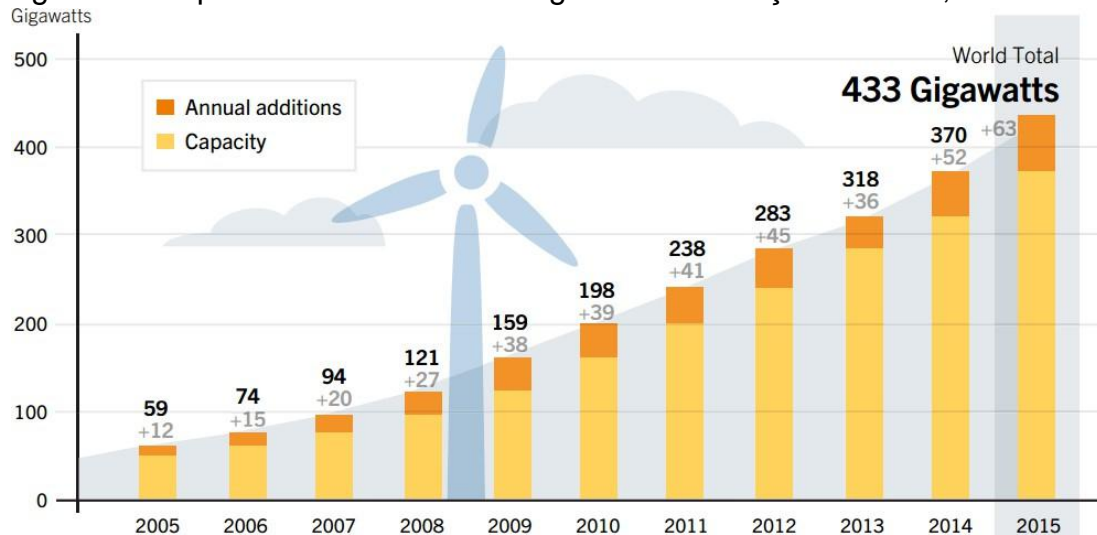
Segundo conteúdo da revista Pará Industrial (2016), em entrevista com o mestre e doutor em sistemas de energia elétrica Luis Blasques, o mercado de energia renovável não é mais somente uma tendência, mas sim uma realidade absoluta. Essa realidade pode ser observada com clareza na figura 2 e 3 para fontes solares fotovoltaicas e para fontes eólicas, respectivamente, nas quais se identifica um crescimento exponencial da capacidade instalada desses sistemas no mundo.

Figura 2 – Capacidade Global de Energia Solar e Adições Anuais, 2005-2015



Fonte: REN 21 (2016)

Figura 3 – Capacidade Global de Energia Eólica e Adições Anuais, 2005-2015



Fonte: REN 21 (2016)

Seguindo essa tendência mundial, inúmeros são os casos de sucesso e novos projetos que estão sendo implantados no Brasil, inclusive no estado do Pará, como as usinas hidrelétricas de Tucuruí e Belo Monte, as ações iniciais do SESI no estado que já implantou um sistema de energia solar e está em um segundo projeto ainda maior que já se encontra em fase final de implantação (PARÁ INDUSTRIAL, 2016) e a inauguração da primeira cooperativa de energia renovável do Pará, junto à micro usina de energia solar fotovoltaica, da Cooperativa Brasileira de Energia Renovável, com capacidade atual de 75 KWp (*INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION LATIN AMERICA*, 2017). A tendência mundial, segundo dados do *Greenpeace*, é de que as fontes renováveis possam vir a suprir cerca de metade da demanda mundial até 2050, reduzindo as emissões globais de gases do efeito estufa em até 50% (BAITELO, 2009).

2.2 TPM – MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

Conforme a definição de Kardec (2001, *apud* MARTINS & LAUGENI, 2015, p. 298) “Manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados”. Logo, manutenção não é unicamente eliminação de falhas e conservação, deve também garantir máxima capacidade operacional, com eficiência e eficácia e tem o objetivo de manter a preservação do meio ambiente.

Existem três categorias mais utilizadas de manutenção. Essas não são excludentes entre si, podendo-se adotar qualquer uma delas em uma empresa, de acordo com a necessidade, a seguir verifica-se a definição de cada uma, segundo Venanzi (2016):

- a) **Manutenção Corretiva:** Está relacionada com a correção de eventuais falhas ou quebras, como paradas inesperadas das máquinas. Esta pode ser planejada, quando já apresenta sinais de fadiga, porém, opta-se por mantê-lo operando até parada total e não planejada quando o equipamento vem a parar subitamente sem apresentar sintomas anteriores;
- b) **Manutenção Preventiva:** Corresponde à troca de peças ou equipamentos antes que a falha se manifeste. Incorre em custos mais elevados e em alguns casos em trocas desnecessárias;

- c) **Manutenção Preditiva:** Visa realizar a manutenção somente quando necessário e antes da falha definitiva, ou seja, atua a partir de sintomas. Esse tipo de manutenção tem como objetivo reduzir os riscos da corretiva e minimizar os custos da preventiva. Apesar disso, seu custo de implementação costuma ser mais elevado, devido depender de laboratórios, equipamentos e pessoal especializado.

Segundo Nakajima (1998 *apud* SLACK *et. al.*, 2015, p. 613), manutenção produtiva total é:

A manutenção produtiva realizada por todos os empregados por meio de atividades de pequenos grupos, entendendo-se por manutenção produtiva a gestão de manutenção que reconhece a importância da confiabilidade, manutenção e eficiência econômica nos projetos de fábricas.

Nakajima (1998 *apud* SLACK *et. al.*, 2015) lista e justifica cinco metas para que o TPM alcance seus objetivos:

- a) **Redução de perdas:** busca melhorar a eficácia dos equipamentos, por meio do levantamento de todas as perdas;
- b) **Empowerment:** todos no chão de fábrica devem desempenhar seu papel em desempenhar algumas tarefas de manutenção;
- c) **Manutenção planejada:** Considerar paradas planejadas como *setups* de máquina e trocas de turno;
- d) **Capacitação de todo pessoal:** Desde a manutenção até a operação. É importante que o operador conheça seus limites e de sua segurança;
- e) **Fazer gestão da manutenção:** Identificar causa raiz das falhas em busca de reduzi-las, com o objetivo de prevenir novas ocorrências.

2.2.1 AS SEIS GRANDES PERDAS

Pereira (2011) elenca, define e enumera algumas ações mitigadoras para as seis grandes perdas:

- a) **Perdas por parada acidental:** Reduz em grande quantidade a eficiência dos ativos, pois ocorre subitamente, forçando a parada para realizar a corretiva. Além disso, cita duas possíveis ações mitigadoras:
 - Usar programas ou técnicas de manutenção adequadas;

- Qualificação da mão de obra: Mantenedores e operadores.
- b) Perdas por *setup*: Perda associada à mudança de linha ou regulagem de máquina. Esse tempo também representa uma grande parcela de redução de rendimento fabril. Ações mitigadoras:
- Desenvolver técnicas de troca rápida de ferramentas;
 - Qualificação da mão-de-obra: Mantenedores e operadores.
- c) Perdas por espera momentânea (operação em vazio): São intervalos de tempos menores quando comparados com os outros já citados, mas quando somados ao longo de um período, se tornam perdas significativas. Geralmente acontece quando ocorre a falta de matéria-prima ou material no processo. Ações mitigadoras:
- Identificar causas e propor ações para evitar ocorrências;
 - Solicitar estudos das especificações de produto e ferramental;
 - Analisar se há tempo excessivo no uso dos instrumentos de medição;
 - Analisar a situação da logística de materiais (solicitação, movimentação e entrega).
- d) Perdas por queda de velocidade: Resultado da redução da velocidade de trabalho, isto é, operar mais lentamente que o esperado, por motivos de qualidade ou alguma limitação técnica. Ações mitigadoras:
- Rever métodos operacionais entre outras especificações de processo;
 - Rever os ajustes e capacidade de operação dos equipamentos;
 - Rever a situação de suprimento da matéria-prima.
- e) Perdas por defeitos de produção: Referisse à geração de produtos não conformes a serem descartados e que necessita da produção de novo lote. Ações Mitigadoras:
- Inspeccionar a qualidade e as especificações da matéria-prima;
 - Analisar a situação do ferramental;
 - Rever procedimentos operacionais e demais especificações do processo;
 - Avaliar qualificações do operador, se necessário treiná-lo novamente;
 - Dar autoridade ao operador em parar o processo se identificado sintomas de algum mau funcionamento.

- f) Perdas por queda de rendimento (*startup*): Ocorre no início dos processos, durante período de estabilização. Ações Mitigadoras:
- Rever processos operacionais e especificações dos produtos;
 - Rever ajustes e capacidade de operação dos equipamentos;
 - Analisar a situação do programa de produção;
 - Avaliar capacitação dos operadores e mantenedores e se necessário, treiná-los.

2.3 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Segundo a definição de Riggs (1970 *apud* RUSSOMANO, 2000), “Sistema de produção é um processo planejado pelo qual elementos são transformados em produtos úteis, ou seja, um procedimento organizado para se conseguir a conversão de insumos em produtos acabados”.

Para Martins e Laugeni (2015) Desempenho é o grau no qual um sistema, físico ou econômico, atinge seus objetivos. Segundo Slack *et. al.* (2015) Medida representa o processo de quantificação e desempenho da produção é definido como o grau de alcance dos cinco objetivos de desempenho: custo, velocidade, flexibilidade, qualidade e confiabilidade, de modo que satisfaça seus clientes.

Enquanto Sink e Tuttle (1989, *apud* BUSSO, 2012) sugerem a definição de outros critérios para medição de desempenho de um sistema, listando-os e apresentando uma definição para cada um dos termos:

- a) Eficácia: Real cumprimento do que se espera no prazo correto e nos padrões de qualidade desejáveis;
- b) Eficiência: Relação entre quantidade de recursos planejados para execução de um processo e a real consumação dos recursos;
- c) Produtividade: Relação entre o que sai do sistema de manufatura (output) e os recursos que entram (input) para a produção;

$$E = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Fonte: Martins e Laugeni (2015)

d) Rentabilidade: Resultado da razão entre custos de produção e as receitas obtidas.

Segundo Bond (1999 *apud* ATTADIA & MARTINS, 2003), a medição de desempenho deve buscar detectar qual a tendência de desempenho da empresa, quais as possíveis causas do atual desempenho e que ações podem vir a ser tomadas.

2.3.1 INDICADORES DE DESEMPENHO

Indicador é um número resultante de uma relação matemática, é uma forma simples de comparar duas ou mais situações, ou períodos, ou seja, uma maneira mais técnica e científica de lidar com medição (MARTINS & LAUGENI, 2015).

FISCHMAN (2000) cita que sistemas de indicadores devem conter alguns pressupostos:

- a) Dados e informações coletados para a elaboração dos indicadores devem ser consistentes e fidedignos e estarem disponíveis em prazos rígidos, para indicarem resultados dentro de períodos de tempo pré-definidos;
- b) Os diversos setores da empresa devem estar envolvidos na disposição dos dados e informações necessárias;
- c) As áreas da empresa devem estar devidamente treinadas para a produção desses dados e informações e posterior utilização dos resultados dos indicadores para gestão;
- d) Os indicadores devem refletir valores e variações reais de desempenho;
- e) Os indicadores devem sempre representar uma relação matemática;
- f) Fornecer rápido *feedback* para ações corretivas e facilitar melhoria nos processos, não somente os monitorar (MARTINS & LAUGENI, 2015).

O referido autor ainda complementa que indicadores, além de mostrar um dado resultado em um determinado período, eles também devem ser capazes de avaliar qual a tendência de desempenho do fator que está sendo analisado, logicamente, eles precisam ser utilizados constantemente, como um instrumento de monitoramento.

2.3.1.1 TOMADA DE DECISÃO COM BASE EM INDICADORES

Baseado em Steiner (1969, *apud* FISCHMAN, 2000) “O conceito genérico de decisão conduz à ideia de intenção em direção a um resultado conclusivo, julgamento ou solução”. Logo, tomar uma decisão é escolher uma opção sobre o que deve, ou não deve ser realizado em uma situação qualquer.

Conforme Ansoff (1990, *apud* FISCHMAN, 2000) dentro da administração pode-se classificar as decisões em três níveis: estratégicas, administrativas e operacionais. De acordo com Anthony (1965 *apud* TEZZA, B.V., 2010), o nível estratégico está relacionado com abordagens focadas no futuro, relacionadas ao atingimento de objetivos macros e de longo prazo. O nível administrativo está ligado ao monitoramento das variações no desempenho operacional, relacionadas a controles administrativos e decisões sobre operações de controle. Já o nível operacional resulta em ações de resposta mais imediata, ligados diretamente ao *feedback* imediato e a medidas de rotina.

Segundo Machline *et. al.* (1994) existem duas formas de se tomar decisões, de forma intuitiva, cujo mecanismo decisório não é explicável por argumentação lógica e de forma racional, baseada em raciocínio lógico e desenvolvimento de cálculo. Ele complementa ainda que não se podem tomar decisões sem avaliar e para isso precisamos ter controle do que está sendo avaliado e esse controle é resultado de inúmeras medições ao longo do tempo, dessa forma identificamos a importância de cada uma dessas etapas para uma tomada de decisão correta.

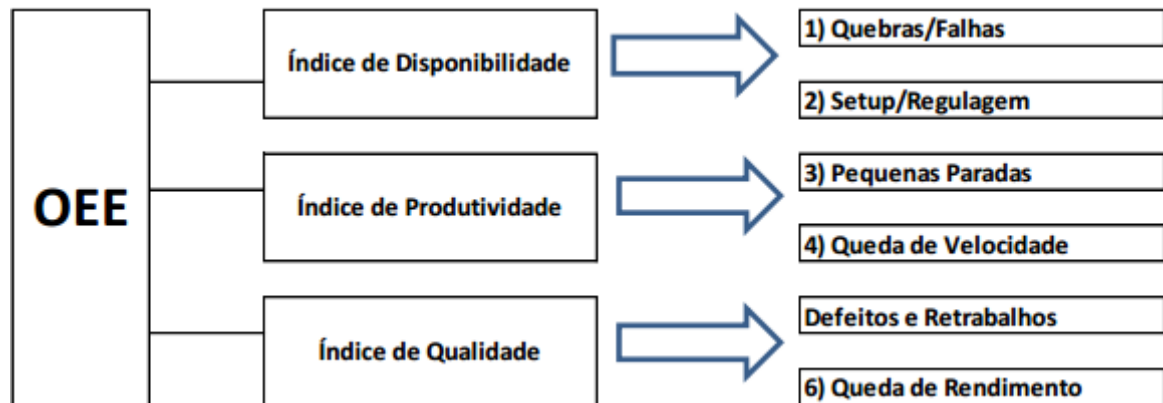
2.4 INDICADOR OEE (*OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS*)

De acordo com Bariane; D. J. (2006) a ferramenta

OEE mede a habilidade do equipamento de medir consistentemente peças que atendam ao padrão de qualidade dentro de um tempo de ciclo designado e sem interrupções, a Disponibilidade, o Desempenho e a taxa de Qualidade de uma máquina. Fornece um método para análise das perdas e medição dos resultados das ações tomadas (*apud* Sousa, 2014).

O OEE se baseia fortemente nas seis grandes perdas do TPM e é mensurado a partir da sua estratificação, segundo nos mostra a figura a seguir:

Figura 4– Relacionamento entre o OEE e seus índices de perda



Fonte: Reis (2016)

2.4.1 HISTÓRICO

O OEE é uma ferramenta do TPM, desenvolvida em meados dos anos 80 por Seiichi Nakajima com o objetivo não só de usá-lo como medidor de desempenho, mas também como uma ferramenta de auxílio à melhoria contínua de equipamentos e processos produtivos.

A necessidade para o desenvolvimento e implementação dessa ferramenta foi resultado de um aquecimento de mercado, cuja elevada demanda exigiu que as empresas buscassem formas de aumentar sua produtividade, sendo assim, a alternativa encontrada como mais viável era aumentar a eficiência fabril, para isso precisariam reduzir suas perdas seja por não conformidade ou por parada de máquina.

Dessa forma o OEE contribuiu para o monitoramento e funcionamento dos equipamentos e conseqüentemente nos processos, gerando impactos para a produtividade e auxiliando a identificação de perdas presentes na produção, possibilitando conduzir da melhor forma melhorias nos processos (SOUSA, 2014)

2.4.2 MÉTODO DE CÁLCULO

O indicador OEE busca relacionar simultaneamente três importantes fatores, são eles a utilização dos equipamentos, a *performance* das máquinas e a qualidade dos produtos e baseia-se nas seis grandes perdas de Nakajima como *inputs* importantes para o cálculo (ZATTAR, 2010). Logo o OEE é um indicativo percentual resultado do produto das taxas percentuais de disponibilidade (ou utilização), desempenho (ou *performance* ou velocidade) e qualidade conforme a equação 2:

$$OEE = FU \times FP \times FQ \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde,

FU = Fator Utilização;

FP = Fator *Performance*;

FQ = Fator Qualidade.

Sousa (2014) nos mostra a metodologia padrão de cálculo para cada um dos fatores:

- a) Fator Utilização ou Disponibilidade (FU): Corresponde ao tempo em que a máquina está disponível para produzir. É a razão entre o tempo efetivo de produção ou tempo de operação e o tempo programado.

$$FU = \frac{\text{Tempo de Operação}}{\text{Tempo Programado}} \quad (\text{Eq. 3})$$

- b) Fator Velocidade ou *Performance* (FP): Corresponde ao rendimento real da máquina durante o processo. É a razão entre a Velocidade Real e a Velocidade Nominal.

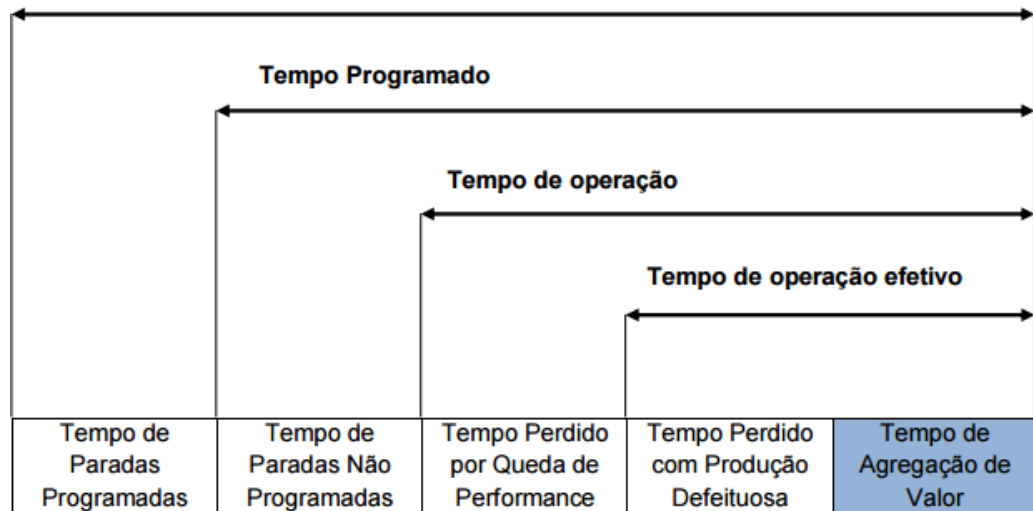
$$FP = \frac{\text{Velocidade Real}}{\text{Velocidade Nominal}} \quad (\text{Eq. 4})$$

- c) Fator Qualidade (FQ): Corresponde à quantidade de itens conformes produzidos. É a razão entre a produção de produtos conformes e a quantidade total de produzidos.

$$FQ = \frac{\text{Quantidade de produtos conformes}}{\text{Quantidade de produtos produzidos}} \quad (\text{Eq. 5})$$

A figura a seguir ilustra, de forma simplificada, as perdas que podem ocorrer durante o processo até que reste apenas o tempo efetivo de agregação de valor ao produto final.

Figura 5– Diagramas de métricas dos tempos para cálculo do OEE
Tempo Total



Fonte: Hansen (2006)

- Tempo Total: É tempo total disponível para se produzir um determinado recurso, sem considerar nenhum tipo de parada ou perda;
- Tempo Programado: Conhecido também como tempo de carga ou tempo planejado. Trata-se do tempo total já subtraído das paradas programadas como férias, refeições, fatores externos como falta de demanda e questões internas como paradas para manutenção preventiva, treinamento e etc;
- Tempo de Operação: Consiste da porção de tempo em que a máquina está sendo realmente operada para a transformação do recurso. Resultado do tempo programado menos as perdas por disponibilidade;
- Tempo de Operação Efetivo: Consiste do tempo de operação reduzido das perdas de *performance*.
- Tempo de Agregação de Valor: Consiste no tempo de operação efetivo subtraído do tempo perdido com a produção de produtos defeituosos ou não conformes, também chamado de perdas de qualidade.

Dessa forma, o OEE pode ser expresso como a relação entre o tempo que houve agregação de valor ao produto, ou seja, a quantidade de produto bom e a quantidade de produto bom que poderia ter sido obtida durante o tempo de carregamento da máquina, descontando perdas de utilização, *performance* e qualidade, conforme a equação 6 (KUGER, 2015).

$$\text{OEE} = \frac{\text{Total de produtos bons}}{\text{Tempo de carregamento} \times \text{Capacidade de produção teórica} / \text{h}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Fonte: Kwon; Lee (2014, *apud* BUSSO, 2012)

Quanto mais próximo de 1 for o OEE de um determinado processo, mais eficiente este processo será. Logo, como forma de referência para que a empresa possa avaliar seu grau de desempenho por meio do OEE, Hansen (2006) propõe a seguinte classificação de Eficiência Global dos Equipamentos: Abaixo de 65% é considerado como “inaceitável”; entre 65% e 75% considera-se “aceitável”; entre 75% e 85% é considerado como “muito bom” e a partir de 85% classifica a eficiência fabril como “classe mundial”.

Por fim, Raposo (2011 *apud* BUSSO, 2012) propõe 11 etapas necessárias para a implementação adequada do indicador OEE em uma fábrica, listadas a seguir:

- 1ª etapa: Treinamentos para capacitação e envolvimento de todos os setores da empresa, desde a alta administração até o chão de fábrica;
- 2ª etapa: Definição de equipe para medição e controle dos resultados do OEE;
- 3ª etapa: Realização de cronoanálise em cada linha de produção;
- 4ª etapa: Determinação do processo e equipamento gargalo na linha de produção;
- 5ª etapa: Identificação de perdas no processo, nesse caso representadas por paradas de linha;
- 6ª etapa: Utilização de documento padronizado e programa adequada para realizar coleta, anotações, armazenamento, cálculo e controle do indicador OEE;
- 7ª etapa: Treinamento dos colaboradores envolvidos a respeito dos cálculos e análises do indicador;
- 8ª etapa: Aplicação de Gestão à vista, com a evolução do indicador OEE e as causas dos seus resultados, para que todos da empresa possam acompanhar a realidade da empresa;
- 9ª etapa: Realização de Atividades de Pequenos Grupos (APGs), trata-se de reuniões com os colaboradores envolvidos para discutirem os resultados de OEE do dia anterior;

- 10ª etapa: Abertura de documento padronizado com informações sobre os possíveis problemas identificados e entrega ao representante da área responsável por realizar ações corretivas ou preventivas;
- 11ª etapa: Avaliação das ações realizadas, por meio de novas medições de OEE.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 TIPO E DELINEAMENTO DA PESQUISA

Para uma melhor compreensão acerca do tipo de pesquisa utilizado e procedimentos técnicos adotados na execução da pesquisa, essa deve ser classificada, quanto a sua natureza, à abordagem, aos objetivos e quanto aos procedimentos técnicos adotados (VENANZI, 2016).

Com relação a natureza da pesquisa, esse trabalho foi classificado como sendo de natureza aplicada, pois busca gerar uma aplicação prática, para buscar solucionar problemas específicos da rotina fabril (VENANZI, 2016).

Em relação a sua abordagem, a pesquisa foi classificada como quantitativa, pois busca realizar coleta, tratamento e análise de dados e informações quantitativos e mensuráveis e traduzi-los em resultados numéricos (VENANZI, 2016).

Conforme definição de GIL (2008), pesquisa exploratória é “o tipo de pesquisa que proporciona maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito e permitindo construir hipóteses”. Logo, esse trabalho se encaixa nessa definição, pois busca conhecer a fundo a utilização do indicador OEE como uma ferramenta de medição eficaz no processo produtivo de uma fábrica de condutores elétricos de cobre.

Por fim, devemos classificar a pesquisa quanto aos procedimentos técnicos, também chamado de delineamento da pesquisa. Para esse trabalho se adotou o método de estudo de caso, que segundo Gil (2008, p. 54), “consiste em um estudo profundo de um objeto de modo a buscar mais detalhamento e conhecimento”.

3.2 ETAPAS DE EXECUÇÃO DO PROJETO

O estudo vigente teve duração completa de 10 (dez) meses, do período de fevereiro a novembro, do ano de 2017. A fase de execução do projeto foi dividida em 7 (sete) etapas necessárias para o alcance dos objetivos do projeto. Essas etapas de aplicação do OEE se diferem das etapas de implantação propostas originalmente por Raposo (2011 *apud* BUSSO, 2012), pois se trata de uma utilização pontual da ferramenta e não de uma implementação da metodologia na fábrica. Ainda assim, as etapas foram baseadas e adaptadas neste autor e são as seguintes:

- a) Definição do processo crítico que será analisado;
- b) Definição da metodologia para coleta de dados;
- c) Adaptação do cálculo do OEE de acordo com as peculiaridades do processo;
- d) Coleta de dados e informações do processo;
- e) Cálculo do indicador OEE;
- f) Identificação dos principais déficits que contribuem para a redução do índice OEE;
- g) Análise dos resultados obtidos e identificação de oportunidades de melhoria no processo.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado o estudo de caso que foi realizado, o qual utilizou a ferramenta OEE como indicador de desempenho em uma fábrica de condutores elétricos de cobre.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

O estudo foi realizado em uma empresa do segmento de cabos elétricos, fabricante de vergalhões de alumínio, cabos elétricos de alumínio nus e isolados e cabos elétricos de cobre de baixa e média tensão. Está presente nos principais projetos de linha de transmissão e geração de energia elétrica do Brasil, como Belo Monte e Rio Madeira, além de fornecer seus produtos também para concessionárias, lojas de materiais de construção, indústrias, projetos de energia renovável e mercado para fins elétricos e siderúrgicos.

Iniciou sua operação em 1998 e está instalada no município de Barcarena, estado do Pará, região da vila do conde e atualmente conta com 90% da sua mão-de-obra proveniente da região de Barcarena e 95% de sua aquisição de matéria-prima, materiais e serviços provenientes de fornecedores paraenses.

Possui como missão fornecer vergalhão de alumínio, cabos de alumínio e cabos de cobre, atendendo às necessidades dos clientes, de forma competitiva, respeitando a segurança, o meio ambiente e a comunidade. E sua visão se baseia em ser reconhecida como uma das principais fabricantes de vergalhão de alumínio, cabos de alumínio e cabos de cobre do Brasil, buscando sempre o desenvolvimento de novos produtos e negócios para o setor de energia.

4.2 FÁBRICA DO COBRE

A fábrica do cobre surgiu com o intuito de explorar novos nichos de mercado, entre eles o da construção civil e iniciou sua atuação ainda em baixa escala, em 2014. Atualmente a empresa passa por um constante processo de expansão, visando alcançar metas estratégicas de produção e atender as demandas que têm crescido continuamente.

Devido à recente atuação nesse nicho, ainda se encontra em desenvolvimento de novas técnicas e metodologias de gestão que busquem gerar melhoria contínua dos processos. Dessa forma, a fábrica se mostrou um ótimo alvo para atuação desse trabalho que visa utilizar de uma ferramenta muito difundida e prática da engenharia de produção para auxiliar na tomada de decisão e melhoria contínua do seu processo produtivo.

Diferentemente da fábrica de alumínio que produz sob pedido de venda, a produção de condutores elétricos de cobre é do tipo *make to stock*, ou seja, sempre há produção, mesmo que não seja na mesma proporção da demanda, o restante é estocado para uma próxima venda. Devido ao variado *mix* de produtos a fábrica possui alta flexibilidade em seu maquinário tanto em volume quanto em variedade, somando um total de 21 máquinas distribuídas por toda a extensão da fábrica, juntamente com o auxílio de uma vasta mão-de-obra desde os cargos mais operacionais até os estratégicos.

Atualmente, a empresa passa por um processo de expansão tanto nas estruturas administrativas quanto fabris, que ampliarão a capacidade de produção de cabos de cobre, além de possibilitarem o lançamento de novos produtos almejando maior participação de mercado em produtos de maior valor agregado.

4.2.1 LINHA DE PRODUTOS

A linha de produtos de cobre é bem diversificada contando com vários tipos de fios e cabos para aplicações e usos diversos, como em sistemas elétricos domésticos, comerciais e industriais, em painéis industriais, redes aéreas e subterrâneas de distribuição, projetos de energia fotovoltaicas, eletrodomésticos, entre outros. Dentre as propriedades encontradas nos seus produtos, destacam-se a não propagação de chama, fumaça e gases tóxicos, um importante fator de segurança e confiabilidade para as instalações atuais de baixa e alta concentração de pessoas.

O portfólio da fábrica do cobre é composto pelos itens abaixo:

- Fio de Cobre Nu
- Cabo de Cobre Nu
- Fio Tecnofire Antichama 450/750 V

- Cabo Tecnofire Rígido Antichama 450/750 V
- Cabo Tecnofire Flexível Antichama 450/750 V
- Cabo Tecnofire Flexível Antichama 450/750 V 105°C
- Cabo Tecnax Rígido Antichama 0,6/1 kV Singelo e Múltiplo
- Cabo Tecnax Flexível Antichama 0,6/1 kV Singelo e Múltiplo
- Cabo Tecnax Flexível HEPR 0,6 / 1 kV Singelo e Múltiplo
- Cabo Tecnotox Flexível 450 / 750V Não Halogenado 70°C
- Cabo Tecnotox Flexível 0,6 / 1kV Não Halogenado 90°C Singelo e Múltiplo
- Cabo Soldertec Flexível 450 / 750 V
- Cabo CopperTec WPP
- Cabo de Controle Sem Blindagem Metálica
- Cabo de Controle Blindado Com Fita de Cobre
- Cordões Torcidos Flexíveis Classe 5
- Cordões Paralelos Flexíveis Classe 5
- Cabo Solartec de Cobre Estanhado Flexível
- Cabo Solartec Alumínio Liga 8176

4.2.2 PROCESSO PRODUTIVO

A produção de condutores elétricos de cobre é constituída de vários processos interdependentes. Inicialmente, os vergalhões de cobre que são comprados diretamente de fornecedores, passam por um processo de deformação a frio chamado Trefilação Primária, para formação dos fios de cobre. Trefilar significa redesenhar o material de acordo com as especificações, nesse caso os vergalhões de dimensões circulares maiores, sofrem sucessivas reduções de seção transversal até se tornarem fios de cobre também circulares, mas de menores diâmetros que variam entre 1,36 mm e 4,50 mm e o processo é a frio pois não precisa de emissão de calor para realizar tais deformações, ela ocorre apenas com a utilização de lubrificante e tração do fio por dentro de feiras de redução. Esses vergalhões entram no processo, acondicionados em jumbo (figura 6) e os fios que saem do processo podem ser acondicionados em espulas (figura 8) ou gaiolas.

A trefilação pode ocorrer em uma etapa ou em duas quando o fio precisa ser reduzido a menores diâmetros, esse processo é denominado Trefilação Secundária, no qual

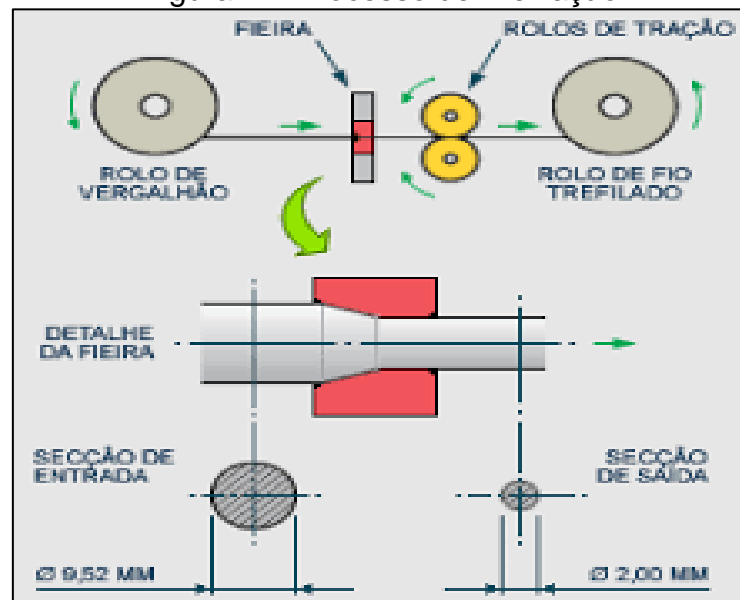
um conjunto de fios de cobre proveniente da trefilação primária acondicionados em espulas ou gaiolas, é novamente trefilado para gerar fios de cobre de menores diâmetros que também são acondicionados em espulas. Os diâmetros podem variar de 0,21 mm a 4,5 mm. O conjunto desses fios é intitulado feixe.

Figura 6– Vergalhão acondicionado em jumbo



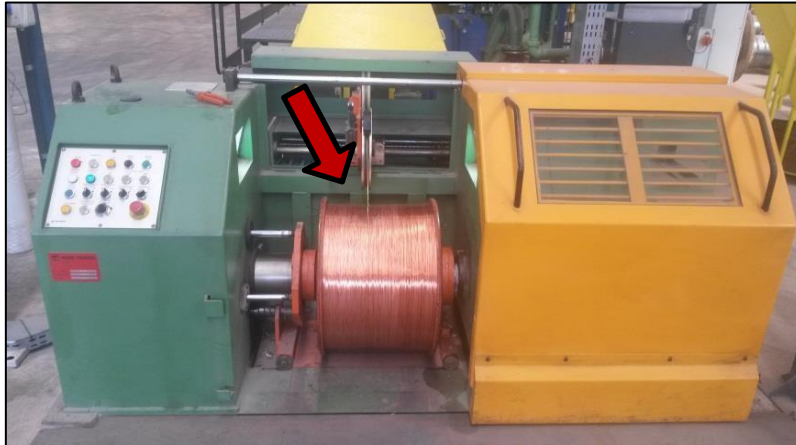
Fonte: Empresa (2017)

Figura 7 – Processo de Trefilação



Fonte: Empresa (2017)

Figura 8 – Fio de cobre acondicionado em espula



Fonte: Empresa (2017)

O produto da trefilação é denominado fio de cobre nu, que pode ser comercializado como produto acabado, caso contrário esses fios trefilados passam para o próximo processo, intitulado Encordoamento. Nessa etapa, um conjunto de espulas contendo fios trefilados é distribuído em uma linha de encordoamento e passam por um processo de torção e reunião dos fios de cobre, de maneira helicoidal, gerando como produto o cabo de cobre nu (Figura 9) acondicionado em carretéis de madeira ou de aço. É importante ressaltar que cabo nu é o cabo que não possui qualquer revestimento ou isolamento.

Figura 9 – Cabo de cobre nu, produto do encordoamento de fios



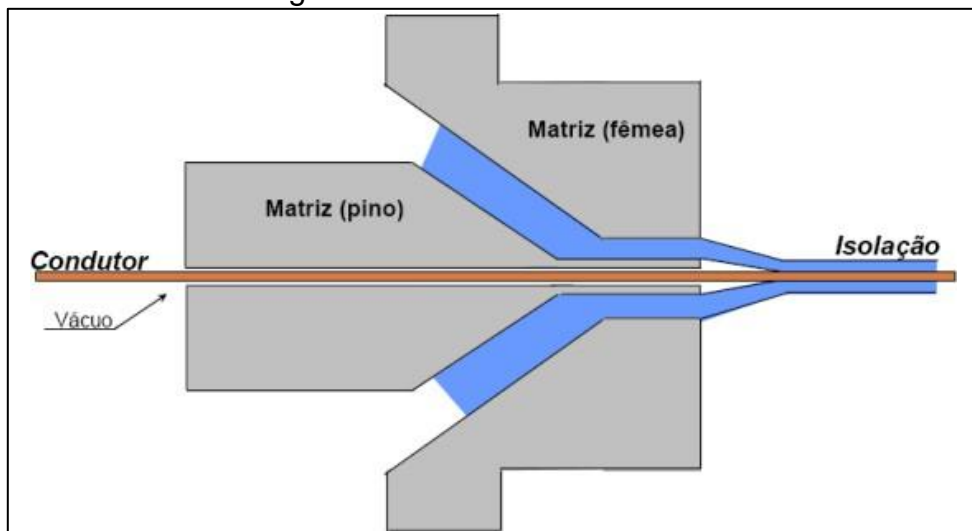
Fonte: Empresa (2017)

O cabo de cobre nu pode ser comercializado como produto final ou pode servir de matéria-prima para o próximo processo. Alguns cabos específicos passam pelo processo de Blindagem e Enfaixamento, no qual o cabo pode ser blindado com fios de cobre cujo principal objetivo é isolar o campo magnético e também pode ser enfaixado com fita cobre, fita poliéster ou fita *water block*, dependendo do objetivo.

Contudo, a maior parte dos cabos segue direto para o processo de Extrusão. Nesse processo o cabo de cobre nu é inserido em uma Extrusora e durante o processo este é revestido por uma camada de material isolante, cujo objetivo é isolar a eletricidade do cabo para prevenir eventuais emissões de cargas elétricas aos usuários finais e curtos-circuitos. Vale ressaltar que durante o processo de extrusão o cabo pode passar também pela etapa de impressão, na qual são impressas as descrições do produto em toda a extensão do cabo, geralmente com intervalos de metro a metro.

O processo de Extrusão (Figura 10) gera carretéis de madeira ou aço, bobinado com cabo de cobre isolado (Figura 11). Caso esse represente o produto para o cliente final, o carretel passa por um processo de repasse e/ou fracionamento, no qual o cabo pode ser somente repassado para verificar se existe algum furo na isolação e fracionado na metragem solicitada pelo cliente. Senão, o cabo segue da extrusão para o processo de Reunião. Esse processo ocorre nos cabos que são multipolares, multiplexados ou de características específicas como os cabos de controle. Nesse processo os cabos isolados serão reunidos entre si de forma helicoidal e bobinados em um carretel de madeira ou aço, como podemos ver na figura 13.

Figura 9 – Processo de Extrusão



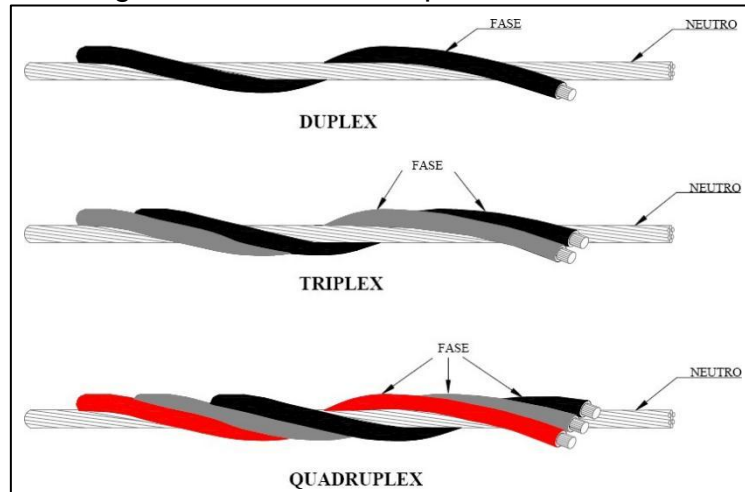
Fonte: Empresa (2017)

Figura 10 – Cabo de cobre isolado acondicionado em carretel de madeira



Fonte: Empresa (2017)

Figura 11 – Cabos multiplexados reunidos



Fonte: Empresa (2017)

Figura 12 – Cabos reunidos acondicionados em carretéis de madeira



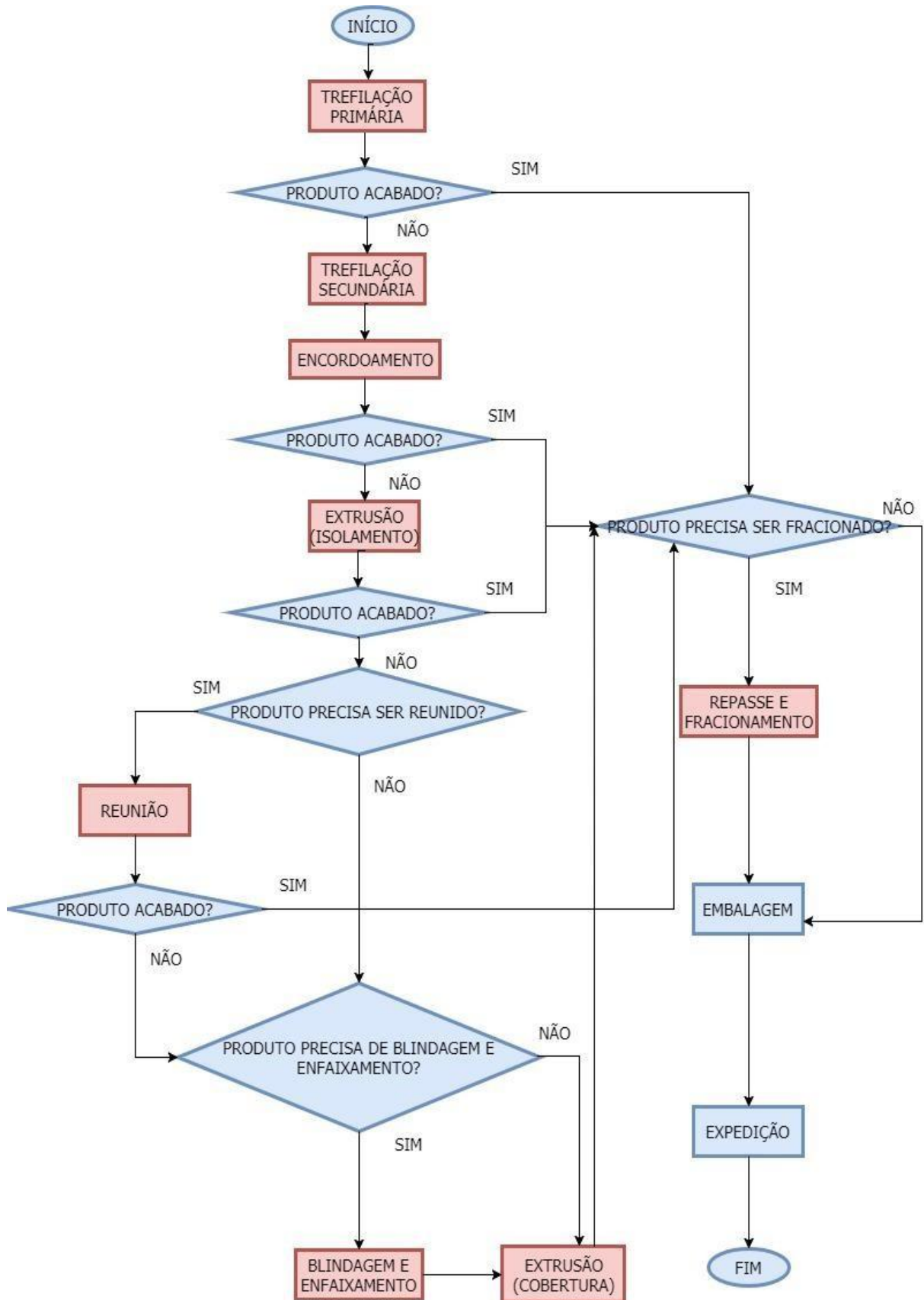
Fonte: Empresa (2017)

Após a reunião, alguns cabos ainda retornam para o processo de Extrusão, para receber uma segunda camada chamada Cobertura, que serve principalmente para proteger o cabo contra eventuais choques mecânicos.

Por fim, todos os produtos, com exceção dos que são acondicionados em forma de rolos ou em MDF, vão para a etapa de Embalagem, onde os carretéis de madeira próprios para acondicionamento de condutores são devidamente fechados e finalmente são expedidos para o cliente.

Vale ressaltar que são realizados ensaios da qualidade após a maioria os processos e todos passam por inspeções durante o processo. O primeiro ensaio da qualidade é realizado logo após o processo de trefilação, no qual o cabo é submetido a diversos testes para medir seus dimensionais, resistência elétrica e mecânica. Após a fase de encordoamento os mesmos ensaios são realizados e após a fase de isolamento na extrusão, além dos ensaios dimensionais e mecânicos, os cabos isolados são encaminhados para os ensaios de tensão elétrica aplicada, onde o cabo é destinado a uma piscina e sua ponta é ligada a uma chave com emissão de cargas elétricas, se o cabo for reprovado, significa que houve fuga de corrente elétrica. Quando isso ocorre é necessário que o cabo seja repassado em uma linha de repasse e fracionamento para que a parte danificada seja identificada e retirada, subdividindo o material. Depois de repassado ele retorna aos ensaios e, se reprovado novamente, é dado como não conforme contabilizado como perdas de processo.

Figura 13 – Fluxograma Simplificado do Processo Produtivo da Fábrica do Cobre



Fonte: Autor (2017)

4.3 DEFINIÇÃO DO PROCESSO CRÍTICO

Diante da análise do fluxograma do processo produtivo da fábrica do cobre, pode-se notar que a trefilação primária é o ponto de partida do processo e os demais processos dependem desta para supri-los em matéria-prima, além disso, todos os produtos da planta passam obrigatoriamente por esse processo. Também vale ressaltar que a trefilação primária conta apenas com uma única máquina para suprir todo esse processo, o que pode significar uma baixa capacidade instalada comparada, por exemplo, com o processo subsequente que é o de encordoamento que possui 7 máquinas à disposição.

Dessa forma, a trefilação primária foi escolhida como o processo a ser alvo de estudo desse trabalho devido a sua criticidade e importância na continuidade do fluxo de produção, a qual foi estudada de forma isolada.

4.4 COLETA DE DADOS

Inicialmente foram analisadas e definidas todas as tipologias de paradas de equipamento observadas no processo de trefilação primária, assim como também foram classificadas em paradas programadas e paradas não programadas, como mostra o quadro a seguir:

Quadro 1 – Paradas operacionais referentes à Linha de Trefilação Primária

CATEGORIA	ATIVIDADE	PARADAS PROGRAMADAS	PARADAS NÃO PROGRAMADAS
SETUP	AJUSTE	X	
	PREPARAÇÃO DA LINHA	X	
	TROCA DE ESPULA	X	
	TROCA DE FIEIRA	X	
	TROCA DE PRODUTO	X	
	TROCA DE VERGALHÃO	X	
OUTROS	DDS	X	
	TESTE DE ENGENHARIA	X	
	HORARIO DE REFEIÇÃO/DESCANSO	X	
	PARADA PROGRAMADA	X	
	SEM PROGRAMAÇÃO	X	
MANUTENÇÃO	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	X	
MATÉRIA-PRIMA	EMBRAMA FIO COBRE MOLE		X
	EMBRAMA VERGALHÃO COBRE		X

*Continua

Quadro 1 – Paradas operacionais referentes à Linha de Trefilação Primária

*Continuação

MATÉRIA-PRIMA	RUPTURA FIO COBRE DURO		X
	RUPTURA FIO COBRE MEIO DURO		X
	RUPTURA FIO COBRE MOLE		X
	RUPTURA VERGALHÃO COBRE		X
	RETRIFICAÇÃO		X
FALTA	FALTA DE ENERGIA		X
	FALTA DE EMPILHADEIRA		X
	FALTA DE FIEIRA		X
	FALTA DE OPERADOR		X
	FALTA DE VERGALHÃO		X
MANUTENÇÃO	MANUTENÇÃO CORRETIVA		X

Fonte: Autor (2017)

As ocorrências de paradas inerentes ao processo de produção, como é o caso do setup e manutenção preventiva e as paradas devido à legislação e a procedimentos da empresa, como o DDS, horários de refeição e outros foram enquadrados como Paradas Programadas, ou seja, a fábrica tem noção de que ocorrerão essas paradas. Ainda assim, vale ressaltar que as paradas programadas não entram no cálculo de OEE, nem no cálculo do fator de utilização da fábrica, por esse motivo alguns autores não consideram o setup como uma parada programada, pois caso seu valor esteja muito elevado pode afetar os resultados de utilização, distorcendo assim a realidade dos indicadores produtivos. Porém, como um estudo de setup é extenso e demorado, decidiu-se não o considerar para efeito de cálculo nesse trabalho, mas como uma sugestão para estudos futuros.

Enquanto que as paradas não programadas podem refletir ineficiências gerenciais operacionais ou de fornecimento e são consideradas indesejadas no processo, neste caso foram consideradas as faltas no geral desde a paradas ocasionadas pela má qualidade da matéria-prima até faltas de energia e manutenção corretiva.

Os dados necessários para o cálculo do Fator Disponibilidade ou Utilização, foram coletados diretamente do histórico de ocorrências do Sistema Integrado de Manufatura (SIM), o qual é alimentado constantemente pelos operados da área, desde o final do ano de 2016, onde são apontadas as paradas que ocorreram e por quanto tempo o processo esteve sob esta condição.

Foram coletados dados de todo primeiro semestre de 2017, ou seja, de janeiro a junho, porém como os dados de janeiro apresentaram valores muito divergentes dos outros meses, este deixou de ser considerado para fins de cálculos, visto que buscamos extrair uma média entre esses meses para representar o fator de utilização de máquina no primeiro semestre desse ano.

A figura 15 nos mostra quais as paradas que ocorreram a cada mês do primeiro semestre, nos indicando quanto tempo elas duraram e qual o percentual de cada parada por categoria geral de paradas. Além disso, a figura também define o percentual que cada categoria possui de participação no total de paradas por mês. Por fim, foi tirada uma média de todos os meses, o que nos possibilitou obter um valor médio de tempo de paradas por categoria.

Figura 14 – Ocorrências de paradas entre os meses de fevereiro a julho de 2017

PARADAS PROGRAMADAS													
TREFILAÇÃO PRIMÁRIA	FEV	(%)	MAR	(%)	ABR	(%)	MAI	(%)	JUN	(%)	JUL	(%)	MÉDIA (h)
SETUP (min)	1718,00	67,99%	3476,00	63,14%	3534,00	64,36%	3062,00	29,35%	3399,00	50,12%	4415,00	43,07%	50,63
AJUSTE	0,00	0,00%	93,00	2,68%	199,00	5,63%	498,00	16,26%	528,00	15,53%	89,00	2,02%	4,39
PREPARAÇÃO DA LINHA	0,00	0,00%	206,00	5,93%	282,00	7,98%	302,00	9,86%	99,00	2,91%	560,00	12,68%	2,96
TROCA DE BOBINADOR	698,00	40,63%	758,00	21,81%	581,00	16,44%	755,00	24,66%	547,00	16,09%	1441,00	32,64%	11,13
TROCA DE FIEIRA	0,00	0,00%	39,00	1,12%	72,00	2,04%	20,00	0,65%	124,00	3,65%	0,00	0,00%	0,85
TROCA DE PRODUTO	1017,00	59,20%	2209,00	63,55%	1878,00	53,14%	1239,00	40,46%	1986,00	58,43%	1933,00	43,78%	27,76
TROCA DE VERGALHÃO	3,00	0,17%	171,00	4,92%	522,00	14,77%	248,00	8,10%	115,00	3,38%	392,00	8,88%	3,53
OUTROS (min)	809,00	32,01%	1589,00	28,86%	1957,00	35,64%	6991,00	67,01%	2945,00	43,42%	5836,00	56,93%	47,6
DDS	449,00	55,50%	735,00	46,26%	705,00	36,02%	735,00	10,51%	705,00	23,94%	630,00	10,80%	11,10
TESTE DE ENGENHARIA	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	957,00	32,50%	3814,00	65,35%	3,19
HORARIO DE REFEIÇÃO/DESCANSO	360,00	44,50%	734,00	46,19%	1217,00	62,19%	903,00	12,92%	554,00	18,81%	1392,00	23,85%	12,56
PARADA PROGRAMADA	0,00	0,00%	120,00	7,55%	35,00	1,79%	639,00	9,14%	250,00	8,49%	0,00	0,00%	3,48
SEM PROGRAMAÇÃO	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	4714,00	67,43%	479,00	16,26%	0,00	0,00%	17,31
MANUTENÇÃO PREVENTIVA (min)	0,00	0,00%	440,00	7,99%	0,00	0,00%	380,00	3,64%	438,00	6,46%	0,00%	0,00%	4,2
PARADAS NAO PROGRAMADAS													
TREFILAÇÃO PRIMÁRIA	FEV	(%)	MAR	(%)	ABR	(%)	MAI	(%)	JUN	(%)	JUL	(%)	MÉDIA (h)
MATERIA PRIMA (min)	1937,00	11,31%	4942,00	22,42%	4721,00	19,37%	1577,00	9,13%	3970,00	17,87%	2373,00	12,21%	57,2
EMBRAMA FIO COBRE MOLE	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	15,00	0,95%	25,00	0,63%	367,00	15,47%	0,13
EMBRAMA VERGALHÃO COBRE	15,00	0,77%	0,00	0,00%	44,00	0,93%	312,00	19,78%	0,00	0,00%	186,00	7,84%	1,24
RUPTURA FIO COBRE DURO	0,00	0,00%	60,00	1,21%	0,00	0,00%	65,00	4,12%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,42
RUPTURA FIO COBRE MEIO DURO	139,00	7,18%	242,00	4,90%	196,00	4,15%	560,00	35,51%	30,00	0,76%	48,00	2,02%	3,89
RUPTURA FIO COBRE MOLE	510,00	26,33%	350,00	7,08%	199,00	4,22%	131,00	8,31%	80,00	2,02%	540,00	22,76%	4,23
RUPTURA VERGALHÃO COBRE	0,00	0,00%	420,00	8,50%	85,00	1,80%	94,00	5,96%	270,00	6,80%	626,00	26,38%	2,90
RETREFILAÇÃO	1273,00	65,72%	3870,00	78,31%	4197,00	88,90%	400,00	25,36%	3565,00	89,80%	606,00	25,54%	44,35
FALTA (min)	14975,00	87,47%	16936,00	76,82%	19218,00	78,86%	14737,00	85,35%	15458,00	69,57%	16437,00	84,59%	271,1
FALTA DE ENERGIA	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	8,00	0,05%	304,00	1,97%	80,00	0,49%	1,04
FALTA DE EMPILHadeira	0,00	0,00%	11,00	0,06%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,04
FALTA DE FIEIRA	0,00	0,00%	0,00	0,00%	107,00	0,56%	0,00	0,00%	60,00	0,39%	0,00	0,00%	0,56
FALTA DE OPERADOR	63,00	0,42%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,00	0,00%	0,21
FALTA DE VERGALHÃO	14912,00	99,58%	16925,00	99,94%	19111,00	99,44%	14729,00	99,95%	15094,00	97,65%	16357,00	99,51%	269,24
MANUTENÇÃO CORRETIVA (min)	208,00	1,21%	167,00	0,76%	432,00	1,77%	952,00	5,51%	2790,00	12,56%	622,00	3,20%	15,2

Fonte: Autor (2017)

O fator *performance* ou desempenho foi coletado *in loco* em contato direto com a máquina de trefilação primária. Cada máquina possui uma velocidade máxima especificada pelo fornecedor e por algum motivo essa pode vim a não rodar em sua velocidade máxima, reduzindo assim o seu fator desempenho. Dessa forma foi levantado o rendimento da máquina de trefilação primária, para cada um dos produtos acabados e semiacabados que ela produz atualmente na fábrica. Como esse mesmo levantamento não foi realizado para os meses anteriores, levou-se em consideração nesse trabalho que o rendimento dessa máquina em questão é constante e o valor foi refletido para o primeiro semestre de 2017.

Além disso, vale ressaltar que não foram consideradas as rampas de aceleração e desaceleração, visto que as mesmas não interferiam de forma significativa no rendimento total da máquina. Entende-se por rampas de aceleração, o tempo destinado até a estabilização da velocidade constante da máquina, que ocorre no começo do processo e por rampa de desaceleração, o momento final do processo no qual o equipamento desacelera a partir da velocidade constante de processo até o repouso.

Quadro 2 – Velocidade máxima e real da Trefiladora Primária

Diâmetro dos fios (mm)	Velocidade Nominal (m/min)	Velocidade Real (m/min)
1,36	35	30
1,7	35	30
1,76	35	31,5
1,83	35	31,5
2,06	30	26
2,12	28	23
2,2	24	22
2,5	21	17
2,7	18	15
2,9	15	13,5
3	12	11
3,25	11	10
3,45	10	10
3,5	9	7,5
3,55	8	7
3,75	7	5,5
4	6,5	6
4,12	6	5,5
4,45	5	4,5
4,5	4	4

Fonte: Autor (2017)

Quanto ao fator qualidade, foram levantados dados com o setor de qualidade e PCP das perdas diretas do processo e das perdas de lotes de produção identificados como não conformes nos ensaios de qualidade.

Quadro 3 – Perdas por qualidade de fevereiro a junho de 2017

Meses (2017)	fev	mar	abr	mai	Jun	Jul
Produção (t)	151	229	195	309	197,719	304
Perdas (t)	0,453	0,466	0,280	0,210	0,33	0,591

Fonte: Autor (2017)

O quadro 3 mostra os dados quantitativos coletados de fios de cobre produzidos e as perdas de cobre geradas em toneladas na Trefiladora Primária entre os meses de fevereiro e julho de 2017.

4.5 ANÁLISE DOS DADOS E CÁLCULO DOS FATORES

A partir dos dados coletados e informações tratadas foram calculados cada um dos fatores, começando com o fator de utilização da máquina.

- Cálculo do Fator Utilização (FU):

Para os cálculos do FU, foram utilizados os dados extraídos da figura 15. Para demonstração dos cálculos, serão utilizados como exemplo exclusivamente os dados do mês de fevereiro, os outros meses foram calculados da mesma maneira.

Primeiramente, levando em consideração que a fábrica trabalha 24h por dia divididos em 3 turnos, tem-se disponíveis então 720 horas para os meses com 30 dias, 744 horas para os meses com 31 dias e 672 horas especificamente para o mês de fevereiro com 28 dias.

Então foram retiradas as paradas programadas do tempo disponível e assim obtive-se o tempo disponível programado (TP) de cada mês que é o tempo utilizado no cálculo do fator de utilização, segundo o cálculo a seguir:

$$TP = \text{Tempo Disponível} - \text{Paradas Programadas} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$TP = 672 - 42 = 630 \text{ horas}$$

Em seguida, subtraiu-se do tempo programado os tempos de paradas não programadas e gerou-se o tempo disponível efetivo (TE) ou de operação, tempo este em que a máquina esteve realmente produzindo.

$$TE = TP - \text{Paradas não programadas} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$TE = 630 - 285 = 345 \text{ horas}$$

Logo, após esses resultados, o fator de utilização foi calculado com base na equação 3 (pg. 29):

$$FU = \frac{345}{630} = 0,5470 \text{ ou } 54,70\%$$

Isso significa dizer que a máquina esteve em operação de fato apenas 54,70% do seu tempo programado para produzir durante o mês de fevereiro.

Estendendo estes cálculos para os demais meses, pode-se demonstrar seus resultados obtidos de fatores de utilização e calcular um valor FU médio para representar o primeiro semestre de 2017, de acordo com o exposto na tabela a seguir:

Tabela 1– Análise do Fator de Utilização

RESULTADOS	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	MÉDIA
TEMPO DISPONÍVEL TOTAL TREF. (h)	672	744	720	744	720	744	720
TOTAL TEMPO PARADAS PROGRAMADAS (h)	42	92	92	174	113	171	102
TEMPO DISPONÍVEL PROGRAMADO (h)	630	652	628	570	607	573	618
TOTAL PARADAS NÃO PROGRAMADAS (h)	286	367	406	288	370	324	343
TEMPO DISPONÍVEL EFETIVO (h)	345	285	222	282	237	249	274
FATOR DE UTILIZAÇÃO	54,70%	43,67%	35,37%	49,52%	38,99%	43,49%	44,39%

Fonte: Autor (2017)

A tabela 1 expressa o valor médio de utilização da máquina no primeiro semestre do ano de 2017 que foi de 44,39 %.

- Cálculo do Fator *Performance* (FP):

Para o cálculo do fator *performance*, utilizou-se os dados de velocidade nominal e a velocidade real da máquina expressos no quadro 2 e realizou-se os cálculos com base na utilização da equação 4 (pa. 29).

Utilizando o fio 1,36 como exemplo, o cálculo ficaria da seguinte forma:

$$FP = \frac{30}{35} = 0,8571 = 85,71\%$$

Dessa forma, utilizando o cálculo para os outros produtos obtemos os seguintes resultados de FP:

Quadro 4 – Fator *Performance*

Diâmetro dos fios (mm)	Velocidade Nominal (m/min)	Velocidade Real (m/min)	FP
1,36	35	30	85,71%
1,7	35	30	85,71%
1,76	35	31,5	90,00%
1,83	35	31,5	90,00%
2,06	30	20	66,67%
2,12	28	23	82,14%
2,2	24	22	91,67%
2,5	21	15	71,43%
2,7	18	15	83,33%
2,9	15	13,5	90,00%
3	12	11	91,67%
3,25	11	10	90,91%
3,45	10	8,5	85,00%
3,5	9	7,5	83,33%
3,55	8	7	87,50%
3,75	7	5,5	78,57%
4	6,5	6	92,31%
4,12	6	5,5	91,67%
4,45	5	4,5	90,00%
4,5	4	3	75,00%

Fonte: Autor (2017)

Com base na média desse resultado, pode-se concluir que a máquina em estudo utiliza apenas 85,13% do desempenho ao qual foi projetada para trabalhar.

Para o cálculo do fator qualidade considerou-se os dados levantados no quadro 3 e calculou-se o fator com base na equação 5 (pg. 29) como exemplificado abaixo para o mês de fevereiro:

$$FQ = \frac{150,14}{150,59} = 0,9969 = 99,70\%$$

O resultado desse cálculo nos mostra que para o mês de fevereiro, dos 100% produzidos no processo de trefilação primária, 99,69% são entregues conformes para o cliente interno subsequente. Os resultados dos outros meses foram representados na tabela a seguir:

Tabela 2– Fator Qualidade com base no índice de perdas de fevereiro a junho de 2017

Meses	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
Produção (t)	150,595	228,793	194,734	309,462	197,719	304,164
Perdas (t)	0,453	0,466	0,280	0,210	0,33	0,591
FQ	99,70%	99,80%	99,86%	99,93%	99,83%	99,81%

Fonte: Autor (2017)

Com isso, verificou-se que a média de fator da qualidade durante o primeiro semestre de 2017 foi de aproximadamente 99,82%, o que nos representa um valor muito baixo de perda por processo ou qualidade.

4.6 CÁLCULO DO OEE E ANÁLISE DAS PERDAS

Tendo em mãos os fatores calculados foi possível calcular o indicador OEE para cada um dos meses do primeiro semestre de 2017. Os cálculos foram realizados com base na equação 2, como representado abaixo para o mês de fevereiro:

$$OEE = (0,5470 \times 0,8861 \times 0,9970) * 100 \% = 48,32$$

O quadro 5 nos apresenta o resultado do OEE para todos os outros meses e um valor médio que expressa esse quantitativo:

Quadro 5 – Resultados OEE

MESES	FU	FP	FQ	OEE
FEV	54,70%	85,13%	99,70%	46,43%
MAR	43,67%	85,13%	99,80%	37,10%
ABR	35,37%	85,13%	99,86%	30,07%
MAI	49,52%	85,13%	99,93%	42,13%
JUN	38,99%	85,13%	99,83%	33,14%
JUL	43,49%	85,13%	99,86%	36,97%
MÉDIA	44,39%	85,13%	99,82%	37,72%

Fonte: Autor (2017)

O quadro 5 nos mostra uma média geral de 37,72% de OEE no primeiro semestre de 2017, valor muito abaixo do valor mínimo aceitável segundo Hansen (2006 *apud* KUGER, 2015) que define como “inaceitável” OEE abaixo de 65%. Isso nos indica que apenas 37,72% do tempo programado para produção foi eficaz, o resto foi considerado perdas.

A partir dos percentuais de eficiência de cada fator, também é possível calcular o percentual de perdas geradas por cada um. As perdas referentes ao fator de utilização podem ser encontradas por meio da diferença entre o tempo programado (TP) e o tempo de operação ou tempo efetivo (TE), de acordo com o exemplo a seguir referente ao mês de fevereiro.

$$\text{Perda de tempo por utilização} = \text{TP} - \text{TE} \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\text{Perda de tempo por utilização} = 630 - 345 = 285 \text{ h}$$

$$\text{Perdas por utilização} = \frac{\text{Perda de tempo por utilização}}{\text{Tempo Programado}} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\text{Perdas por utilização} = \frac{285}{630} = 0,4530 = 45,30\%$$

As perdas de tempo por *performance* foram calculadas relacionando o tempo efetivo ou de operação (TE) e o fator *performance* médio (FP).

Tempo Efetivo de Operação = 345 h

$$\text{Perda de tempo por performance} = \text{TE} - (\text{TE} \times \text{FP}) \quad (\text{Eq. 11})$$

$$\text{Perda de tempo por performance} = 345 - (345 \times 0,8571) = 49,22 \text{ h}$$

$$\text{Perda por performance} = \frac{\text{Perda de tempo por performance}}{\text{Tempo Programado}} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$\text{Perda por performance} = \frac{49,22}{693} = 0,078 = 7,81\%$$

Para obter a perda por qualidade é necessário primeiramente calcular a quantidade total produzida durante o tempo de operação, segundo as equações a seguir:

$$\text{Qtd Total Produzida} = \text{Vel. Mássica média} \times \text{Tempo Efetivo} \quad (\text{Eq. 13})$$

Onde,

$$\text{Vel. mássica média (kg/h)} = \text{massa do fio (kg/km)} \times \text{Vel. real (km/h)} \quad (\text{Eq. 14})$$

Logo, para o mês fevereiro, considerando o fio 1,36 de massa igual a 12,91 kg/km tem-se:

$$\text{Velocidade mássica média (kg/h)} = 12,91 \text{ kg/km} \times 30 \text{ m/s} \times 3,6 = 1394,28 \text{ kg/h}$$

$$\text{Quantidade Total Produzida} = 1394,28 \text{ kg/h} \times 345 = 481.026,60 \text{ kg}$$

A próxima etapa consiste em multiplicar a quantidade total produzida pelo Fator de Qualidade e dessa forma encontrar o valor de material bom produzido e a diferença entre a quantidade total e a quantidade boa produzida que consiste na perda por desperdício.

$$\text{Quantidade boa Produzida} = \text{Qtd total produzida} \times \text{Fator de qualidade} \quad (\text{Eq. 15})$$

$$\text{Quantidade boa produzida} = 481.026,60 \text{ kg} \times 99,70\% = 479.583,52 \text{ kg}$$

$$\text{Perda por desperdício} = 481.026,60 \text{ kg} - 479.583,52 \text{ kg} = 1.443,07 \text{ kg}$$

Logo, a perda de tempo por qualidade é igual a razão entre a perda por qualidade e a velocidade mássica teórica, expressa pela equação a seguir:

$$\text{Perda de tempo por qualidade} = \frac{\text{Perda por desperdício}}{\text{Vel. Mássica teórica}} \quad (\text{Eq. 16})$$

$$\text{Perda de tempo por qualidade} = \frac{1443,07}{1626,66} = 0,8871\text{h}$$

Por fim, calcula-se a perda por qualidade de acordo com a equação a seguir:

$$\text{Perda por Qualidade} = \frac{\text{Perda de tempo por qualidade}}{\text{Tempo Programado}} \quad (\text{Eq. 17})$$

$$\text{Perda por Qualidade} = \frac{0,8871}{630} = 0,0014 = 0,14\%$$

$$\text{Perda Total} = \text{Perda utilização} + \text{Perda } performance + \text{Perda qualidade} \quad (\text{Eq. 18})$$

$$\text{Perda Total} = 45,30\% + 7,81\% + 0,14\% = 53,25 \%$$

Esses mesmos valores de perdas foram calculados para os outros meses como podemos observar nos quadros 6 e 7 a seguir, em percentual e em horas, respectivamente:

Quadro 6 – Percentual de perdas mensais dos fatores e OEE para o fio 1,36 mm

MESES	Perda por Utilização	Perda por Performance	Perda por Qualidade	Perda total OEE
FEV	45,30%	7,81%	0,1410%	53,25%
MAR	56,33%	6,24%	0,0762%	62,65%
ABR	64,63%	5,05%	0,0436%	69,73%
MAI	50,48%	7,07%	0,0288%	57,58%
JUN	61,01%	5,57%	0,0558%	66,63%
JUL	56,51%	6,21%	0,0724%	62,79%
MÉDIA	55,71%	6,33%	0,0696%	62,11%

Fonte: Autor (2017)

Quadro 7 – Perdas mensais em horas dos fatores e OEE para o fio 1,36 mm

MESES	Por Utilização (h)	Por Performance (h)	Por Qualidade (h)	Perda Total (h)
FEV	285,33	49,22	0,89	335,44
MAR	367,42	40,69	0,50	408,60
ABR	406,18	31,76	0,27	438,21
MAI	287,77	40,34	0,16	328,27
JUN	370,30	33,81	0,34	404,45
JUL	323,87	35,61	0,42	359,89
MÉDIA	343,40	39,16	0,42	382,98

Fonte: Autor (2017)

Para maior aprofundamento da análise, criou-se um cenário quantitativo de perdas, no qual apenas o fio 1,36 fosse produzido para ser comercializado durante um mês inteiro, levando em consideração os valores médios encontrados nos cálculos e a perda total média expressa nas tabelas anteriores.

Primeiramente, calculou-se a produção média máxima em metros para o fio 1,36 mm, levando em consideração o tempo total programado médio, velocidade máxima de máquina e qualidade máxima dos produtos, ou seja, 100% de OEE.

$$\text{Produção máxima} = 617,54 \times 3,6 \times 35 = 77.810 \text{ m}$$

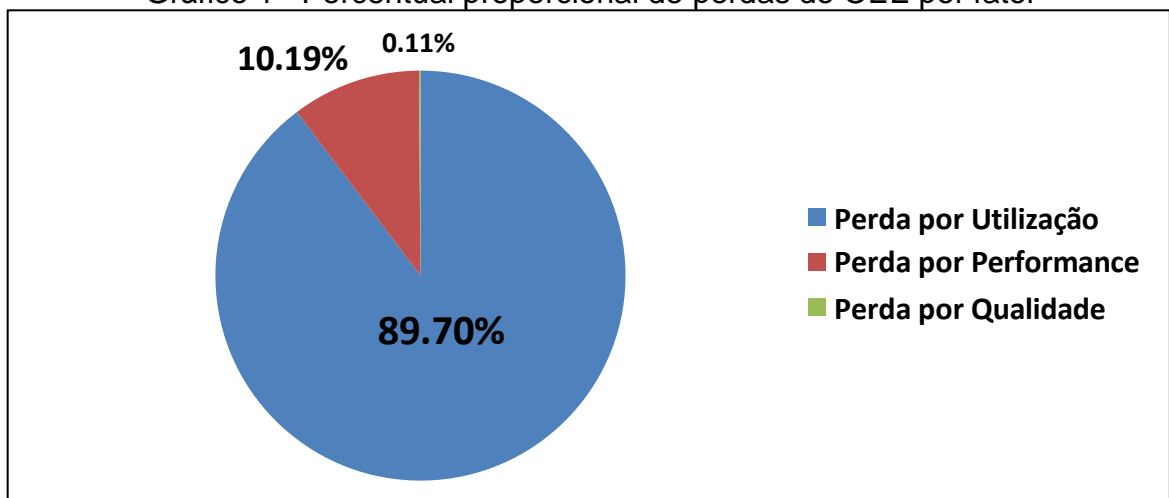
Sendo assim, em um mês a produção deveria ser de 77.810 m desse fio, sem considerar nenhuma perda. Subtraindo esse valor pela perda média total expressa na tabela 10 de 62,11%, encontrou-se o seguinte valor de produção real:

$$\text{Produção Real} = 77.810 - (77.810 \times 62,11\%) = 29.486 \text{ m}$$

Dessa forma, pode-se inferir que nossa perda seria de 48.324 m. Sabendo-se que o custo do fio 1,36 mm é de 0,2993 R\$/metro, então se chegou a um valor de perda financeiro dentro desse cenário de produção de R\$ 14.463,40 por mês ou R\$ 173.560,81 por ano.

Com base no quadro 6, também é possível observar que o fator que influenciou para um baixo valor do índice OEE de forma expressiva foi o fator utilização. Pode-se observar o percentual proporcional de perdas no gráfico 1:

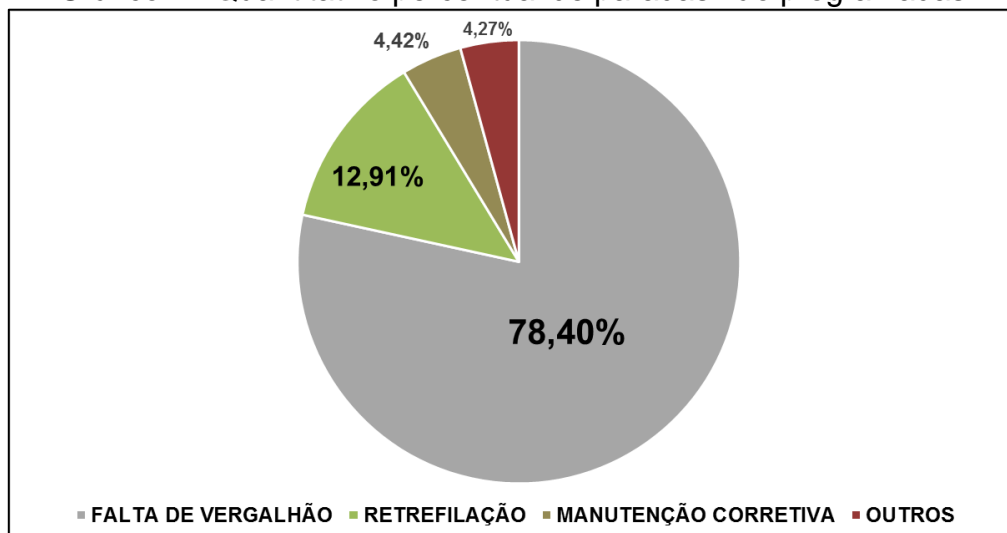
Gráfico 1– Percentual proporcional de perdas do OEE por fator



Fonte: Autor (2017)

Essa condição se deve principalmente por paradas geradas pela falta do vergalhão que é a matéria-prima do processo de trefilação primária, gerando assim grandes paradas de produção devido a sua falta, como pode ser visto na figura a seguir:

Gráfico 2– Quantitativo percentual de paradas não programadas



Fonte: Autor (2017)

Esse baixo abastecimento de matéria-prima se deve principalmente a problemas financeiros e de suprimentos da empresa que pouco refletem sua eficiência produtiva que depende dessa matéria-prima para continuar a produção. Dessa forma, resolveu-se criar um segundo cenário OEE, desconsiderando as paradas por falta de vergalhão, com o intuito de identificar o quanto a empresa é capaz de atingir sua eficiência máxima sem considerar esse empecilho pontual. Dessa forma chegou-se nos seguintes resultados:

Quadro 8 – Resultado OEE desconsiderando paradas por falta de vergalhão (2º Cenário)

MESES	FU	FP	FQ	OEE
FEV	94,16%	85,13%	99,70%	79,92%
MAR	86,92%	85,13%	99,80%	73,85%
ABR	86,05%	85,13%	99,86%	73,15%
MAI	92,58%	85,13%	99,93%	78,76%
JUN	80,44%	85,13%	99,83%	68,36%
JUL	91,06%	85,13%	99,86%	77,41%
MÉDIA	87,99%	85,13%	99,82%	74,77%

Fonte: Autor (2017)

Pode-se notar que em um cenário sem falta de vergalhão, o fator de utilização médio chega quase a dobrar seu valor, atingindo um percentual de 87,99% e o mesmo ocorre com o OEE que chega a atingir um valor médio de 74,77%. Sendo assim, pode-se considerar que solucionando os problemas financeiros e de suprimentos, a operação se torna capaz de atingir um ótimo nível de eficiência produtiva.

Com base nesses novos valores de OEE, sem considerar perda por falta de vergalhão, calcularam-se novamente as perdas percentuais e em horas desse novo cenário e encontraram-se os resultados a seguir:

Quadro 9– Percentual de perdas mensais dos fatores e OEE para o fio 1,36 mm

MESES	Perda por Utilização	Perda por Performance	Perda por Qualidade	Pertal total OEE
FEV	5,84%	13,45%	0,2428%	19,54%
MAR	13,08%	12,42%	0,1517%	25,65%
ABR	13,95%	12,29%	0,1061%	26,35%
MAI	7,42%	13,23%	0,0539%	20,70%
JUN	19,56%	11,49%	0,1151%	31,17%
JUL	8,94%	13,01%	0,1517%	22,10%
MÉDIA	11,47%	12,57%	0,1369%	24,17%

Fonte: Autor (2017)

Quadro 10– Perdas mensais em horas dos fatores e OEE para o fio 1,36 mm

MESES	Por Utilização	Por Performance	Por Qualidade	Perda Total
FEV	36,80	84,73	1,53	123,06
MAR	85,33	80,99	0,99	167,31
ABR	87,67	77,26	0,67	165,59
MAI	42,28	75,40	0,31	118,00
JUN	118,73	69,75	0,70	189,18
JUL	51,25	74,56	0,87	126,68
MÉDIA	74,16	77,63	0,84	152,62

Fonte: Autor (2017)

Da mesma forma foram calculadas as perdas financeiras que poderiam ser geradas apenas devido a paradas operacionais, considerando o mesmo cálculo de análise financeira utilizado para o primeiro cenário. Dessa forma se obteve um valor mensal de perdas de aproximadamente 18.806 metros, o que representaria uma perda financeira mensal de R\$ 5.628,84 ou anual de R\$ 67.546,06.

Sendo assim, pode-se verificar que sendo solucionados apenas os problemas com suprimentos de matéria-prima, seria possível reduzir os custos com perdas em R\$ 106.014,75 considerando os cenários levantados.

Além disso, observou-se também algumas perdas de *performance* de máquina que no segundo cenário passou a ser o fator com menor percentual de eficiência, sendo assim um influenciador nos resultados do OEE. Algumas possíveis justificativas para essa variação no desempenho de velocidade da máquina devem-se a alguns critérios, como a qualidade da matéria-prima, pois a empresa atualmente negocia com vários fornecedores de vergalhão e atualmente pouco se sabe sobre a qualidade da matéria-prima, é possível que alguns gerem maior ruptura de fios do que outros quando trefilados em velocidades mais elevadas. Outro fator importante é a tempera do fio a ser trefilado, podendo ser mole, duro ou meio duro o qual vai ficando mais difícil de ser trefilado em velocidades mais elevadas, com isso o operador tende a reduzir a velocidade para os fios mais duros a fim de evitar rupturas indesejáveis.

Vale ressaltar que o fator qualidade se mostrou muito acima dos padrões, refletindo que a empresa não possui grandes problemas relacionados a perdas por esse fator.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Alinhado com os objetivos gerais desse trabalho, a aplicação da ferramenta OEE no processo de Trefilação Primária na fábrica de condutores elétricos de cobre nos possibilitou avaliar de maneira minuciosa o seu desempenho e eficiência, além também de nos nortear para tomada de decisões mais assertivas e melhorias contínuas no processo.

Alinhado também com nossos objetivos específicos, a utilização da ferramenta nos possibilitou identificar onde ocorreram as principais perdas no processo durante o período estudado, e quais as possíveis causas de alguns desses limitadores produtivos.

Desse modo, vê-se que a ferramenta pode auxiliar e nortear os tomadores de decisão dentro da empresa a elaborar metas de desempenho e melhoria contínua de diversas formas, como por exemplo:

- a) Buscar o incremento de capacidade com o aumento do OEE, pois as perdas em hora máquina podem ser convertidas em produção e assim a capacidade instalada passa a ser mais aproveitada, tornando a fábrica mais eficiente e evitando assim investimentos mais caros;
- b) Em outros casos, quando o OEE já atingiu patamares mais elevados, isso pode expressar a necessidade da fábrica em investir em novos maquinários para suprir a demanda, visto que a capacidade instalada já está trabalhando próximo de seu limite;
- c) Pode-se também acompanhar constantemente o processo e a atuação da mão-de-obra, máquinas e qualidade de materiais com base nos indicadores de utilização, *performance* e qualidade e assim poder tomar ações mais assertivas em busca da melhoria contínua de toda operação.

Diante dos resultados do trabalho, pode-se observar que o fator utilização foi o mais relevante para geração de perdas no processo, seguido do fator *performance*. Dessa forma, as principais causas dessas perdas observadas, respectivamente, foram o elevado tempo ocioso devido à falta de matéria-prima e uma possível baixa qualidade da matéria-prima que é proveniente de vários fornecedores.

Dessa forma, atendendo ao terceiro objetivo específico desse trabalho, podem-se propor algumas melhorias iniciais, como buscar atuar no setor financeiro e suprimentos no intuito de identificar as dificuldades na aquisição da matéria-prima, de modo a regularizar esse abastecimento e assim aumentar a utilização do processo de trefilação primária. Outra ação importante seria realizar um acompanhamento constante das rupturas dos fios durante a produção, de modo a identificar a qualidade da matéria-prima e assim identificar quais têm gerado maiores problemas.

Análises desta natureza mostram mais um grande benefício dessa ferramenta. O indicador OEE é ágil e simples no diagnóstico de necessidades ou oportunidades de melhoria de grande importância.

Ainda assim, vale ressaltar que apesar de toda aplicabilidade e praticidade dessa ferramenta, ela ainda é limitada em alguns quesitos e necessita ser utilizada em conjunto com outros métodos para sua real eficiência. É uma ferramenta indicativa, que nos mostra onde estamos e como estamos, e que se torna bem mais completa e eficaz em conjunto com outras ferramentas ou metodologias de gestão que mostrem onde devemos e como iremos chegar. Além disso, o OEE não considera fatores como layout, movimentação interna, logística e outros fatores que também podem influenciar na eficiência do processo.

A principal dificuldade encontrada durante a aplicação da ferramenta nesse estudo foi a necessidade de coleta de dados e cálculos manualmente, aumentando o tempo das análises e reduzindo a confiabilidade. Quanto a uma possível implementação dessa ferramenta na fábrica por completo, a principal dificuldade seria a grande flexibilidade de sua linha, o que gera sempre um OEE muito variável, não só em função do período estudado, mas também em função do *mix* de produtos que é muito extenso e cada qual com suas particularidades.

Diante das dificuldades expostas acima, sugere-se para trabalhos futuros a implementação do indicador OEE na fábrica em conjunto com um sistema de informação que possa realizar simulações em tempo real e gerar um banco de dados que auxilie na tomada de decisões com maior confiabilidade e agilidade, assim como replicá-lo nos outros processos da fábrica, com ênfase nos mais críticos, de modo que

se obtenham indicadores também de outros processos e assim possamos identificar onde se encontra o gargalo e então atuar diretamente nas suas causas.

REFERÊNCIAS

- AB COBRE, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COBRE. **Elétrica: Cobre é indispensável para segurança das instalações elétricas.** Disponível em: <<http://www.abcobre.org.br/conteudo/eletrica.html>>. Acesso em: 24 maio 2017.
- ATTADIA, L.C. L; MARTINS, R.A. **Medição de desempenho como base para evolução da melhoria contínua.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/prod/v13n2/v13n2a04>>. Revista Produção. V. 13, N.2, 2003. Acesso em: 26 maio 2017.
- BAITELO, R. **Lei de energias renováveis: Propostas para a sustentabilidade energética brasileira.** Greenpeace Brasil, São Paulo, jan 2009. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2009/2/lei-de-energias-renovaveis-re.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2017.
- BUSSO, C. M. **Aplicação do indicador Overall Equipment Effectiveness (OEE) E suas derivações como indicadores de desempenho global da utilização da capacidade de produção.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo – PUC, Escola Politécnica, São Paulo, 2012.
- EUROPEAN COPPER INSTITUTE. **Energy and Renewables: Sustainable energy solutions.** Disponível em: <<http://copperalliance.eu/applications/energy-and-renewables>>. Acesso em: 24 maio 2017.
- FISCHMAN, A.A; ZILBER, M.A. **Utilização de indicadores de desempenho para a tomada de decisões estratégicas: Um sistema de controle.** Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/1954/195418270002.pdf>>. Acesso em: 25 maio 2017.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** Editora Atlas, 2008.
- HANSEN;R.C. **Eficiência Global de Equipamentos: uma poderosa ferramenta de produção/manutenção para o aumento dos lucros.** Porto Alegre, Bookman, 2006.
- ICSG, INTERNATIONAL COPPER STUDY GROUP. **The World Copper Fact book 2016.** Lisboa, Portugal, 2016. Disponível em: <<http://www.icsg.org/index.php/component/jdownloads/finish/170-publications-press-releases/2202-2016-10-17-icsg-factbook-2016?Itemid=0>>. Acesso em: 24 maio 2017.
- INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION BRAZIL. **Guia de aplicação para cabos elétricos com condutores de cobre: Infraestrutura de Transporte- Volume I.** Disponível em: <<file:///C:/Users/rssan/Documents/Meus%20documentos/UEPA/2017/TCC/Documentos%20de%20terceiros/cu-guia-transporte-versao.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2017.
- INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION LATIN AMERICA. **Norte do Brasil avança em alternativas sustentáveis e o cobre é essencial para o funcionamento de fontes renováveis.** Disponível em: <<http://procobre.org/pt/destaque-home/o->

norte-do-brasil-avanca-em-busca-de-alternativas-sustentaveis-e-o-cobre-e-um-elemento-fundamental-para-o-funcionamento-de-fontes-renovaveis/>. Acesso em: 24 maio 2017.

KITEMES. **OEE na prática: Gestão da produção com o índice OEE**. Disponível em:<file:///C:/Users/rssan/Documents/Meus%20documentos/UEPA/2017/TCC/Documentos%20de%20terceiros/OEEnaPratica-Kitemes.pdf>. Acesso em: 25 maio 2017.

KUGER, R. T. **Melhoria na Gestão da Capacidade Produtiva Através da Aplicação das Ferramentas OEE e UEP nos Processos Industriais**. Disponível em:<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5916/1/PG_CEEP_2014_1_23.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2017.

MARTINS, P. G.; LAUGENI, F. P. **Administração da produção**. Editora Saraiva, 2015.

REIS, M. F.; MENDES, F. S.; PAIXÃO, A. C.; DIAS, F. C.; SANTOS, M. **Implementação da ferramenta OEE (Eficiência Global dos Equipamentos) para melhoria de uma linha de envase na indústria farmacêutica**. Disponível em:<http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_323_29502.pdf>. Acesso em: 31 maio 2017.

REN 21, RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY. **Renewables 2016: Global Status Report**. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/10/REN21_GSR2016_KeyFindings_en_10.pdf>. Acesso em: 24 maio 2017.

REVISTA PARÁ INDUSTRIAL. **O Pará e as energias alternativas**. Ano 8, edição 34. São Paulo, set 2016.

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e Controle da Produção**. 6ª ed. Editora Pioneira Administração e Negócios, 2000.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2015.

SOUSA, I. F. **Eficiência Global dos equipamentos (OEE): Um estudo de caso**. Disponível em: <file:///C:/Users/rssan/Downloads/2014-2%20-%20Eficiencia%20Global%20dos%20Equipamentos%20(OEE)%20-%20Um%20estudo%20de%20caso%20(1).pdf>. Acesso em: 31 maio 2017.

STORTTE, J. M. C.; ZAFRA, F. M.; SILVA, D. C.; FILHO E. D.; ZACHI J. M. **Aplicação do indicador OEE como ferramenta para o aumento da eficiência em uma caldeira**. Disponível em:<http://aberto.univem.edu.br/bitstream/handle/11077/1138/Stortte%20et%20al.%20-%202014%20-%20Aplica%C3%A7%C3%A3o%20do%20indicador%20OEE%20como%20ferramenta%20para%20aumento%20da%20efici%C3%A4ncia%20em%20uma%20caldeira.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 jun. 2017.

TEZZA, R.; BORNIA, A. C.; VEY, I. H. **Sistemas de Medição de Desempenho: uma revisão e classificação da literatura.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v17n1/v17n1a07>>. Gest. Prod., São Carlos, v. 17, n. 1, 2010.

VENANZI, D.; DA SILVA, O. R. **Introdução à Engenharia de Produção: Conceitos e Casos Práticos.** Grupo Editorial Nacional - LTC, 2016.

ZATTAR, I. C.; RUDEK, S. TURQUINO, G. S. **O uso do indicador oee como ferramenta na tomada de decisões em uma indústria gráfica – Um caso prático.** Disponível em: <<file:///C:/Users/rssan/Documents/Meus%20documentos/UEPA/2017/TCC/Documents%20de%20terceiros/uso%20do%20indicador%20OEE%20como%20ferramenta%20na%20tomada%20de%20decisões.pdf>>. Acesso em: 31 maio 2017.



Centro de Ciências Naturais e Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Produção
Tv. Enéas Pinheiro, nº 2626 – Marco
CEP: 66095-100 Belém-PA
www.uepa.com.br