UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE GESTÃO E ECONOMIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DA PRODUÇÃO

LUCIANO CÉSAR DEMARCHI

DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA MELHORAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA
2020

LUCIANO CÉSAR DEMARCHI

DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA MELHORAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção.

Orientador: Msc. Alexandre Dantas P. da Silva

CURITIBA

2020

TERMO DE APROVAÇÃO

DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DE METODOLOGIA PARA MELHORAR A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INDÚSTRIA

Esta monografia foi apresentada no dia 31 de outubro de 2020, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Engenharia da Produção – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato Ademir Tadeu Floriani apresentou o trabalho para a Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após a deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

_____
Msc Alexandre Dantas
Orientador

_____
Msc. Sérgio Zagonel
Banca

_____
Msc. Egon Bianchini Calderari
Banca

_____
Dra. Luciana Vieira de Lima
Banca

Visto da coordenação:

_____
Dr. Paulo Daniel Batista de Sousa

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde e oportunidade de buscar esta formação. A minha esposa e filhos, pelo apoio nos momentos difíceis e paciência nos momentos de ausência.

Ao meu orientador, pelas informações, literaturas e orientações na elaboração do trabalho para a conclusão do trabalho.

A empresa, pela oportunidade de participar desta especialização e de realizar o presente trabalho nas suas dependências.

Aos professores deste curso, pelos importantes ensinamentos compartilhados.

RESUMO

DEMARCHI, Luciano César. **Definição e aplicação de metodologia para melhorar a eficiência energética na indústria.** 2020. 71 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

Atuar na redução dos custos de fabricação na indústria é uma necessidade. Muito além de obter mais lucro, é uma questão de sobrevivência em um, cenário de competição a nível mundial. Neste sentido o *World Class Manufacturing* (WCM) apresenta uma metodologia robusta para identificar desperdícios e perdas nas indústrias, e a partir destes aplicar ferramentas para reduzir ou eliminá-las, reduzindo o custo de transformação e melhorando o resultado e performance, com aumento da competitividade e lucratividade. O trabalho foi desenvolvido em uma grande empresa com sede em Santa Catarina, e filiais em vários países. A empresa, tem a busca pela melhoria no seu DNA, e faz isso desde sua criação, porém a implantação da metodologia do WCM vem trazer novos conceitos e ferramentas, que direcionam as melhorias, de acordo com as maiores ineficiências, devidamente classificadas e mensuradas. Também é uma das características importantes desta organização, desenvolver seu próprio jeito de administração e gestão, no caso do WCM também está desenvolvendo seu próprio Sistema de Gerenciamento da Manufatura. A metodologia do WCM é muito completa e robusta, porém pouca desenvolvida nas questões de mapeamento e eliminação das perdas por ineficiência no uso dos recursos energéticos necessários ao desenvolvimento da produção industrial. Visando reduzir esta lacuna, o trabalho desenvolveu a metodologia para Pilar de energia, dentro dos conceitos básicos do WCM, com foco em melhorar a eficiência energética na indústria, atuando nos processos ou equipamentos de maior consumo energético. Após definir a metodologia, esta será aplicada na prática, nos equipamentos responsáveis pelo processo de impregnação e cura do verniz isolante elétrico.

Palavras-chave: Eficiência energética, Word Class Manufacturing, custo de transformação

ABSTRACT

DEMARCHI, Luciano César. **Definition and application of methodology to improve energy efficiency in industry**. 2020. 71 f. Monografia. (Especialização em Engenharia da Produção) – Departamento de Gestão e Economia DAGEE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

Working to reduce manufacturing costs in the industry is a necessity, far beyond making more profit; it is a question of survival, in a scenario of competition at a global level. In this sense, World Class Manufacturing (WCM) presents a robust methodology to identify waste and losses in the industries and from these apply tools to reduce or eliminate them, reducing the transformation cost, improving the result and performance, with increased competitiveness and profitability. The work was been developed in a large company based in Santa Catarina, and branches in several countries. The company has been looking for improvement in its DNA, and has been doing this since its creation, but the implementation of WCM methodology brings a new concepts and tools, which direct improvements, according to the greatest inefficiencies, duly classified and measured. It is also one of the important characteristics of this organization, to develop its own way of administration and management; in the case of WCM, it is also developing its own Manufacturing Management System.The WCM methodology is very complete and robust, but little developed in terms of mapping and eliminating losses due to inefficiency in these of energy resources necessary for the development of industrial production. In order to reduce this gap, the work had developed the improving energy efficiency in the industry, working on processes or equipment with higher energy consumption. After defining the methodology, it will be applied in practice, in the equipment responsible for the process of impregnation and curing of the electrical insulating varnish.

Keyword: Energy Efficiency, Word Class Manufacturing, transformation cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de uso final 16
Figura 2 – Comparação eficiência lâmpadas 17
Figura 3 – Consciência de Custos 19
Figura 4 – Cincos pontos de vista 20
Figura 5 – Estrutura resumida WCM 21
Figura 6 – Perda e desperdício 21
Figura 7 – Representação de Perda 22
Figura 8 – Representação de desperdício 22
Figura 9 – Os oito desperdícios 23
Figura 10 – Pilares da Metodologia WCM 24
Figura 11 – Representação dos pilares do WCM 25
Figura 12 – Fases de implantação do WCM por pilar 27
Figura 13 – Abordagem da Implementação 28
Figura 14 – Objetivos pilar meio ambiente e energia 29
Figura 15 – 7 passos do pilar de meio ambiente 30
Figura 16 – Matriz A com as perdas ambientais 32
Figura 17 – Abordagem para solução de problemas 32
Figura 18 – Ciclo evolutivo PDCA 33
Figura 19 – Ciclo evolutivo contínuo PDCA 34
Figura 20 – *KAIZEN* 34
Figura 21 – Composição do custo de transformação 36
Figura 22 – Divisão do custo de transformação 36
Figura 23 – 7 Passos pilar Energia 38
Figura 24 – 7 Perdas de energia 44
Figura 25 – Composição das perdas x consumo total 47
Figura 26 – Diagrama básico distribuição energia PFI e II 51
Figura 27 – Equipamentos com medição individual – Unid. A 52
Figura 28 – Fotos equipamento 54
Figura 29 – Diagrama elétrico simplificado Estufa 1L 55
Figura 30 – Projeto básico estufa 57
Figura 31 – Medidores de energia Estufa 1L 59
Figura 32 – Curva de consumo Estufa 1L 59

Figura 33 – Análise Termográfica Estrutura Estufa 1L 60
Figura 34 – Análise Termográfica Entrada e Saída Estufa 1L 61
Figura 35 – Consumo Estufa 1L 63
Figura 36 – Divisão das zonas da Estufa 1L 64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de energia por unidade de negócio 49
Gráfico 2 – Consumo de energia por parque fabril – unidade A 50
Gráfico 3 – Consumo por departamento produtivo – unidade A 52
Gráfico 4 – Variação da temperatura ao longo do processo 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das informações passo 4 66

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Medição de processo 62
Quadro 2 – Medição de processo 62
Quadro 3 – Plano de Ação 67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÂO 12

1.1 INSTRUTURA GERAL DO TRABALHO 14

1.2 OBJETIVO GERAL 14

1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS 14

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS 14

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA 15

2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 15

2.2 *WORD CLASS MANUFACTURING* 18

2.2.1 Introdução ao WCM 18

2.2.2 Fundamentação do WCM 19

2.2.3 Conceitos de perdas e desperdícios 21

2.2.4 A estrutura do WCM 24

2.2.5 A implementação do WCM 27

2.2.6 Pilar de meio ambiente e energia 28

2.2.7 A *cost deployment* ambiental 31

2.2.8 Abordagem para solução de problemas 32

2.2.9 Custo de transformação 35

3. PROPOSTA METODOLÓGICA 37

3.1 OS 7 PASSOS DE ENERGIA 38

3.2 TIPOS DE PERDAS 44

4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA E ANALISE DOS RESULTADOS 49

4.1 PASSO 0: DEFINIR ÁREA DE ABRANGÊNCIA E O TIPO DE ENERGIA 49

4.2 PASSO 1: ESCOLHA DA ÁREA / EQUIPAMENTO MODELO 50

4.3 PASSO 2: MAPEAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL 53

4.4 PASSO 3: MEDIÇÃO 58

4.5 PASSO 4: ANÁLISE E PLANO DE AÇÃO 62

5. CONSIDERAÇÔES FINAIS 68

REFERÊNCIAS 69

1. INTRODUÇÃO

A partir da última metade do século XIX, com o período conhecido com a Segunda Revolução Industrial, o uso do carvão e da energia a vapor, foi aos poucos sendo substituídos pela eletricidade e pelo petróleo. O desenvolvimento da eletricidade, mudou radicalmente não só a economia, as indústrias, mas a vida cotidiana de toda a população. A facilidade de transmissão deu à energia elétrica um caráter onipresente e colocou-a ao alcance de uma parcela muito mais ampla da população, dado seu baixo custo. Facilitou também o desenvolvimento de pequenas indústrias, que podiam agora utilizar a mesma fonte geradora de energia das grandes e pagar de acordo com o seu consumo (DATHEIN, 2003).

Porém, os benefícios que a eletricidade trouxe a humanidade, acabaram por aumentar consideravelmente a demanda por energia, o que requer investimentos, e muitas vezes impactos indesejáveis no meio ambiente. No Brasil nos últimos trinta anos, o aumento da produção de energia primária tem acompanhado de perto o crescimento do PIB. Como exemplo desta disparidade entre o crescimento da geração e do consumo de energia elétrica, pode ser visto olhando para o biênio 2004/2005, onde a geração cresceu 1,75% e o consumo 4,24% (GOLDEMBERG; LUCOM, 2007).

Uma maneira de compensar esta diferença, é atuar na racionalização do uso da energia elétrica. O melhor uso das fontes de energia na indústria é um assunto que vem ganhando força no Brasil, mas que ainda tem longo caminho pela frente para alcançar um maior nível de relevância dentro das estratégias das empresas. Pouco amadurecidas quando comparadas ao que já está em curso nos países desenvolvidos, como Suécia, Estados Unidos e Japão, essas iniciativas encontram apoio em políticas públicas ainda incipientes. O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), por exemplo, ainda não vingou na indústria. Poucos equipamentos levam o selo que mostra o consumo de energia para efeito comparativo. O engajamento das organizações, porém, aponta em direção a novos rumos para a eficiência energética no Brasil. Esta é uma das conclusões de Garcia (2016), Especialista em Política Industrial da CNI (Confederação Nacional da Indústria), em entrevista ao Blog da Eficiência Energética**.**

Avaliando especificamente a participação das industrias neste cenário, verificamos que atualmente o setor industrial brasileiro, corresponde a 37,5% do consumo de energia elétrica do país, segundo o relatório divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética: Balanço Energético Nacional 2019 – ano base 2018. Nas indústrias em geral, o consumo de energia elétrica, representa um dos maiores custos no processo produtivo, impactando diretamente e de

maneira significativa no custo de fabricação, e pode representar até 40% dos custos de produção, de acordo com o ramo em questão, segundo o boletim ambiente de negócios da Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN), publicado em Fevereiro de 2017. Na empresa, onde o trabalho será desenvolvido, o impacto da energia no custo de transformação, varia entre 7 e 12%, de acordo com a linha de produtos, segundo informações de estudos internos.

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica- PROCEL, no seu relatório de Resultados de 2019 – ano base 2018, estimou que houve uma economia 22,99 bilhões de KWh no ano de 2018, fruto de vendas de produtos com o selo PROCEL no mercado nacional. Esta economia além de aliviar a necessidade de investimentos em todo sistema de geração e transmissão de energia, diminuir custos em todos os setores e reduzir os danos causados ao meio ambiente, nos mostra o potencial financeiro existente na melhoria da eficiência energética.

Em países mais industrializados, como Japão, Estados Unidos e Alemanha, as companhias têm um apoio governamental para o desenvolvimento de metodologias que possibilitem trabalhos em melhoria de eficiência energética. Além do apoio do governo. As empresar percebem que a relação entre eficiência energética e melhoria de processos produtivos é uma ligação direta. Ou seja, há a percepção de que, toda vez que uma empresa revisita sua forma de produzir buscando melhorias de eficiência energética, há nisso um ganho de competitividade, de redução de custo (GARCIA, 2016).

Uma das metodologias que pode ser aplicada no sentido de melhorar a eficiência energética e operacional das empresas é o sistema de gestão World Class Manufacturing (WCM), ou Manufatura de Classe Mundial, por ser uma metodologia eficaz na eliminação de perdas e eficiente na maximização da produtividade da empresa (BORGES; OLIVEIRA, 2016).

A empresa onde o projeto foi desenvolvido, está desenvolvendo sua própria metodologia de gestão industrial, baseada no WCM por ser uma metodologia consolidada, robusta e muito abrangente, porém, a equipe que trabalha a frente do projeto considerou que não tem muito desenvolvida as questões de eliminação de perdas por ineficiência energética, e é esta lacuna que o presente trabalho buscou preencher, definindo ferramentas que avaliem de maneira sistematizada todo o processo, de forma a possibilitar a determinação e a causa das perdas energéticas, e desta forma propor medidas para eliminar ou minimizar as perdas.

1.1 ESTRUTURA GERAL DO TRABALHO

Este trabalho será composto pela seguinte estrutura geral: Após a introdução, um capítulo com a revisão bibliográfica, onde as questões teóricas serão abordadas; posteriormente, serão apresentadas os procedimentos metodológicos; na sequência, a metodologia desenvolvida será aplicada na prática, com análise de dados e, por fim, são apresentadas as considerações finais e conclusões.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e aplicar uma metodologia e/ou ferramentas para implementação de trabalhos de eficiência energética, voltadas a realidade da empresa, no seu programa de melhoria de processos produtivos, de forma a reduzir o custo de transformação e aumentar sua competitividade e lucratividade.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar os conceitos básicos que fazem parte da metodologia WCM.
- Conhecer os dados de consumo de energia dos departamento e processos produtivos da empresa onde o trabalho será realizado.
- Conhecer a configuração da estrutura de distribuição de energia desta empresa.
- Conhecer o processo de impregnação e cura de verniz eletro isolante.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho consiste na elaboração de um procedimento, baseado na metodologia do WCM, porém voltado a proposta do Sistema de gerenciamento da manufatura, levando em conta as características da organização onde o trabalho será desenvolvido.

Após a definição da metodologia, esta será aplicada em um processo produtivo da empresa, demonstrando a utilização desta ferramenta na identificação de desperdícios energéticos dentro do processo produtivo mapeado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada a fundamentação teórica sobre à metodologia WCM, com ênfase ao pilar técnico de Meio Ambiente, que cita brevemente as questões de eficiência energética. Também serão abordados alguns conceitos relacionados ao tema eficiência energética.

2.1 EFICIÉNCIA ENERGÉTICA

Pode se confundir eficiência energética com redução do consumo absoluto de energia em uma determinada área, fabrica ou equipamento, o que por si só não indica um real estado de eficiência. Pode parecer contraditório, já que o objetivo final é reduzir o consumo de energia, porém, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o conceito de eficiência energética está associado a fazer mais (ou, pelo menos, a mesma coisa) com menos, mantendo o conforto e a qualidade consumir menos e produzir mais, ou seja, a eficiência precisa relacionar consumo com produção.

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO), a utilização racional de energia pode ser simplesmente chamada de eficiência energética e consiste em usar de modo eficiente a energia para se obter um determinado resultado. Por definição, a eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização.

Assim, por definição, eficiência energética consiste da relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. Ou seja, eficiência energética é uma atividade que busca melhorar o uso das fontes de energia. O uso racional da energia elétrica também pode ser tido como uma definição de eficiência energética, pois a utilização da menor quantidade de energia possível, tanto técnica quanto economicamente, para a obtenção de produtos e serviços através da eliminação de desperdícios e uso de equipamentos mais eficientes (ASTEFANELLO, 2019). A figura 01, demonstra um diagrama em blocos do uso final da energia, onde podemos ver que a saída processamento de materiais e atender as necessidades humanas, deve ser mantido, se possível, utilizando a menor quantidade de energia possível na entrada:

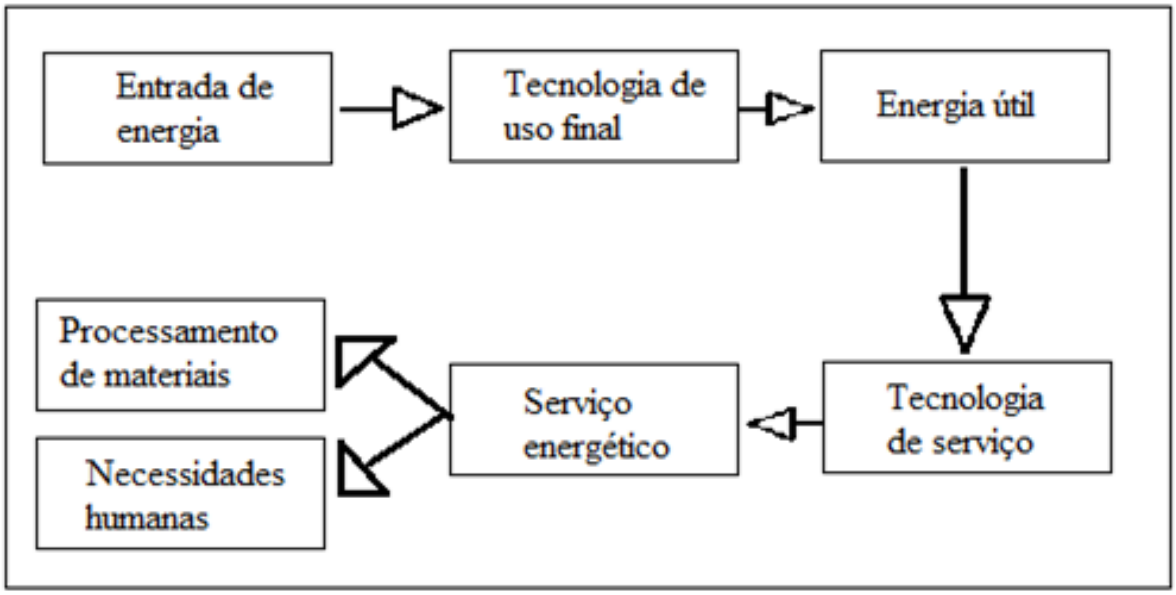

Figura 01 – Processo de uso final.
Fonte: Adaptado pelo autor (2020).

A Eficiência Energética e o uso de energias renováveis são considerados os pilares para a construção de uma política energética sustentável (PEREIRA, 2009).

A ISO50001(2011) define Eficiência Energética como:

> Rácio ou outra relação quantitativa entre um desempenho, serviço, bem ou energia e um consumo de energia. Como por exemplo, a Eficiência de uma conversão; relação energia necessária/energia utilizada; Relação entre o resultado /energia consumida; Relação entre a energia teoricamente necessária a operação/energia consumida na operação. ISO50001(2011)

Uma vez alinhado com o conceito de conservação de energia, surge um mecanismo de grande importância e que pode trazer excelentes resultados na sociedade como um todo: redução das perdas de energia, com consumo responsável, processos otimizados, menor impacto ambiental e estímulo à programas de conscientização e uso eficiente de energia (FERNANDES, 2015).

Segundo Salomão (2010), a eficiência energética transita entre dois conceitos, o técnico e o comportamental. O técnico é a substituição de equipamentos “obsoletos” por equipamentos mais eficientes para executar a tarefa. O comportamental é o uso racional da energia já disponibilizada, com mudança de hábitos dos usuários e padrões, incluindo nestes os padrões comportamentais da organização, como melhoria do processo logístico pôr exemplo. Para ilustrar, vamos avaliar alguns modelos de lâmpadas, e suas perdas, resultantes da tecnologia de cada uma, conforme ilustrado na figura 02:

Figura 02 – Comparação eficiência lâmpadas.
Fonte: O autor (2020).

No exemplo da figura 02, observamos que uma lâmpada incandescente transforma apenas 5% da energia que consome em luz, que é sua finalidade, enquanto uma lâmpada LED, transforma 95% da energia consumida em luz. Esta diferença se deve a tecnologia empregada em cada lâmpada.

As questões operacionais, dependem exclusivamente das pessoas, de como elas aplicam e utilizam a energia. Conforme Mello (2015), em artigo publicado no site fórum da construção, o impacto humano nestas questões, começa no projeto, onde se define de que forma o componente vai ser aplicado (altura de montagem da lâmpada ou tipo de luminária para determinada lâmpada), portanto a atenção precisa ser focada na concepção do projeto como forma estética, econômica e eficaz. Também é importante um olhar para a utilização (apagar a luz em ambientes não utilizados), manutenção (limpeza da lâmpada e luminária) e questões indiretas (cor das paredes, moveis, maquinas, anteparos que geram sombra).

Este raciocínio aplicado a iluminação, apesar de simples, pode ser aplicado a qualquer equipamento que utiliza energia elétrica, para transformar em trabalho ou outra fonte de energia. Um ponto importante a ser observado, está relacionado aos investimentos necessários, para melhorar a eficiência energética, as questões operacionais, normalmente não necessitam de grandes investimentos, enquanto as questões tecnológicas, podem precisar de investimentos maiores, e desta forma, sendo necessário avaliar o retorno financeiro deste investimento, frente a redução de custos resultante da redução do consumo de energia.

2.2 WORLD CLASS MANUFACTURING

2.2.1 Introdução ao WCM

Ao longo da história do setor industrial mundial, muitas ferramentas e metodologias foram desenvolvidas e aplicadas, visando a melhora dos níveis de produtividade e resultados, várias destas oriundas da indústria automobilística e eletrônica Japonesa. Conforme Solomon e Fullerton (2007), o WCM é, em síntese, a busca da excelência pela aplicação das metodologias e ferramentas na filosofia enxuta que, por sua vez, é baseada no Sistema Toyota de Produção (STP).

A principal diferença entre o WCM e os demais modelos de gerenciamento de produção e melhoria contínua é sobre o campo de aplicação. Na metodologia WCM são especificados 10 pilares técnicos e 10 pilares gerenciais a fim de garantir que todas as áreas de importância como, por exemplo: Manutenção, Qualidade, Segurança e Logística sejam devidamente cuidadas. (YAMASHINA, 2009)

A metodologia do WCM foi mencionada primeiramente por Richard Schonberger em 1986 com a publicação do livro World Class Manufacturing: The Lessons of Simplicity Applied. De acordo com Schonberger (1989), o WCM tem uma meta predominante e uma forma fundamental de se pensar para que seja possível alcançá-lo: o melhoramento contínuo e rápido. O modelo do WCM mencionado por Schonberger (1989) consistia na adequação das técnicas de produção *Just in Time* (JIT), no forte compromisso com a *Total Quality Management* (TQM) e o *Total Productive Maintenance* (TPM), e no envolvimento de todos os colaboradores nas atividades de melhoria (FLORES, 2016).

O desafio de estruturar as ideias iniciais do WCM em um sistema de gestão metodológica, coube ao Dr. Hajime Yamashina, Professor Emeritus, Kyoto University e membro do RSA (*Royal Swedish Academy of Engineering Sciences*), um dos maiores estudiosos do *Toyota Production System* - TPS. Yamashina (2007), um dos maiores difusores do WCM nas organizações, cita que o sistema é muito simples: precisa-se identificar qual é o problema, sua perda, o método que será adotado e depois controlar os resultados.

Trata-se de um modelo de gestão que impulsiona o uso metodológico para o melhoramento continuo, ajuda a organização a criar um *mind set* e senso de prioridade ao definir recursos ao atacar problemas e perdas, visando alcançar processos de fabricação seguros e sustentáveis, tendo o Zero como a meta a ser atingida (DANTAS,2019), conforme abaixo:

- Zero acidentes;
- Zero quebras ou falhas de máquina;
- Zero defeitos;
- Zero reclamações de clientes;
- Zero resíduos;
- Zero perdas.

2.2.2 Fundamentação do WCM

A filosofia do WCM, é sustentada por alguns conceitos, que acabam sendo alicerces da metodologia. De acordo com Dantas (2019), o WCM possui sete conceitos chave, necessários a correta interpretação dos problemas avaliados:

A. Importância de ter uma visão abrangente, partindo do macro para o detalhe;
B. Consciência de custos, valorando financeiramente todas as perdas e desperdícios;
C. Visualização das informações, informação a vista de todos os envolvidos;
D. Utilização de métodos e ferramentas apropriadas para o que se deseja abordar;
E. Conceito Zero, buscando sempre zero acidentes, zero quebras, zero defeitos, zero estoque.
F. Contramedidas sempre focadas na causa raiz do problema, nunca no sintoma;
G. Orientação detalhada.

Dos sete conceitos chave, a consciência de custos é descrita por Dantas (2019) como a bússola para as ações. A figura abaixo, demonstra esquematicamente como a consciência de custos, aliada ao conceito ZERO, pode ser interpretada:

Figura 03 – Consciência de Custos.
Fonte: Adaptado de Dantas (2019).

Além dos sete conceitos chave, outro conceito intrínseco ao WCM, segundo Dantas, (2019) são os cinco pontos de vista, que são muito importantes para a implantação da metodologia, conforme abaixo:

A. Lógica: identificar claramente os desperdícios e atuar para elimina-los;
B. Métodos e ferramentas: cada problema deve ser abordado, utilizando a ferramenta correta;
C. Rigor: detalhar o problema a ser abordado, bem como o método e as ferramentas que serão utilizadas;
D. Ritmo: é necessário envolver as pessoas, desenvolver competências nas equipes e forma de acompanhamento, de forma que os prazos sejam atendidos;
E. Resultados: Todas as atividades devem trazer resultados positivos.

A figura 04 demonstra os cinco pontos de vista:

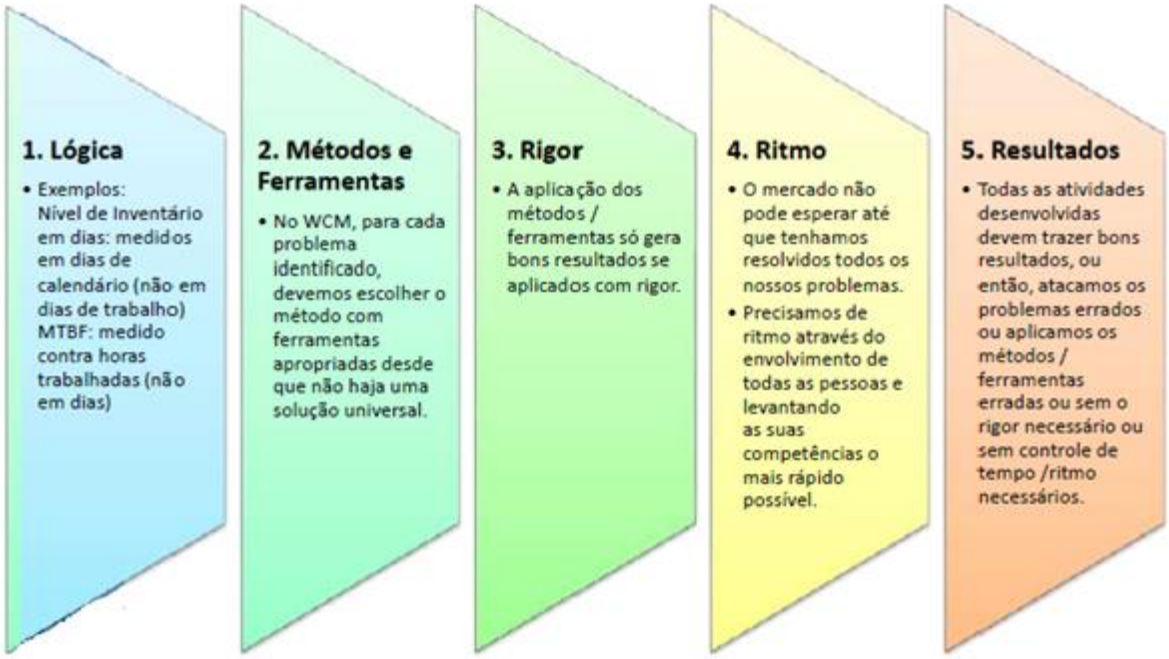

Figura 04 – Cinco pontos de vista.
Fonte: Adaptado de Dantas (2019).

Os 7 conceitos chave e os cinco pontos de vista, permeiam a metodologia de implantação dos pilares, que serão abordados a frente (DANTAS, 2019). A figura 05, resume o funcionamento da metodologia WCM:

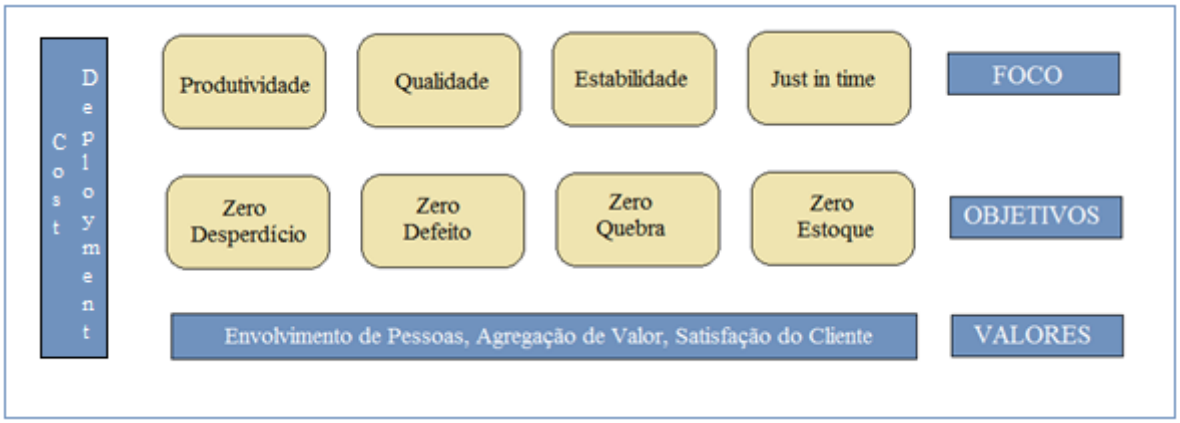

Figura 05 - Estrutura resumida do WCM
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

2.2.3 CONCEITO DE PERDAS E DESPERDÍCIOS:

O objetivo principal do WCM é a redução sistemática de todas as perdas e desperdícios, focando respectivamente no aumento da produtividade, melhoramento na qualidade, aumento da eficiência técnica das máquinas e equipamentos, e aumento do nível de serviço logístico, com o intuito de alcançar o conceito de ZERO, como descrito anteriormente (CORTEZ, 2010, p.8; PALUCHA, 2012, p.229). Como consequência, tem-se a satisfação do cliente, dos acionistas e porque não dizer dos colaboradores, e desta forma aumentar o lucro e a competividade.

Como o ataque a perdas e desperdícios são norteadores das ações do WCM, é importante entendermos o conceito e a diferença entre perda e desperdício. A figura 06 representa a diferença entre estes:

Figura 06 – Perda e desperdício
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Os conceitos de perda e desperdício são parecidos e facilmente confundidos, e além disso, o objetivo é eliminar ambos. Segundo Martins (2019), podemos definir ambos, conforme abaixo:

Perda: é o trabalho que adiciona custo, mas não adiciona valor, é a diferença entre o esperado e o resultado obtido, dada certa quantidade de recurso de entrada. A perda pode ser vista como entrada efetivamente não utilizada. Um exemplo de perda é o balde furado recebendo água. Será necessário muito mais água do que a necessidade real do recipiente, e talvez não seja possível ele chegar a ficar cheio.

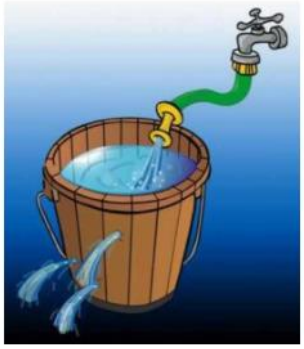

Figura 07 – Representação de perda.
Fonte: Adaptado pelo autor (2020).

Desperdício: é uma utilização excessiva dos recursos de entrada para obter uma saída. De certa forma é basicamente um excesso de quantidade de entrada. Um exemplo de desperdício é o balde transbordando porque a quantidade de agua a ser depositada no balde é maior que a capacidade do recipiente do mesmo.

Figura 08 – Representação de desperdício.
Fonte: Adaptado pelo autor (2020).

Em ambos os casos acabamos consumindo mais água do que é realmente necessário para encher o recipiente, o que difere as duas, é apenas a forma como se manifesta. A atuação para corrigir o problema também é diferente, no caso da perda, a solução é recuperar ou substituir o balde, já no caso do desperdício, precisamos criar uma forma de controlar a entrada de agua, possibilitando fecha-las quando o balde estiver cheio (MARTINS, 2019).

Outro conceito relacionado ao tema, que devemos conhecer vem do *Lean Manufacturing*. Taiichi Ohno, pai do *Lean Manufacturing* ou Sistema Toyota de Produção categorizou **7 desperdícios** (atualmente são 8 desperdícios) (GUIMARÃES, 2018). Na figura 09 temos uma representação dos 8 desperdícios:

Figura 09 – Os oito desperdícios.
Fonte: Adaptado pelo autor (2020)

As oito perdas do *Lean*, segundo Coutinho, (2020) são brevemente descritas abaixo:

1. **Transporte:** na abordagem do *Lean*, o transporte engloba o movimento de ferramentas, estoques, equipamentos e produtos além do necessário;
2. **Estoque:** O *Lean* considera o estoque um local para esconder ineficiências do processo, isto é, recursos parados que podem ser tanto matéria-prima quanto produtos finalizados;
3. **Movimentação:** A movimentação se diferencia do transporte, pois se refere as pessoas. Pode ser entendido como a movimentação de pessoas em excesso;
4. **Espera:** É causada pela interrupção do fluxo contínuo;
5. **Superprodução:** Gerada a partir da produção desnecessária, sejam mercadorias acima da demanda ou informações sem utilidade;
6. **Processamento excessivo:** Resultante de qualquer operação ou processo além do que foi pré estabelecido;
7. **Retrabalho:** É causada pela falha de alguma etapa da produção;
8. **Intelectual:** Pode ser entendido como a falta de aproveitamento do conhecimento das pessoas.

2.2.4 A ESTRUTURA DO WCM

Desde o surgimento do conceito relacionado ao WCM, houve diversas mudanças até chegar a estrutura atual, Atualmente a estrutura está sustentada em dez pilares técnicos e dez pilares gerenciais. Os pilares técnicos representam os aspectos relacionados à produção sobre os quais se estruturam uma Manufatura de Classe Mundial. Cada um desses pilares apresentam objetivos específicos a serem implementados pela organização para o desenvolvimento do sistema. Os pilares gerenciais, por sua vez, indicam o comprometimento que as pessoas e a organização devem demonstrar durante a aplicação do modelo para auxiliar a alcançar os objetivos dos pilares operativos (CORTES, 2010).

Os pilares gerenciais são responsáveis pela sustentabilidade que permite o perfeito funcionamento dos pilares técnicos, pois dão medidas que indicam o comprometimento que as pessoas e a organização devem demonstrar durante a aplicação do modelo para auxiliar a alcançar os objetivos dos pilares operativos (DANTAS, 2019).

Já os pilares técnicos têm a finalidade de reduzir as perdas e disperdidos existentes na empresa, cada um dos pilares com sua finalidade e objetivo específico (DANTAS, 2019). A estrutura do WCM é apoiada nestes pilares técnicos e gerenciais, conforme o templo do WCM mostrado na Figura 10.

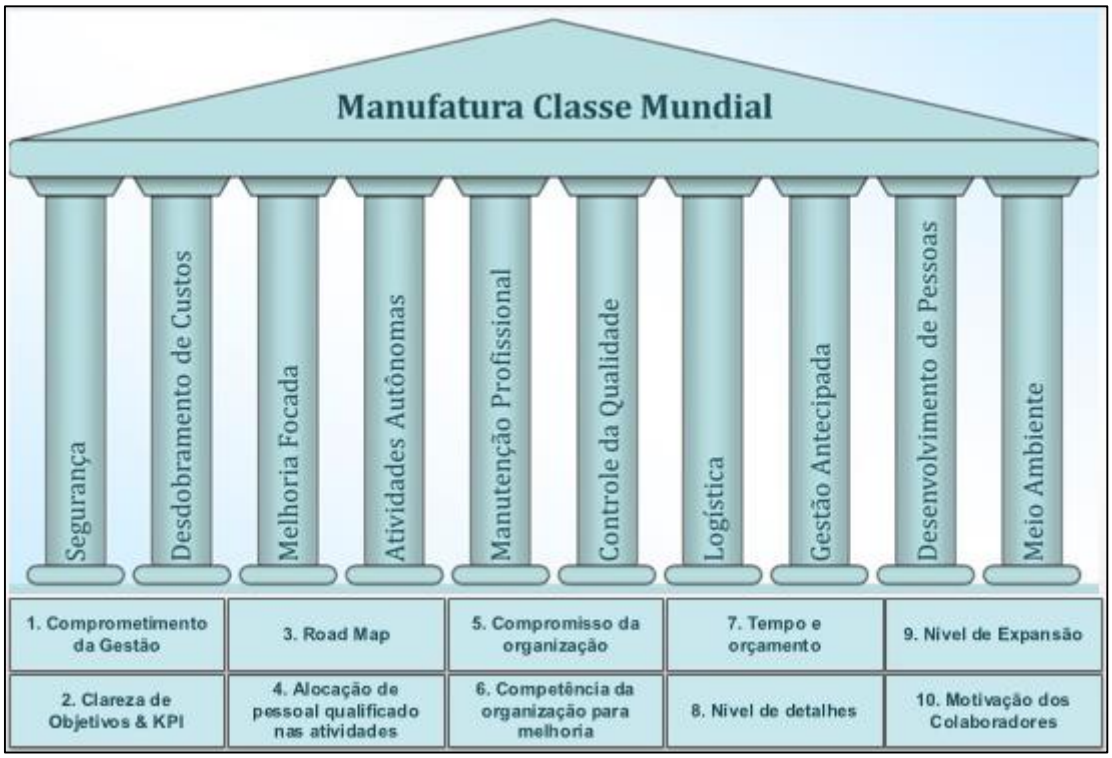

Figura 10 - Pilares da metodologia WCM
Fonte: Adaptado de Dantas (2019).

Dantas, (2019) complementa o assunto fazendo uma analogia à definição dos pilares técnicos, como sendo os responsáveis por sanar os desperdícios e os gerenciais, como sendo responsáveis por direcionar os esforços até o objetivo final, esta abordagem é representada na figura 11:

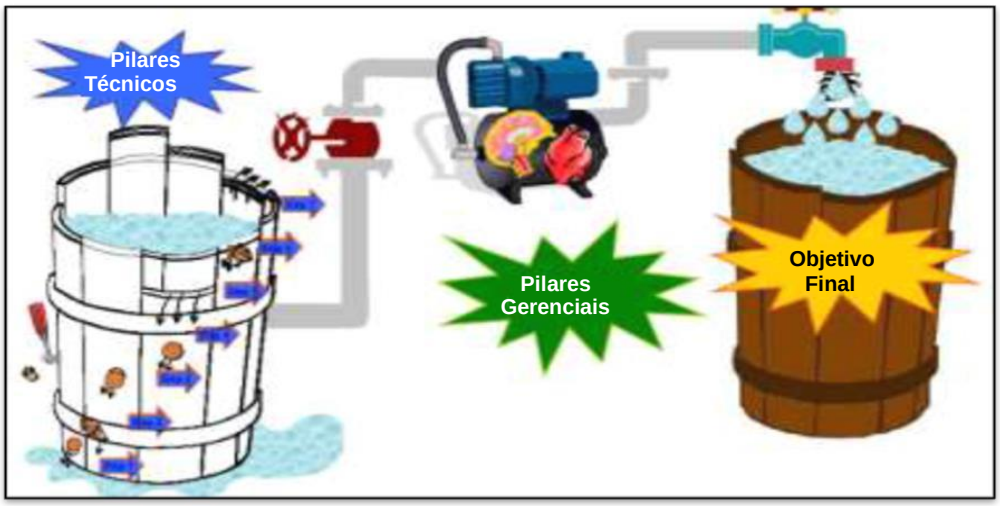

Figura 11 – Representação dos pilares do WCM.
Fonte: Adaptado de Dantas (2019).

Na Manufatura Classe Mundial o conjunto dos pilares técnicos atua praticamente em todos os processos de uma organização. Abaixo temo uma breve descrição de cada pilar, segundo Dantas, (2019):

1. **Segurança -** Responsável por promover um ambiente de trabalho totalmente seguro e controlado, com o intuito de assegurar a integridade física e mental dos colaboradores.
2. **Desdobramento de Custos** – Pilar responsável pela identificação e quantificação financeira de todas as perdas e desperdícios do sistema produtivo, bem como a priorização ao ataque de perdas que ofereçam as maiores potencialidades de redução de custos.
3. **Melhoria Focada** – Pilar responsável por dar suporte metodológico adequado ao combate às perdas, de acordo com a priorização do pilar Desdobramento de Custos.
4. **Atividades Autônomas** – Este pilar é subdividido em dois pilares, Manutenção Autônoma e Organização do Posto de Trabalho.
   - **4.1 Manutenção Autônoma** – Tratam-se das atividades básicas de manutenção que podem ser realizadas pelo próprio operador da máquina.

4.2 **Organização do Posto de Trabalho** – Pilar responsável por realizar melhorias nos postos de trabalho através de ferramentas inicias, tais como 5S e 5T.

5. **Manutenção Profissional** – Pilar responsável por atuar na restauração das condições originais dos equipamentos, a qual é realizada por profissionais da manutenção.
6. **Controle da Qualidade** – Neste pilar estão inseridos métodos e ferramentas específicas, que podem ser utilizadas no auxílio ao controle e monitoramento das entradas dos processos.
7. **Logística** – Este pilar é baseado nas atividades de reorganização dos processos, através do mapeamento do fluxo de valor, além de algumas práticas que asseguram o melhor fluxo, tais como: JIT¨, *Material Handling, Milk Run*, e alterações de layout.
8. **Gestão Antecipada de Equipamento e Produto** – Este pilar está relacionado à sequência de atividades necessárias ao desenvolvimento de um projeto para aquisição de um novo equipamento para a planta. Algumas atividades deste pilar são também aplicadas ao desenvolvimento do produto pela organização.
9. **Desenvolvimento de Pessoas** – Este pilar visa garantir, através de um sistema estruturado de treinamento, as habilidades necessárias a cada posto de trabalho.
10. **Meio Ambiente** – Este pilar busca desenvolver a cultura de redução dos impactos ambientais, utilizando o mínimo de recursos necessários para se produzir.

Com relação aos Pilares Gerencias, segundo Dantas, (2019) estes indicam o comprometimento que as pessoas e a organização devem demonstrar durante a aplicação da metodologia, e contribuem no auxílio ao alcance dos objetivos dos pilares técnicos.

A seguir estão descritos os Pilares Gerenciais:

11. Compromisso da Direção;
12. Clareza dos Objetivos;
13. Mapa da Rota;
14. Alocação de Pessoas Qualificadas;
15. Comprometimento da Organização;
16. Competência da Organização;
17. Tempo e Recursos;
18. Nível de Detalhes;

19. Nível de Expansão;
20. Motivação dos Operadores.

De acordo com Dantas, (2019), Os passos de implementação dos pilares técnicos são baseados em uma lógica de 7 passos, e esses divididos em 3 fases: reativa, preventiva e proativa. A fase reativa é composta pelos três primeiros passos, que são focados em resolver os problemas com medidas corretivas. Na sequência, entramos na fase preventiva, com os dois passos seguintes, onde os problemas são analisados, detectando suas causas, juntamente com a introdução de medidas preventivas, visando evitar ocorrência do mesmo problema novamente. A última fase é a proativa, composta pelos dois últimos passos, onde se prevê medidas, que evitem antecipadamente, o surgimento dos problemas. A divisão dos 7 passos nas 3 fases é representada pela figura 12:

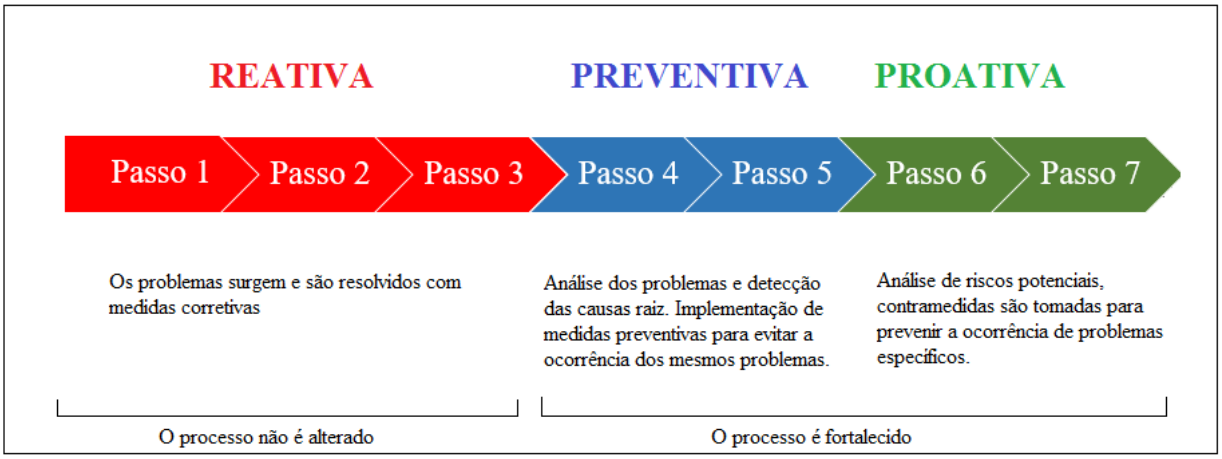

Figura 12 - Fases de implantação do WCM por pilar
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

2.2.5. A Implementação do WCM

Segundo Dantas (2019, A metodologia estabelece sete passos, para alcançar os objetivos da metodologia em todos os pilares, o que significa percorrer um caminho de 7 passos, adaptados ao tema em questão, porém todos baseados de forma geral aos seguintes quesitos:

1. Identificar que problemas precisam ser resolvidos;
2. Detectar onde estão estes problemas;
3. Priorizar os problemas com base na Cost Deployment;
4. Analisar os problemas e escolher os métodos corretos;
5. Implementar soluções com rigor;
6. Avaliar os resultados atingidos contra o objetivo original;

7. Padronizar e expandir.

Dentre os pilares do WCM, o pilar de desdobramento de custos ou Cost Deployment (CD) é aquele que inicia a aplicação do WCM, e consiste em transformar as perdas em custos, quantificando em medidas físicas, direcionando para as maiores perdas e sua resolução de forma prioritária (FARIA, VIEIRA, PERETTI, 2012). A Cost Deployment, vai Resumidamente, as três etapas são: pensar grande, iniciar pequeno e expandir (MURINO *et al.*, 2012, p.372). A figura 13 representa o caminho a ser seguido:

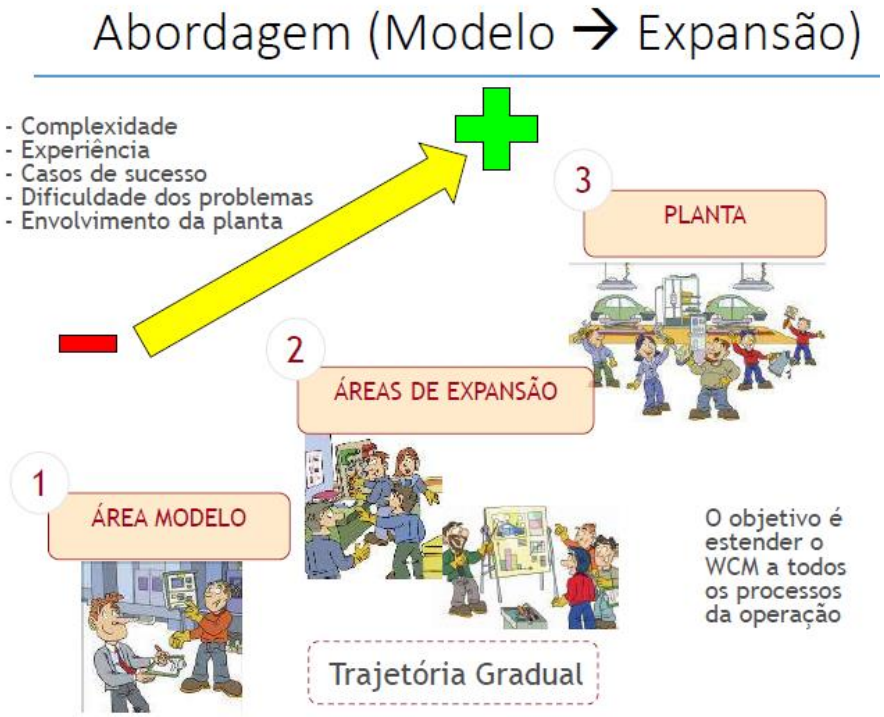

Figura 13 – Abordagem da implementação
Fonte: Adaptado de Dantas (2019).

2.2.6. Pilar de Meio Ambiente e Energia

O trabalho estará direcionado ao 10º pilar técnico do WCM, que é o pilar de meio ambiente e energia. Segundo Dantas (2019), os objetivos deste pilar são de forma simplificada, a prevenção da poluição, redução contínua dos impactos ambientais e de diminuição da necessidade de consumo de recursos naturais. As atividades principais são direcionadas para o consumo energético e hídrico, redução da quantidade de resíduos produzidos, melhoramento da coleta seletiva e o melhoramento da qualidade das emissões na atmosfera. O objetivo é reduzir o desperdício, e por consequência, a diminuição dos custos energéticos e ecológicos sobre o custo total de produção.

Para as questões de energéticas, a metodologia prevê atuar a partir do passo 4. Contudo, para algumas perdas, como é o caso das energéticas, WCM necessita ser desenvolvido de forma mais específico e gerencial, precisando o real valor do impacto que estas perdas representam para a empresa, e mesmo, para a sociedade. É o caso das perdas relacionadas à energia, tão representativas financeiramente para a organização e ambientalmente para o mundo. A importância deste tema se deve ao fato de que toda a evolução tecnológica está intimamente ligada ao uso da energia (PEREIRA, 2009).

Segundo Dantas (2019), além de ter um cunho de reduzir perdas e desperdícios resultantes das questões ambientais, este pilar tem um forte apelo por uma melhor proteção ao meio ambiente e, com os princípios do desenvolvimento sustentável e responsabilidade socioambiental. Prevê ações para atuar nos aspectos e impactos ambientais, afim também de garantir o respeito as normas em vigor. A figura 14 representa este conceito de redução de custos e aumento da sustentabilidade:

Figura 14 – Objetivos pilar Meio ambiente e energia
Fonte: Adaptado de Dantas (2019).

A ISO 14000 é um conjunto de normas, definidas pela Organização Internacional de Normalização (ISO), para padronizar a gestão ambiental nas empresas. Essas normas têm como objetivo a prevenção de processos que conduzem a contaminações ambientais, estruturando a forma de operação e armazenamento, assim como a recuperação e disponibilização de dados e resultados relacionados às necessidades de mercado e satisfação do cliente (SILVA, 2011).

O pilar de meio ambiente tem como objetivo atender a normas de gerenciamento ambiental, e desenvolver uma cultura de proteção ao meio ambiente. Para isto a metodologia propõe o desenvolvimento de 7 passos, que incluem como principais atividades: auditorias internas periódicas para verificar o impacto da planta no ambiente que está inserida, identificação e prevenção de riscos, uso da ISO 14000, e uma variedade de melhorias técnicas da planta (PALUCHA, 2012).

Como todos os demais pilares técnicos, o pilar de meio ambiente e energia, também é baseado em 7 passos, conforme demostrado abaixo:

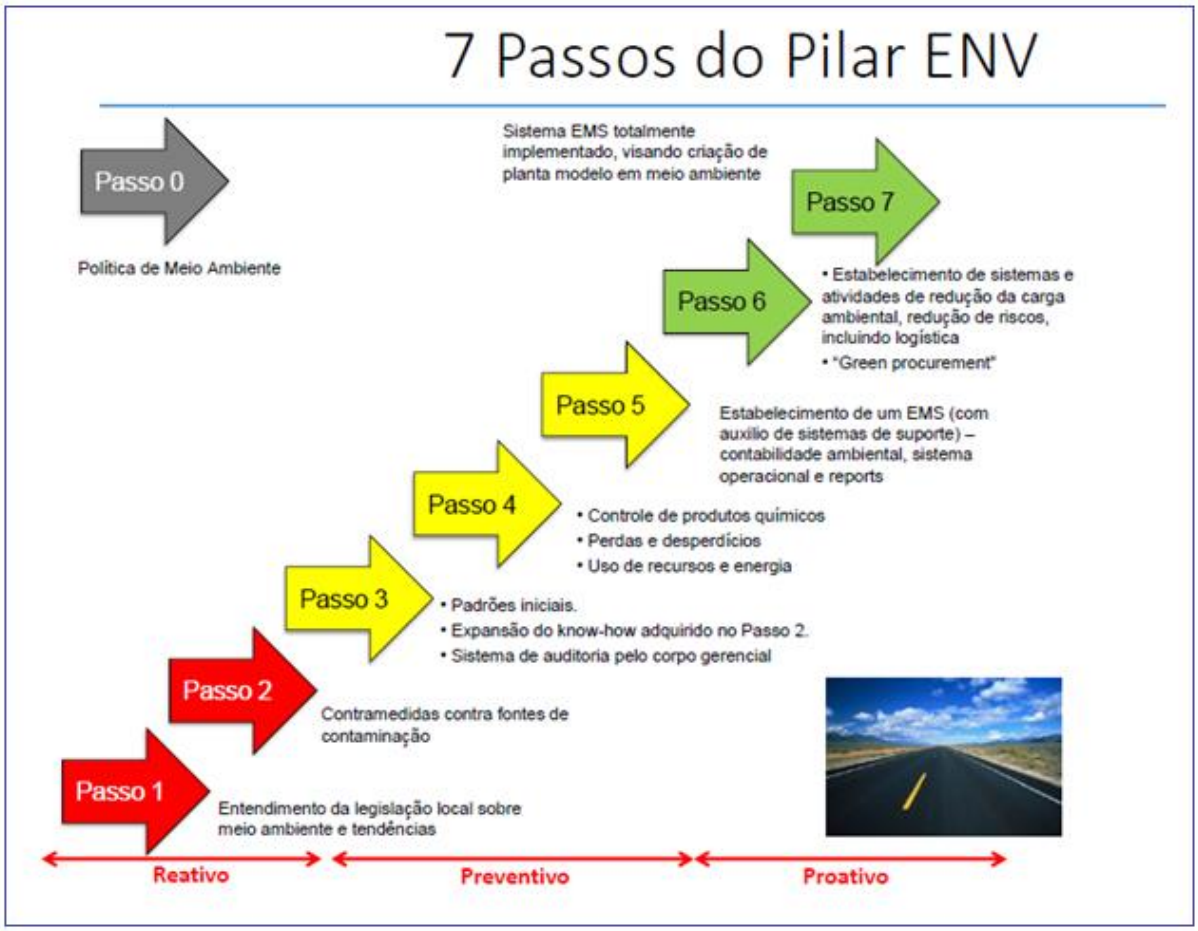

Figura 15: 7 passos do pilar de meio ambiente.
Fonte: Adaptado de Dantas, (2019).

Abaixo uma breve descrição dos passos de implantação do pilar, segundo Dantas (2019), inclusive do passo preliminar, conhecido como passo 0:

- **Passo 0**: Definição da política de Meio Ambiente;
- **Passo 1**: Atendimento às legislações locais. Mapear todos os processos, a fim de identificar os aspectos e impactos ambientais gerados. Os aspectos e impactos são classificados segundo o risco ambiental.

- **Passo 2**: Dedicado a eliminar as fontes de poluição. Realizar medições e controlar todos os resíduos gerados.
- **Passo 3**: Expansão dos conhecimentos e melhorias apresentados no passo anterior, para todas as atividades similares. Iniciar a criação de padrões.
- **Passo 4**: Controle sobre os produtos químicos e economia dos recursos naturais e energéticos. É neste passo onde se trabalha a redução das perdas de energia elétrica, porém, não existe uma metodologia detalhada de como realizar a redução das perdas energéticas, por conta disto, o projeto visa propor tal metodologia, e desenvolver um sub pilar dentro do pilar de meio ambiente.
- **Passo 5**: Estabelece um sistema de gestão ambiental para todas as atividades dentro da empresa. Todos os aspectos, impactos, leis, atividades, riscos são monitorados permanentemente, de modo a garantir nenhum distúrbio ambiental.
- **Passo 6**: Buscar reduzir ainda mais o consumo de recursos naturais na empresa, buscar reduzir ou eliminar o uso de materiais na produção.
- **Passo 7**: Consolidar por completo o sistema de gerenciamento ambiental, visando ter a planta toda como modelo na gestão de meio ambiente.

2.2.7 A Cost Deployment Ambiental

O *cost deployment* é um método distinto e transversal do WCM que auxilia a promover e prover eficiência extrema na ativação dos mais específicos métodos que foram experimentados com sucesso nas melhorias do processo de manufatura japonês (DANTAS, 2019). A necessidade de realizar o *Cost Deployment* ambiental nasce do peso significativo do custo ambiental ligado ao consumo de energia, que corresponde aproximadamente 7 a 12% do custo de transformação na empresa onde o projeto será realizado.

Segundo Dantas (2019), o *Cost Deployment* ambiental é desenvolvido em relação às energias e aos materiais. A implementação do método e a peculiaridade do tema ambiental fizeram que fosse necessário, desde o nível de Matriz A, diferenciar as perdas dos desperdícios. Chamamos desperdício à condição de quando verificamos um aumento do *input* em paridade com o *output* produzido. Típico exemplo de desperdício (geralmente causal) é a passagem de ar comprimido, que induz à necessidade de usar maior quantidade, obtendo, porém, a mesma quantidade do produto acabado.

Perda macro	Nome da perda	Pilar	Causa e efeito
Baixo rendimento metalurgico	Rendimento metalurgico	ENV	Causal
Energia	Ineficiencia energetica	ENV	Causal
Perdas com ar comprimido	Perda com ar comprimido	ENV	Causal
Descarte de aluminio	Descarte de aluminio	ENV	Causal
Meio Ambiente e Energia	Deperdicio de energia eletrica por perda de calor nos fornos dosadores	ENV	Causal
Meio Ambiente e Energia	Disposição de residuos classe II	ENV	Causal
Meio Ambiente e Energia	Disposição de residuos classe I	ENV	Causal
Meio Ambiente e Energia	Disposição de residuos diversos	ENV	Causal
Meio Ambiente e Energia	Tratamento de efluentes = ETC	ENV	Causal

Figura 16: Matriz A com as perdas ambientais.
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Em seguida, na realização da Matriz B, os itens correlatos às perdas causais, independentemente do âmbito de ação do pilar ambiental, são contabilizados na Matriz geral do estabelecimento (por exemplo, a falta de programação acarreta perdas no campo ambiental, mas a perda causal deve ser procurada no planejamento deficiente). Os desperdícios que podem ser atacados através da contribuição direta do pilar Ambiental passam pelas matrizes B e C do *Cost Deployment* ambiental específico.

Os dados ambientais convergem nas matrizes gerais do estabelecimento, partindo da Matriz D, em seguida, que une todos os projetos, que, uma vez classificados de acordo com uma escala de prioridades e eventualmente iniciados, figuram nas matrizes sucessivas.

2.2.8. Abordagem para Solução de Problemas

As abordagens para solução dos problemas, eliminação de perdas, pode ser de forma focada, ou sistêmica. A figura abaixo, demonstra a diferença entre ambas:

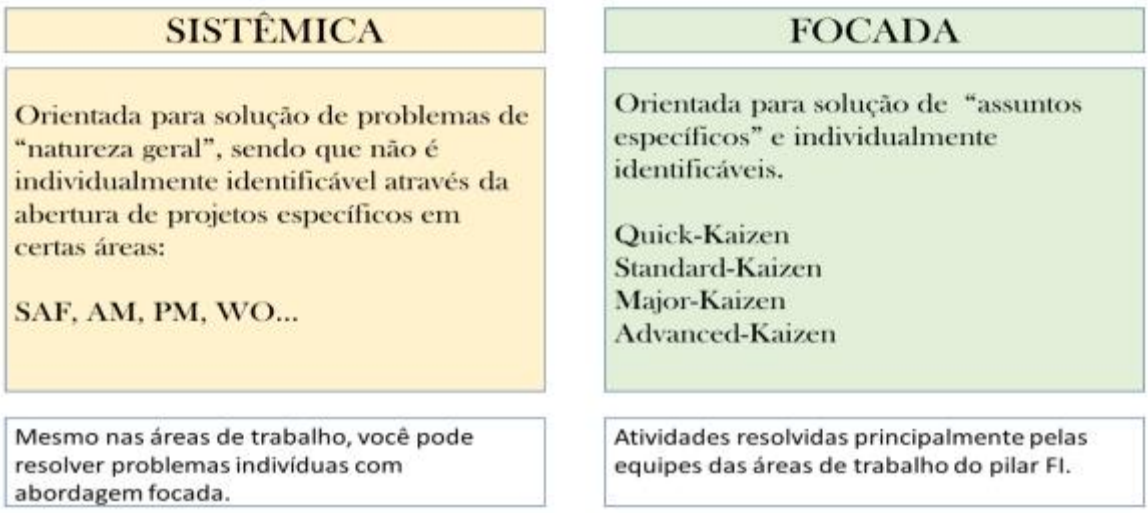

Figura 17 – Abordagem para solução de problemas
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Dentro da abordagem focada estão os Kaizens, que são baseados no ciclo PDCA e exemplos de melhorias tratadas via Kaizen são: Mudança de layout; Mudança de componente; Mudança de concepção; nova proteção; Prolongamento da vida útil; redução de estoque (YAMASHINA, 2010).

Umas das metodologias utilizadas para a melhoria continuada é o PDCA (Plan, Do, Check e Act), também conhecido como ciclo PDCA ou ciclo de Deming. Melhorar um processo significa estabelecer uma nova meta para permanecer nela. De acordo com Campos (1992), a fase P consiste nas etapas de identificação do problema, observação (reconhecimento das características do problema), análise do processo (descoberta das causas principais que impedem o atingimento das metas) e plano de ação (contramedidas sobre as causas principais). A fase D do PDCA de melhoria, é a de ação, ou atuação de acordo com o plano de ação para bloquear as causas fundamentais. Na fase C, é feita a verificação, ou seja, a confirmação da efetividade do plano de ação para ver se o bloqueio foi efetivo. Já na fase A existem duas etapas, a de padronização e a de conclusão. Na etapa de padronização, caso o bloqueio tenha sido efetivo, é feita a eliminação definitiva das causas para que o problema não reapareça. Na etapa de conclusão ocorre a revisão das atividades e planejamento para trabalhos futuros. Caso na fase C (check), o bloqueio não tenha sido efetivo, deve-se voltar na etapa observação da fase P (plan).

Conforme Ferreira (2013), outra forma de representação do ciclo PDCA, em forma de espiral continua, que significa, que a cada a cada rodada do método os horizontes vão se ampliar e a capacidade de gestão e inovação irão crescer significativamente. Na figura 18, temos a representação desta logica:

Figura 18 – ciclo evolutivo PDCA
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Outro ponto importante no ciclo PDCA, é a padronização de cada melhoria implantada, que segundo Andrade (2003) e Melo (2001), consiste em elaborar um novo padrão ou alterar o já existente, de forma que não se volte a ter o mesmo problema, e a partir deste ponto, seja implementado um novo ciclo. A figura 19 demonstra este processo, onde a padronização é representada por um calço, que impede do processo regredir.

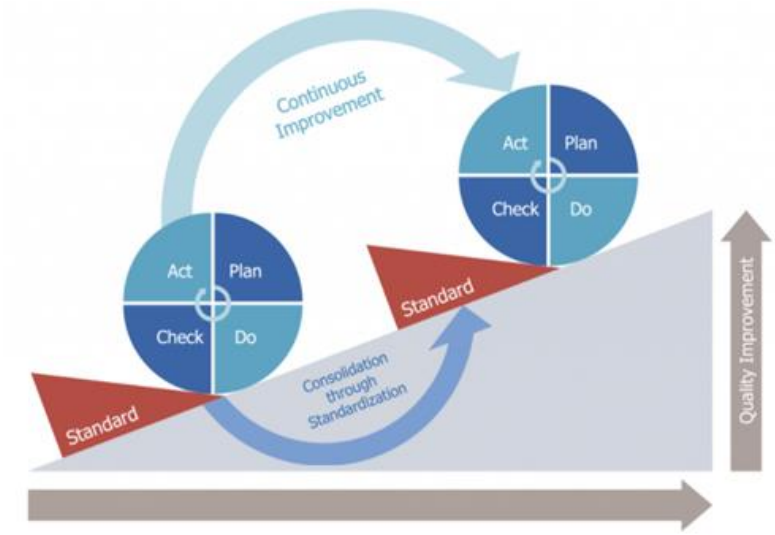

Figura 19 – ciclo evolutivo continuo PDCA
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Outra metodologia aplicável a melhoria contínua, com envolvimento de todos colaboradores da empresa, é o ***Kaizen***, palavra de origem japonesa, que significa mudar para melhor: ***Kai* (改)**: mudança e ***Zen*** (善): melhoria, a figura 20, apresenta o significado deste termo.

Figura 20 – KAIZEN
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

O *Kaizen* foi desenvolvido por Masaaki Imai, no Japão, e atualmente é conhecido e praticado em todo o mundo como uma filosofia de melhoria contínua. O conceito foi

introduzido na América em 1986, a partir do livro escrito por Masaaki Imai, "*Kaizen* – The Key to Japan`s Competitive Success".

A filosofia do *Kaizen* trata de envolver todas as pessoas na organização, inclusive dos gerentes e supervisores, para que se concentrem nas melhorias globais dessa organização. A base da produção enxuta é a eliminação dos desperdícios, visando responder melhor às necessidades do cliente no que diz respeito à entrega dentro do prazo, ao custo competitivo e à qualidade mais elevada. Mais importante, o *Kaizen* enfatiza o desenvolvimento de uma cultura voltada para o processo e direcionada para aprimorar a forma com que a empresa trabalha (ORTIZ,2010).

Essencialmente, o foco do *Kaizen* é o modo de pensar de todos os líderes e funcionários, uma atitude de autorreflexão e até mesmo de autocrítica, um cessante anseio de melhorar. É a mudança da situação atual de um processo, sendo analisado e rapidamente implementado, onde as melhorias se traduzem em benefícios concretos (LIKER, 2005).

Para o *Kaizen*, é sempre possível fazer melhor, nenhum dia deve passar sem que alguma melhoria tenha sido implantada, seja ela na estrutura da empresa ou no indivíduo. Baseada na lógica de oferecer melhores produtos a preços menores, é fundamental que as empresas apostem em filosofias que, consistam em formas alternativas para "identificar e eliminar os vários tipos de desperdício que não acrescentam valor aos clientes e aumentam os custos", esclarece Masaaki Imai (1994).

2.2.9 Custo de Transformação

Atualmente a gestão de custos deve servir para as empresas aumentarem os seus lucros e os seus níveis de desempenho. A gestão de custos já não está focada nos planos de redução de custos nem apenas no custeio dos produtos mas assume-se como um instrumento de gestão do desempenho das organizações e das suas vantagens competitivas (Kaplan e Cooper, 1998).

Os custos pode ser subdivididos em função das fases de sua ocorrência, sendo formado pela matéria-prima, a qual pode ser chamada de custo básico, está recebe a atuação da mão-de-obra, o que resulta nos dois custos diretos. Segundo Dutra (2003, p. 66), "além da mão-de-obra, atuam sobre os custos básicos os custos gerais, em sua maioria indiretos, e estes, somados à Mão-de-obra, constituem-se no custo de transformação, pois são eles que transformam a matéria-prima"

O custo de transformação representa o valor do esforço de uma empresa no processo de elaboração de um determinado item. Mesmo que a empresa tenha somente um produto, é

necessário saber de todos os custos, tais como: mão de obra direta e indireta, encargos sociais, depreciações, materiais de consumo usados dentro da fábrica, peças e a manutenção dos equipamentos e demais gastos incorridos durante a produção, Oliveira e Beuren (1996). A figura 21, demonstra os custos que compõem o custo de transformação:

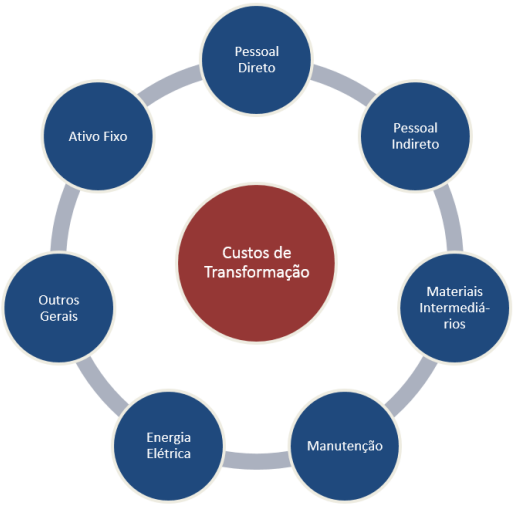

Figura 21 – Composição do custo de transformação
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

O custo do produto vendido(CPV), tem como maiores pesos o custo de matéria prima e o custo de transformação. Na empresa em questão, o custo de transformação representa mais de 40% do CPV. Para ilustrar, a figura 22, apresenta um exemplo, de determinada unidade de negócios a empresa onde o trabalho foi desenvolvido:

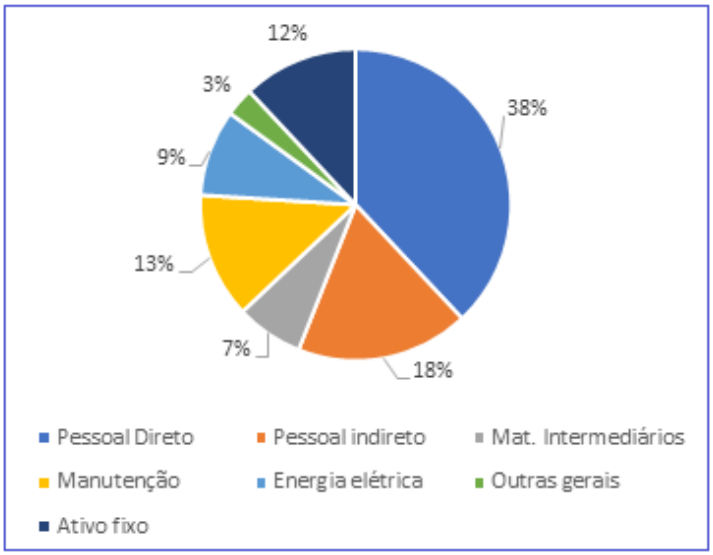

Figura 22 – Divisão do custo de transformação
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Como o trabalho vai ser desenvolvido para melhoria da eficiência energética, o objetivo será atuar nos custos de energia elétrica, o que no exemplo acima, representa 9%.

3. PROPOSTA METODOLÓGICA

Tradicionalmente a gestão de energia, é feita apenas sobre o consumo total, sem buscar conhecer efetivamente as ineficiências, onde se apresentam e suas possíveis causas. Toda ineficiência, inclusive a energética, é um sinal que algo não vai bem, ou no mínimo poderia ser melhor, pois certamente estamos gastando mais do que o necessário. As questões energéticas, vão além das questões financeiras, pois tem o viés da responsabilidade sócio ambiental das organizações e do crescimento sustentável.

A abordagem comum de eficiência energética na maioria das industrias, inclusive na empresa onde o trabalho será desenvolvido, costuma focar no consumo total das áreas, visando estabelecer um suposto padrão de eficiência, baseado no melhor resultado já alcançado em um determinado período. Ou então, avaliar questões tecnológicas, como por exemplo a troca de iluminação convencional por LED.

O trabalho a ser desenvolvido, será focado em energia elétrica, por se tratar da fonte energética mais representativa nesta empresa, respondendo por aproximadamente 7 a 12% do custo de transformação, e desta forma, as melhorias impactam na lucratividade e competitividade da empresa. Porém, a metodologia deverá ser capaz de trabalhar eficiência energética de forma abrangente, não só nas questões de energia elétrica, mas sim de qualquer fonte de energia utilizada na indústria, seja térmica, ar comprimido, gases, de acordo com sua representatividade, que varia de acordo com o tipo da indústria ou do processo.

A lógica da metodologia é uma espiral de melhoramento, cujo instrumento de gestão permite conhecer, reduzir e até eliminar as perdas existentes dentro do processo produtivo. A metodologia foca as intervenções de estudo e de melhorias, nas perdas mais significativas, do ponto de vista de consumo energético, e respectivamente, seus impactos financeiros no custo da empresa.

A proposta é criar uma metodologia, que leve em conta além das práticas usuais, a avaliação detalhada dos equipamentos de maior consumo de energia elétrica e os processos envolvidos, de forma a identificar o perfil de consumo ideal - energia útil (aquela efetivamente utilizada para transformar o produto). Todo o consumo que não se enquadrar no perfil ideal deve ser caracterizada como perda (parcela da energia não utilizada no processamento do produto). Após a determinação da parcela de perdas, deve-se: estratificá-las; conhecer sua origem; estudar os impactos da eliminação, e propor medidas de combate. As contramedidas devem ser implantadas, ter validada sua eficácia e após confirmação ser expandidas para outros processos e/ou equipamentos similares.

Observa-se que no passo 4, que será abordado no capitulo 3.1, temos uma atividade primordial no desenvolvimento da metodologia, que consiste na determinação, valorização e classificação das perdas, que são a matéria prima para definir contramedidas e por fim, após sua implantação colher resultados.

Após a definição da metodologia, esta será aplicada em um processo produtivo na empresa, de forma se tornar um estudo de caso, com aplicação pratica, de modo comprovar a eficácia, com a conquista de resultados reais de redução de custos.

3.1 OS 7 PASSOS DE ENERGIA:

Como toda estrutura do WCM, também as questões de eficiência energética, seguem a lógica sequencial de 7 passos, voltados a uma evolução gradativa e consistente, de forma que os resultados sejam permanentes. A figura 23 apresenta a estrutura proposta para tratar o tema:

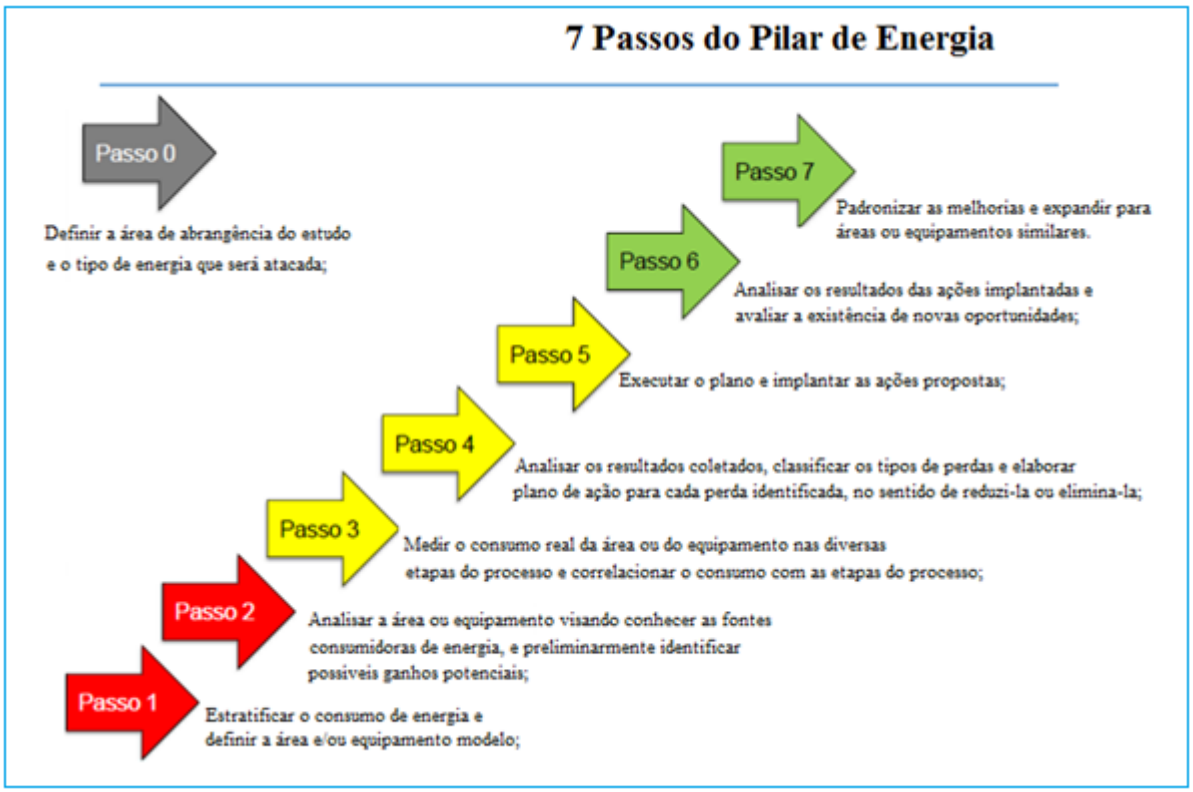

Figura 23 – 7 passos pilar Energia
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Abaixo, temos a descrição detalhada de cada passo da metodologia proposta:

- **Passo 0:** Definir área de abrangência e o tipo de energia

O objetivo deste passo é definir o local onde será realizado o estudo (planta, prédios, departamentos e/ou seções e equipamentos), de forma a possibilitar o desenvolvimento dos 7 passos de energia. Além disto, com base nos processos envolvidos nesta área, deve-se definir qual é o tipo de energia de maior relevância e que será abordada no estudo (elétrica, gases, vapor, ar comprimido, térmica, etc.). Estas definições auxiliarão no provisionamento de recursos necessários para implantação dos passos subsequentes.

- **Passo 1:** Escolha da área / equipamento modelo

A escolha preferencialmente deve seguir uma ordem de priorização baseada no valor de maior consumo de energia, para isto, deve-se estratificar os consumos baseado em histórico de consumo e/ou medições pontuais. Para isto, deve-se avaliar quais são as medições já disponíveis e providenciar a implantação das demais que possuírem relevância significativa para o processo. Nesta fase alguns pontos devem ser observados:

- Avaliar se o tipo de medidor existente é adequado a necessidade;
- De que forma os medidores estão instalados no local definido: por transformador e/ou por prédio e/ou departamento;
- No caso de medição em equipamentos, avaliar se a medição é exclusiva do equipamento e se está medindo o consumo total deste.

Caso a área/equipamento selecionada não possua nenhuma forma de medição, deverá ser providenciada medições pontuais com equipamentos portáteis em caráter provisório, ganhando assim agilidade, enquanto a medição definitiva é instalada. Esta medição deve ser realizada por um período suficiente, para que seja possível verificar o perfil de consumo em diversas fases do período produtivo. Quando não houver possibilidade de executar de alguma forma a medição, pode-se utilizar de conhecimento prévio ou dados teóricos (catalogo).

A partir da estratificação, deve-se selecionar o equipamento/área de maior consumo. Na escolha, também deve-se considerar a possibilidade de expansão em áreas/equipamentos similares.

Deve-se nomear uma pessoa responsável para conduzir as atividades e prover as necessidades de treinamento e suporte/recursos.

- **Passo 2:** Mapeamento da situação atual

O objetivo deste passo é realizar uma investigação da área / equipamento e do processo, entender como o consumo está distribuído ao longo do dia, as inter-relações com as etapas do

processo e com a capacidade de produção. No mapeamento é importante envolver profissionais que tenham conhecimento do processo.

Abaixo separamos em três etapas as informações que devemos coletar:

a) Caracterização da Área:

- Departamento, seção e/ou centro de trabalho;
- Identificação do staff da área: chefias, preparadores, técnicos e facilitadores e operadores;
- Número de operadores;
- Regime de trabalho (turno, horário de refeição, etc.);
- Qual capacidade e qual a taxa de ocupação;
- Cultura dos colaboradores (identificar se a área tem preocupação em desligar os equipamentos não utilizados nos horários de: refeição, troca de turno, reuniões, ginástica laboral, DDS, etc.);
- Tipo de Iluminação e utilização de luz natural;
- Perdas com vazamentos de ar, agua, fluido de corte, óleo hidráulico;

b) Características de cada Equipamento:

- Modelo e fabricante equipamento:
- Finalidade:
- Patrimônio:
- Entradas de energia (elétrica, gás, ar comprimido, térmica, vapor)
- Potência nominal para cada tipo de energia;
- Projeto mecânico, elétrico;
- Se o equipamento avaliado ainda está conforme projeto original, ou já possui alterações;
- Identificar os componentes responsáveis pelo consumo de energia;
- O que pode influenciar ou variar o consumo de energia (ex.: velocidade, temperatura de processo, clima, ajustes, manutenção, matéria-prima);
- Identificar fontes de perda (ex.: isolamento térmico, resistências, vedações, componentes móveis e girantes, sistemas de controle);
- Possíveis controles que contribuem para a redução perdas de energia, se estão funcionando adequadamente;
- Características do ambiente onde está instalado equipamento (pó, frio, calor);
- Organização e limpeza do equipamento;

- Evidencia de manutenção preventiva e/ou preditiva, qual periodicidade, avaliar se os componentes críticos do ponto de vista de consumo energético, são avaliados na manutenção preventiva.

c) Processo:

- Avaliar descrição do processo, normas operacionais, parâmetros do processo;
- Avaliar se o equipamento está ajustado com os valores corretos para os parâmetros;
- Evidencia do treinamento dos operadores nas normas operacionais cabíveis, verificar se os procedimentos descritos, são seguidos na pratica
- Tempo de ciclo;
- Tipo de funcionamento (continuo, intermitente);
- O equipamento tem necessidade de ser ligado antes do início do turno, qual motivo e quanto tempo
- Quantidade de setups, tempo e consumo de energia durante setup;
- Se o equipamento fica ligado quando não está operando (final de semana, refeições, reuniões, ginástica laboral);
- Se já foi feito algum trabalho de eficiência energética;
- Tipo de produtos e qual mix de produção;

➢ **Passo 3 –** Medição, auditorias e treinamentos

O objetivo deste passo é, a partir do mapeamento da situação atual, conhecendo em detalhes o local, equipamento e o processo:

- Definir todos os pontos de medição assim como o método de medição;
- Identificar se o equipamento já possui algum tipo de medição de consumo, pressão, vazão, temperatura, velocidade, que possa fornecer informações uteis para analises futuras.
- Realizar medições em diversas situações de carga e produção, em vazio, com 100% da capacidade, diferentes tamanhos de produtos;
- Medições de variáveis de processo (temperatura, velocidade, tempo) e cruzar com consumo energético e produção realizada;
- Estabelecer indicadores de consumo diário / mensal;

- Criar um indicador relacionando consumo x produção (KWh/motor, KWh/CV, KWh/tonelada, KWh/lingote, etc.);
- Entender a parte fixa e variável do consumo de energia;
- Comparar as taxas de consumo teórica e real;
- Definir testes que deverão ser feitos para caracterizar as perdas;
- Observar a geração de sucata, refugo e reprocesso, e medir o consumo necessário para produzi-los.

Neste passo, se inicia também o aculturamento de todos os envolvidos com a área/equipamento modelo. Devem ser previstas ações para iniciar o aculturamento dos operadores em conscientização para o uso racional da energia, e envolver a todos que tem relação com o processo, nas atividades de medição e análise. Tais atividades possuem o intuito de demonstrar a importância e impacto do estudo realizado, esclarecer quanto necessidade de acompanhamento dos resultados e criar senso crítico nos colaboradores da área onde o trabalho está sendo executado, para que possam fazer análises e melhorias futuras, através de *Kaizens*, que tragam impacto positivo quanto a Eficiência Energética.

- **Passo 4:** Análise e Plano de Ação

O objetivo deste passo é avaliar os dados coletados e as medições efetuadas, visando inicialmente identificar as perdas e classifica-las por tipo, para que as conhecendo, possamos elaborar medidas para elimina-las ou minimiza-las. Estes desperdícios, classificados como perdas, são ocasionados pelo não aproveitamento correto da energia, seja pelo consumo desnecessário, excessivo e/ou não otimizado.

Os consumos de energia são estratificados por meio da análise de 7 tipos de perdas valorizadas e priorizadas para que os projetos de solução sejam direcionados aos problemas mais significativos para a empresa. As perdas serão abordadas no próximo capítulo.

Após a identificação e classificação das perdas, a próxima etapa é valoriza-las financeiramente, para posteriormente priorizar quais deverão ser atacadas. Além do valor financeiro da perda, também será avaliado a dificuldade de atacar determinada fonte de perda, pois é importante buscar resultados no curto prazo, e muitas vezes as perdas de maior valor, podem ser as mais demoradas de reduzir. As identificadas, são agora deverão ser tratadas fazendo-se uso das metodologias para resolução de problemas.

As perdas mapeadas e escolhidas, devem passar a ser estudadas, fazendo uso de metodologias para solução de problemas. Nesta atividade é fundamental o envolvimento de

todas áreas que possuam conhecimento e interação com o processo em análise. O objetivo é eliminar ou reduzir as perdas através da implementação de ações (contramedidas).

A abordagem para tratar as perdas, deve ter nas suas ações atividades como:

- Criar um grupo de trabalho multidisciplinar envolvendo áreas como: Eng. Industrial, Manutenção, Produção, Ferramentaria, com o objetivo de estruturar planos de ação, que possam combater cada perda mapeada;
- O plano de ação deve conter também, ações para educar e treinar os operadores em conscientização ambiental (ex.: atividades de formação e sensibilização; dia da energia; divulgação de matérias no jornal interno; panfletos);
- O plano deve ser estruturado em atividades de curto, médio e longo prazo.

➢ **Passo 5:** Executar o plano e implantar as ações propostas

O objetivo deste passo é implantar as ações previstas para reduzir ou eliminar as perdas identificadas.

As ações de curto prazo devem ser implantadas imediatamente, para que os primeiros ganhos já sejam percebidos pelos envolvidos no processo, e que isso possa fazer parte do aculturamento para um ambiente mais eficiente.

Durante o período implantação, cada atividade de ser acompanhada e avaliada, visando identificar possíveis impactos indesejados na operação, evitando prejuízos para segurança, qualidade ou produtividade.

➢ **Passo 6:** Análise resultados e identificação de novas oportunidades

As ações implantadas agora são avaliadas se de fato eliminaram as perdas atacadas. O objetivo principal é avaliar o impacto de cada ação no consumo de energia da área modelo. A abordagem deste passo deve conter ações como:

- A realização de *follow up* das diversas atividades que foram previstas, deve ser realizada de forma minuciosa;
- As ações implantadas devem ter comprovados os ganhos proporcionados;
- Um plano de auditoria deve ser implantado, buscando identificar desvios como: iluminação e equipamentos ligados sem necessidade, principalmente nos horários de refeição, reuniões, 3º turno e finais de semana;

- Os indicadores de desempenho devem estar publicados para que todos da área tenham acesso a informação.

➢ **Passo 7:** Padronização e Expansão

O objetivo é ganhar velocidade ao implementar as mesmas melhorias da área modelo, em equipamentos ou áreas similares. Os pontos a serem observados neste passo são:

- Padronizar e Expandir as melhorias implementadas a todos os processos similares;
- Criar e compartilhar documento de lições aprendidas sobre eficiência energética;

3.2 TIPOS DE PERDAS

Os "tipos de perdas" citados no passo 4, são classificados de acordo com a sua origem/causa, conforme mostrado abaixo:

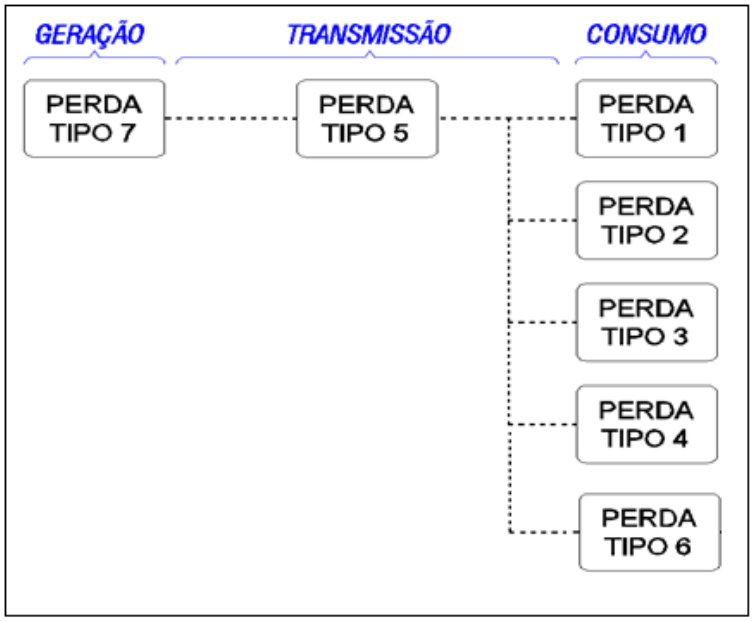

Figura 24 – 7 Perdas de energia
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Abaixo temos a definição de cada perda, com alguns exemplos para auxiliar no entendimento:

❖ **Tipo 1** – Devido ao consumo desnecessário em ambiente sem produção.

Exemplos:

- Consumo em horário não produtivo (finais de semana, horário de refeição, troca de turnos, reuniões);
- Processo ou maquinas ligadas, mesmo que parcialmente, mas sem produzir.
- Máquinas consumindo energia durante a preparação, ajustes;
- Iluminação, computadores, ventiladores ligados sem utilização.

❖ **Tipo 2** – Devido ao consumo excessivo durante a produção normal.

Exemplos:

- Máquinas operando sempre com capacidade máxima: temperatura abaixo ou acima do especificado, tempo acima do especificado, pressão de ar comprimido acima do necessário, velocidade acima do especificado;
- Superdimensionamento de acionamentos, iluminação, motores;
- Programação de produção abaixo da nominal: equipamento operando ociosamente, consumo não proporcional a produção, início ou desligamento não otimizados.

❖ **Tipo 3** – Devido à não otimização dos equipamentos.

Exemplos:

- Equipamento não opera nas condições de projeto;
- Equipamento em mal estado de conservação, e funcionando abaixo da sua capacidade nominal, por alta de manutenção preventiva;
- Equipamentos obsoletos, projeto antigo, utilizando motores de baixo rendimento, sem condições de variar velocidade durante o processo, controles de processo on-off ao invés de lineares, maquinas que não podem ser desligadas, quando não estão produzindo.

❖ **Tipo 4** – Devido a não recuperação de parte da energia consumida.

Exemplos:

- Por não reaproveitar a energia térmica de fornos / estufas;
- Por não reaproveitar a energia cinética de grandes motores.

- **Tipo 5** – Devido perdas na distribuição e transmissão de energia.

Exemplos:

- Vazamentos de ar comprimido;
- Perda de carga de ar comprimido;
- Deficiência em isolamentos térmicos;
- Fuga de energia ou baixa condutibilidade de condutores;
- Condutores mal dimensionados;
- Contatos defeituosos.

- **Tipo 6** – Perdas durante fase de transformação da energia elétrica em outra forma de energia.

Exemplos:

- Perdas por utilizar iluminação de tecnologia ultrapassada;
- Equipamentos com baixo rendimento, como compressores de ar, sistemas de refrigeração e climatização, bombas em geral, sistemas de aquecimento indireto;
- Sistemas de transmissão, como polias e correias.

- **Tipo 7** – Perdas na fonte de energia por não utilizar fontes alternativas como as renováveis, as abundantes, ambas de menor impacto ambiental.

Exemplos:

- Por não utilizar energia de fontes renováveis (fotovoltaica, eólica);
- Por não utilizar iluminação natural nos ambientes.

Também podemos classificar as perdas existentes em um equipamento ou processo, conforme a figura 25:

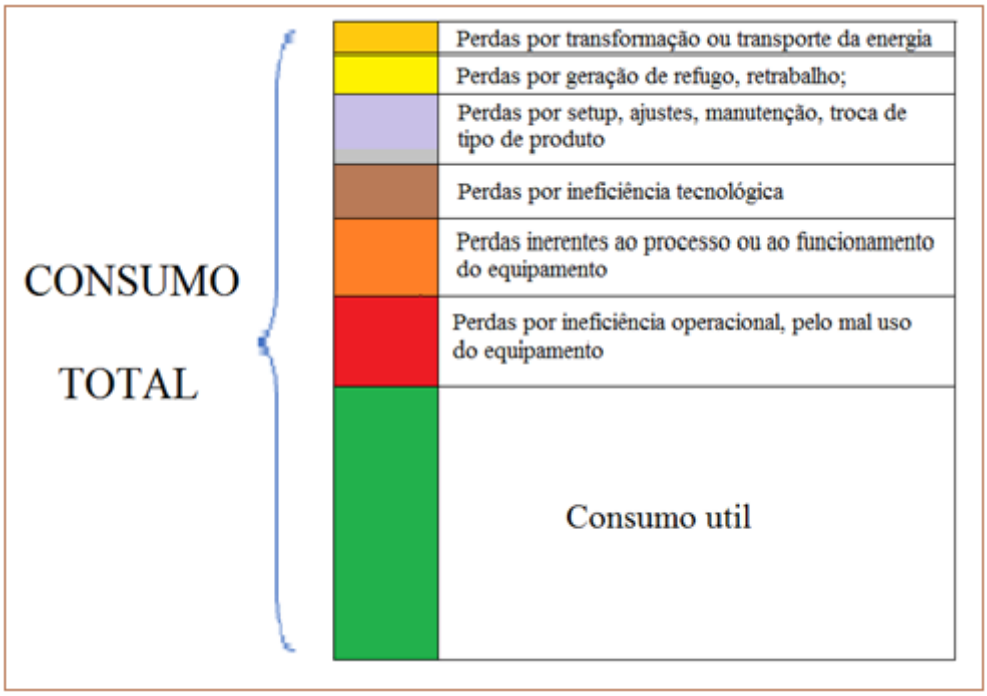

Figura 25 – Composição das perdas x consumo total
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

A classificação ou divisão de perdas proposta acima, está presente em um equipamento ou processo, em momentos diferentes, mas avaliando o consumo durante um período de tempo, maior, como turno, ou vários ciclos, elas se farão presentes. Abaixo uma breve descrição de cada tipo de perda:

- Por transformação ou pelo transporte de energia: decorrente das perdas nos condutores, contato, componentes eletrônicos, normalmente são perceptíveis pelo aquecimento resultante do efeito joule;
- Por Geração de refugo, retrabalho: todo e qualquer consumo decorrente a produção de uma peça que vai foi descartada por não atingir o mínimo especificado. Também é considerado neste item o consumo necessário para recuperar a peça, que não será refugada;
- Perdas por setup, ajustes, manutenção e troca de produto: O consumo que acontece durante o ajuste do equipamento, a troca de ferramental, limpeza por conta de troca de produto, manutenção, e mesmo para realizar o controle de qualidade do produto, estão consideradas neste ponto;
- Perdas por ineficiência tecnológica: toda perda que está relacionada ao equipamento, seja por otimização, manutenção ou necessidade de retrofitting, tais como substituição de iluminação convencional por LED, utilização de

dimerização ou controle de presença na iluminação, melhorias do isolamento térmico, alteração do sistema de controle de torres de refrigeração e sistemas de exaustão, motores de baixo rendimento.

- Perdas inerentes ao processo ou ao funcionamento do equipamento: todo consumo que é necessário, por alguma razão, que porém não contribui diretamente para fabricação do produto. Ex.: fornos de espera na injeção de alumínio, forno canal nos metalúrgicos, o consumo de um centro de usinagem durante a troca de ferramentas, ou o movimento de um eixo de uma posição a outra.
- Perdas por ineficiência operacional: É a perda ocasionada diretamente pelo uso do equipamento, tem relação direta ao operador. Não ajustar o equipamento com os parâmetros corretos, ajuste inadequado, deixar o equipamento ou parte dele ligado sem produzir, não utilizar a capacidade nominal do equipamento. A programação da produção, também influencia na ocorrência desta perda, pois muitas vezes o operador não tem autonomia para decidir fazer da forma mais eficiente. Falta de manutenção, lubrificação, limpeza, também impactam no consumo.
- Consumo útil: Somando todas as perdas acima, e descontando do consumo total, chegamos ao consumo desejado ou útil, que é a parcela que efetivamente transformou o produto.

Conhecer a origem ou o tipo da perda, o que a causa, é muito importante para poder trabalhar na solução que possibilitara eliminar ou reduzi-la. Outro ponto, é que muitas vezes, grandes perdas podem ser eliminadas com baixo investimento, por exemplo as perdas operacionais, que na maioria dos casos não demandam investimento e facilmente apresentam ótimos resultados.

4. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA E ANALISE DOS RESULTADOS

A aplicação pratica da metodologia proposta, visa testar cada passo, e desta forma avaliar sua aplicabilidade, comprovar sua efetividade e as dificuldades ou eventuais lacunas existentes. Além disso, o trabalho visa apresentar os primeiros resultados, financeiros, de forma que além de comprovar tecnicamente a metodologia, buscar apoio por parte da gestão da empresa, para expandir a metodologia, nas diversas unidades fabris da empresa.

4.1. PASSO 0: DEFINIR ÁREA DE ABRANGÊNCIA E O TIPO DE ENERGIA

No passo 0, vamos definir a área de abrangência e o tipo de energia que será o tema do desenvolvimento do trabalho.

Com relação ao tipo de energia a ser abordado, a matriz energética das unidades da empresa no Brasil é essencialmente elétrica, desta forma esta será a forma de energia a ser abordada no trabalho. Alguns processos muito específicos, como corte e soldas, fazem uso de gases, em pequena quantidade.

A empresa é dividida em unidades de negócio, e para definirmos a abrangência que daremos ao trabalho, vamos analisar o percentual de consumo de energia em 2019, para cada unidade de negócio, conforme gráfico 1:

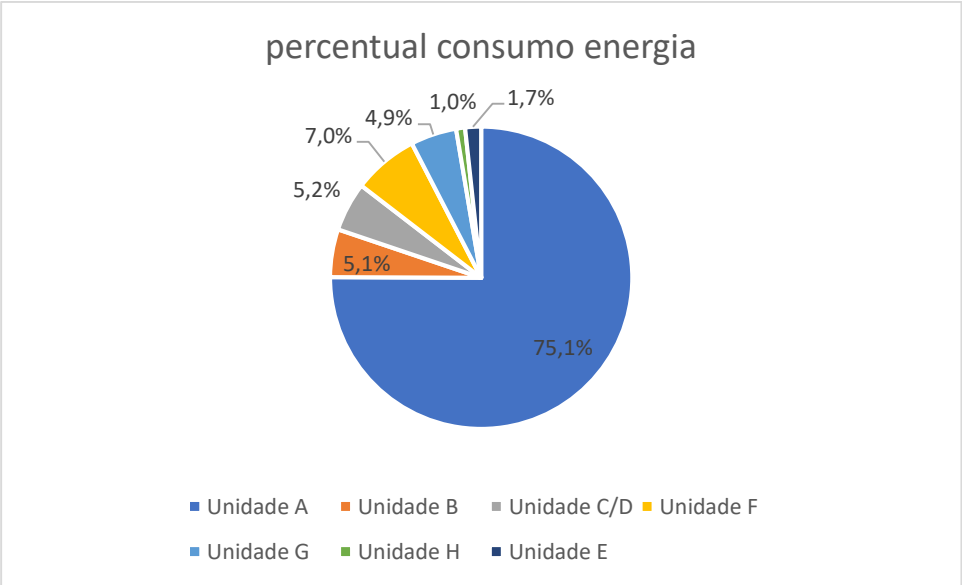

Gráfico 1 – Consumo de energia por unidade de negócio
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

A unidade de negócios A, corresponde a 75,1% do consumo de energia elétrica das unidades da empresa no Brasil. Esta unidade possui 7 filiais no país, a distribuição do consumo de cada uma pode ser vista no gráfico 2:

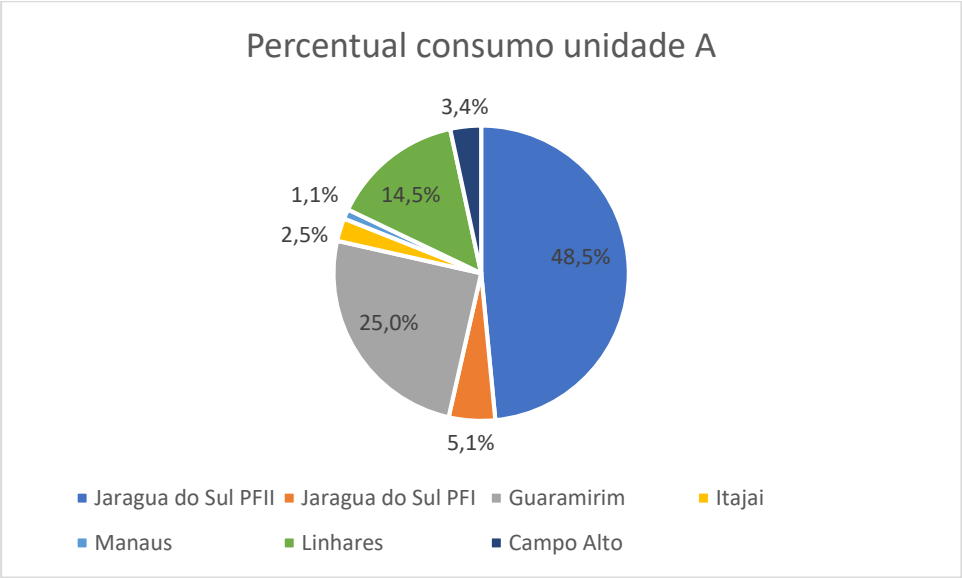

Gráfico 2 – Consumo de energia por parque fabril – unidade A
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Dentro da unidade A, o parque fabril com maior consumo é o PFII de Jaraguá do Sul, com 48,5%. Nesta cidade, a empresa possui também o parque fabril I, e como os dois parques fabris são alimentados a partir da mesma subestação, serão tratados para fins deste trabalho, como um só, totalizando 53,6% do consumo total da unidade A em 2019.

Portanto, definimos por atuar sobre a energia elétrica, dentro dos domínios da unidade A, nos parques fabris I e II, na cidade de Jaraguá do Sul.

4.2. PASSO 1: ESCOLHA DA ÁREA / EQUIPAMENTO MODELO

O Parque Fabril I/II é alimentado em 138kV, e possui uma subestação com dois transformadores de 50MVA, com entrada em 138kV e saída em 13,8kV, sendo um responsável pela alimentação de todo parque fabril e o outro para atender um laboratório especifico, sendo que este segundo transformador também faz papel de *stand by* do primeiro, podendo vir a alimentar a fábrica caso necessário. A energia é distribuída para fábrica por 10 alimentadores aéreos ou subterrâneos, e os prédios possuem subestações com transformadores que recebem em 13,8kV e entregam para o consumo no nível de tensão adequado a necessidade, na grande

maioria em 380V. Na figura 26 temos um diagrama simplificado da distribuição de energia neste parque fabril:

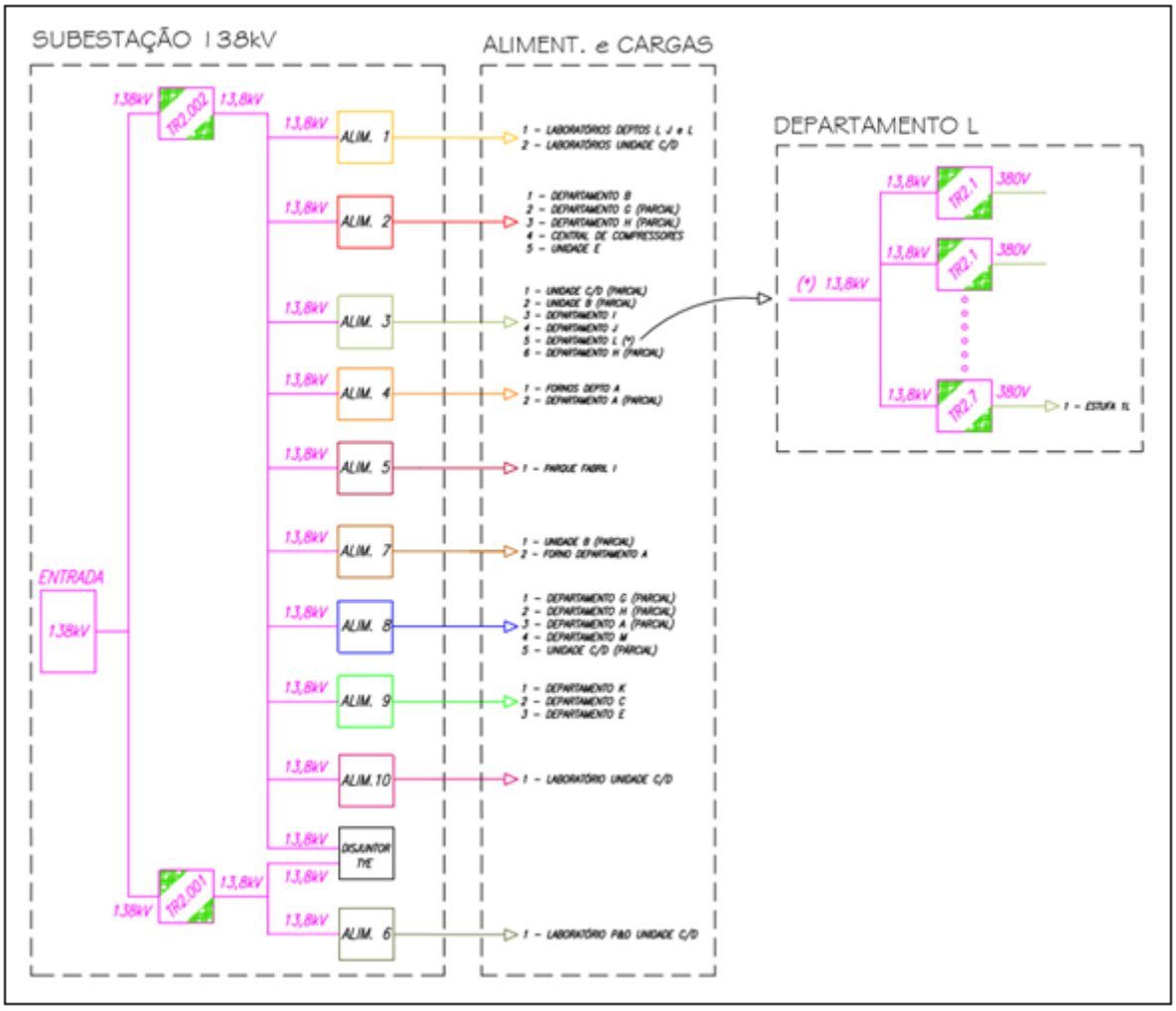

Figura 26 – Diagrama básico distribuição energia PFI e II
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Para escolher a área ou o equipamento modelo, sobre o qual será desenvolvido o trabalho, deve se avaliar os consumos, por departamento, por área e quando possível individualmente por equipamento.

No caso do parque fabril avaliado, cada prédio é alimentado por um ou mais transformadores, e cada um possui medidor de energia, o que possibilita analisar o consumo por transformador, por departamento ou prédio. O gráfico 03, apresenta o consumo por departamento produtivo da unidade de negócios A, nos parques fabris 1 e 2:

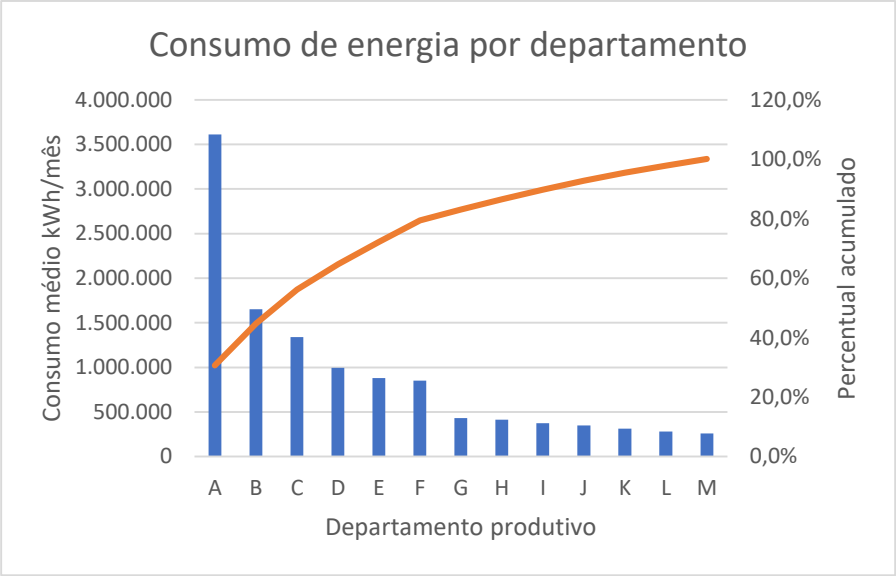

Gráfico 03 – Consumo por departamento produtivo – unidade A
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Dentro destes departamentos, 66 equipamentos possuem medição de energia individual, e estes representam 62,2 % do consumo da unidade A, estes equipamentos e seu consumo médio mensal em 2019 estão apresentados na figura 27:

MEDIÇÕES EXCLUSIVAS DE GRANDEZAS ELÉTRICAS EM EQUIPAMENTOS (kWh)			
DEPARTAMENTOS/EQUIPAMENTOS	% DEPT.	% P.F. 2019	MÉDIA 19
P.F. I e II - Unidade A			*12.755.384*
FORNO 1E	66,2%	4,6%	582.955
TOTAL DEPTO E	**66,2%**	**6,9%**	**880.456**
FORNO 1A	8,7%	2,5%	312.840
FORNO 2A	6,7%	1,9%	242.957
FORNO 3A	10,4%	2,9%	375.366
FORNO 4A	24,9%	7,1%	899.937
FORNO 5A	25,6%	7,3%	925.091
EXAUSTÃO	4,0%	1,1%	145.992
TOTAL DEPTO A	**80,3%**	**28,3%**	**3.612.878**
FORNO 1F	4,3%	0,3%	36.686
FORNO 2F	5,7%	0,4%	48.610
FORNO 3F	20,6%	1,4%	175.669
FORNO 4F	25,1%	1,7%	213.233
EXAUSTÃO	2,3%	0,2%	19.500
INJETORA 1	1,0%	0,1%	8.561
FORNO 5F	1,5%	0,1%	13.050
INJETORA 2	1,1%	0,1%	9.617
CT - 51	1,5%	0,1%	12.491
CT - 52	1,6%	0,1%	13.727
CT - 55	2,1%	0,1%	17.501
TOTAL DEPTO F	**66,8%**	**6,7%**	**851.024**
FORNO TRATAMENTO 1C	6,1%	0,6%	81.537
FORNO TRATAMENTO 2C	9,5%	1,0%	126.719
FORNO TRATAMENTO 3C	10,4%	1,1%	139.886
FORNO TRATAMENTO 4C	16,1%	1,7%	215.158
FORNO TRATAMENTO 5C	18,9%	2,0%	253.841
CENTRAL DE GÁS	13,2%	1,4%	176.630
TOTAL DEPTO C	**74,2%**	**10,5%**	**1.340.190**
TREFILA 1B	1,6%	0,2%	26.446
TREFILA 2B	8,1%	1,1%	134.473
ESMALTADEIRA	3,2%	0,4%	53.557
TOTAL DEPTO B	**13,0%**	**13,0%**	**1.652.998**
CENTRAL REFRIGERAÇÃO 1H	10,9%	0,4%	45.356
CENTRAL REFRIGERAÇÃO 2H	15,1%	0,5%	62.663
TOTAL DEPTO H	**26,1%**	**3,2%**	**414.349**
TRATAMENTO POR INDUÇÃO	2,1%	0,1%	9.209
CENTRAL REFRIGERAÇÃO 1G	3,5%	0,1%	14.984
TOTAL DEPTO G	**5,6%**	**3,4%**	**430.720**

MEDIÇÕES EXCLUSIVAS DE GRANDEZAS ELÉTRICAS EM EQUIPAMENTOS (kWh)			
DEPARTAMENTOS/EQUIPAMENTOS	% DEPT.	% P.F. 2019	MÉDIA 19
P.F. I e II - Unidade A			
ESTUFA DE PINTURA	13,8%	0,3%	35.799
ESTUFA 1M	10,3%	0,2%	26.611
ESTUFA 2M	2,4%	0,0%	6.087
ESTUFA 3M	3,6%	0,1%	9.284
MÁQUINA DE LAVAR	18,3%	0,4%	47.403
TOTAL DEPTO M	**48,4%**	**2,0%**	**258.500**
ESTUFA 1I	4,6%	0,1%	17.095
ESTUFA DE PINTURA 1I	2,6%	0,1%	9.728
ESTUFA DE PINTURA 2I	1,9%	0,1%	7.175
MÁQUINA DE LAVAR 1I	4,4%	0,1%	16.462
MÁQUINA DE LAVAR 2I	2,0%	0,1%	7.617
Estufa 2I	10,6%	0,3%	39.588
MAQUINA DE LAVAR 3I	20,0%	0,6%	74.723
TOTAL DEPTO I	**46,1%**	**2,9%**	**374.048**
ESTUFA DE PINTURA	4,4%	0,1%	13.913
ESTUFA 1K	4,8%	0,1%	15.141
ESTUFA 2K	6,0%	0,1%	18.704
ESTUFA 3K	0,5%	0,0%	1.586
ESTUFA 4K	11,2%	0,3%	35.054
TOTAL DEPTO K	**73,1%**	**2,5%**	**312.664**
ESTUFA 1L	4,5%	0,1%	12.710
ESTUFA 2L	7,6%	0,2%	21.340
ESTUFA 3L	5,5%	0,1%	15.340
ESTUFA 4L	5,3%	0,1%	14.791
MÁQUINA DE LAVAR	19,3%	0,4%	54.019
TOTAL DEPTO L	**42,1%**	**2,2%**	**280.510**
ESTUFA 1J	7,7%	0,2%	26.751
ESTUFA 2J	1,5%	0,0%	5.076
ESTUFA 3J	7,1%	0,2%	24.850
VPI 1J	1,9%	0,1%	6.663
VPI 2J	7,0%	0,2%	24.287
TOTAL DEPTO J	**25,1%**	**2,7%**	**349.274**
MÁQUINA DE LAVAR	33,2%	0,2%	22.277
TOTAL DEPTO CK	**33,2%**	**0,5%**	**67.108**
COMPRESSORES 1	16,0%	1,2%	158.736
COMPRESSORES 2	67,9%	5,3%	674.970
COMPRESSORES 3	16,2%	1,3%	160.584
TOTAL COMRESSORES	**100,0%**	**7,8%**	**994.290**
66 - MAQUINAS/PF I e II		*62,7%*	*7.992.896*

Figura 27 – Equipamentos com medição individual – Unidade A
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

A escolha, do ponto de vista da metodologia, deveria recair sobre o departamento A, pois corresponde a 30% do consumo da unidade A, e dentro deste departamento o maior consumidor é o forno 5A que corresponde a 25% do consumo desta área e 7,3% da unidade A.

Porém, a escolha da área e equipamento modelo para aplicar a metodologia do pilar de Energia, se baseou na implantação, em andamento desde 2018, do pilar de Meio Ambiente. O pilar de Meio Ambiente está sendo desenvolvido e aplicado no Departamento L, responsável pela montagem final dos produtos. Devido a isto, a empresa definiu que o equipamento modelo fosse selecionado dentro do Departamento L, mesmo não sendo este muito representativo em termos de consumo de energia.

Após ter sido definido o departamento onde a metodologia seria aplicada, a estufa 1L, foi escolhida como máquina modelo. Esta máquina corresponde 4,5% do consumo deste departamento, e 0,1% do consumo total da unidade A. Outro ponto importante, é a possibilidade de expansão em equipamentos similares, pois existem mais 10 máquinas similares somente nestes parques fabris.

4.3. PASSO 2 – MAPEAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL

A metodologia prevê o mapeamento em três etapas, e propõe alguns itens básicos a serem mapeados e levantados, porém, não é necessário se restringir aos mesmos, pois as entrevistas e observações de campo, certamente trazem muito mais informações e detalhes próprios do local e do processo em questão. Segue abaixo resultado do mapeamento:

a) Caracterização da Área:

- O trabalho será realizado no Departamento L – Seção Montagem L.A.
- Custo médio de energia: R$ 0,27/kWh
- Identificação do staff da área:

Chefia: 02 chefes, sendo um por turno;

Preparadores: 4 preparadores, sendo 2 por turno;

Técnico de área: 01 no Horário Normal

Facilitador: 01 em Horário normal

- Nº de operadores: 04, sendo 02 por turno.
- Regime de trabalho: equipamento opera normalmente em dois turnos, sendo:

1ª turno: 5:00 as 14:18h com intervalo para refeição das 9:45 as 10:15h.

2º turno: 14:18 as 23:24h com intervalo para refeição das 19:05 as 19:35h.

- Capacidade e taxa de ocupação: Capacidade: 400 un./dia. Produção média 2019: 242 un./dia. Taxa ocupação média de 60,5%.
- Identificado que os operadores desligam o equipamento durante o horário de refeição, na troca de turno e quando participam de reuniões. Porém, também identificamos que os horários não são devidamente respeitados, pois em muitos casos a parada para refeição que deveria ser 30 min, pode levar até 1h, o mesmo acontecendo na troca de turno.
- Ainda com relação a cultura, a mesma preocupação não existe para desligar a iluminação e ventiladores por exemplo. Não existe uma preocupação efetiva, nem dos operadores nem da gestão, em fazer o equipamento produzir o máximo com o menor consumo possível, isso se observa na forma como os operadores carregam a estufa, nem sempre usando sua capacidade nominal. Observadas oportunidades de ganho com redução de perdas, em função da subutilização do equipamento, o que implica em termos um consumo por peça produzida acima do que seria o ideal.
- A iluminação do ambiente é LED, foi substituída em. 2019, o que resultou em uma economia ano de 380.790 KWh (redução de 67%) e em Agosto deste ano, ela passou a ser dimerizada, reduzindo em média mais 41% o consumo, já que o prédio possui telhas translucidas que permitem o aproveitamento da luz solar.
- Perdas com vazamentos de ar, água, fluído de corte, óleo hidráulico; o equipamento não faz uso de água, fluído de corte ou óleo hidráulico, possui um pequeno consumo de ar comprimido, não identificado nenhum vazamento.

b) Características do equipamento:

- Modelo e fabricante equipamento: Estufa continua – Maqpol. Na figura28, podemos ver algumas fotos do equipamento:

Figura 28 – Fotos equipamento
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

- Finalidade: Impregnar as peças com verniz isolante e curar (aquecer até passar do estado líquido para sólido).
- Entradas de energia:
- Ar comprimido, ligado à rede do prédio, com tubo metálico de 1/2’;
- Energia elétrica: Vem do transformador TR2.156, circuito 1Q1, cabos 70mm²FN / 50mm²T
- Potência nominal: 150kW
- Projeto mecânico, elétrico: existem e estão de acordo com o equipamento, e aparentemente sem nenhuma alteração. O conceito deste equipamento e do processo, tem 13 anos de implantação e novas tecnologias nunca foram implantadas
- Identificar os componentes responsáveis pelo consumo de energia, conforme figura 29:

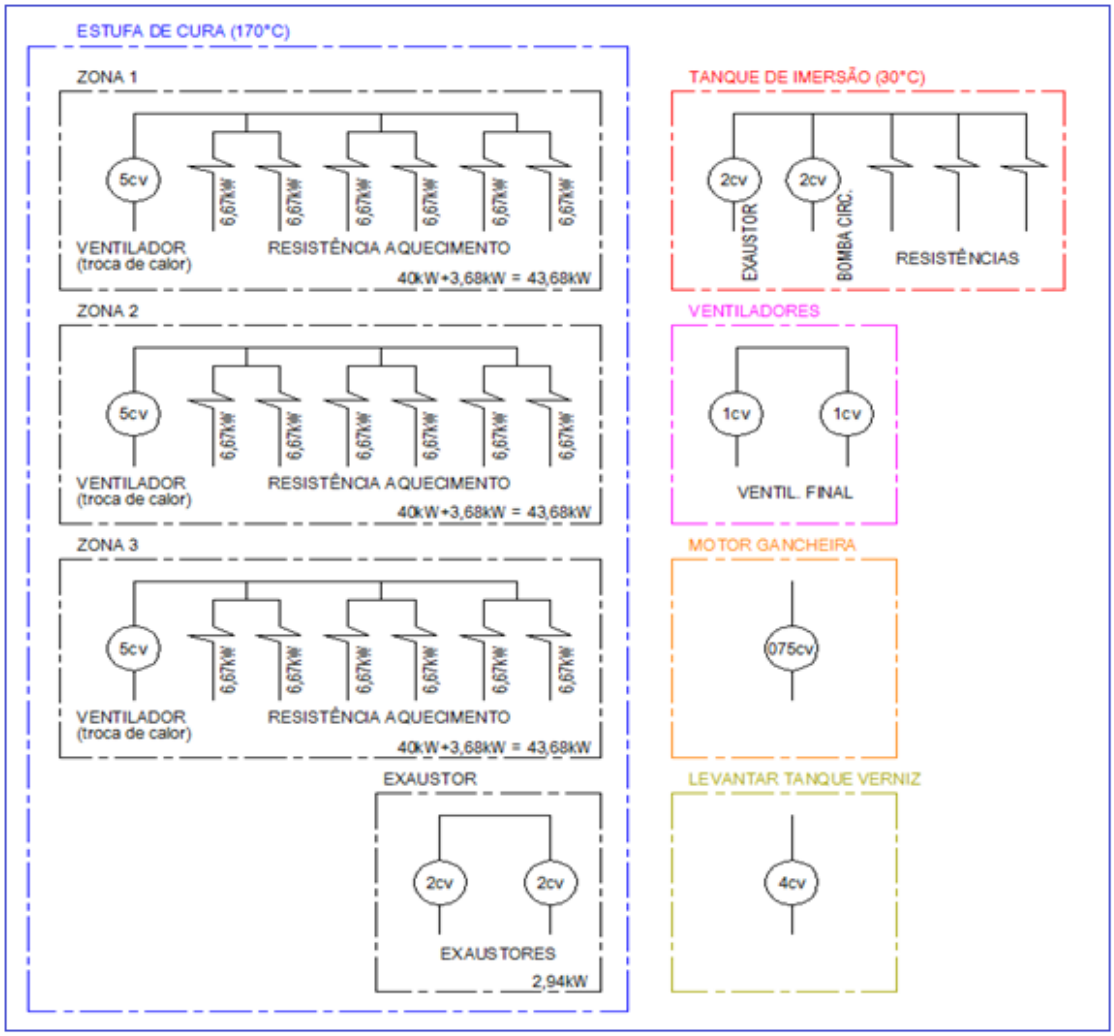

Figura 29 – Diagrama elétrico simplificado Estufa 1L
Fonte: Adaptado pelo autor (2020).

- O que pode influenciar ou variar o consumo de energia: Quantidade e tamanho das peças colocadas por suporte, temperatura externa. Quanto menor a temperatura ambiente, maior será o consumo da máquina para manter as temperaturas necessárias no processo (ambiente e peças com menor temperatura, retiram mais calor da máquina).
- Identificar fontes de perda: isolamento térmico, tempo de ciclo, ajuste de temperatura;
- Possíveis controles que contribuem para a redução perdas de energia, se estão funcionando adequadamente: Controlador de temperatura, com calibração conforme selo da metrologia:
  - **Z1 – 21972 -** Data da Calibração: 16.06.2019
  - **Z2 – 21971 -** Data da Calibração: 16.06.2019
  - **Z3 – 21973 -** Data da Calibração: 16.06.2019
  - **Tanque – 60972 -** Data da Calibração: 23.10.2019
- Os sensores de temperatura fixos na estufa, responsáveis pelo sinal aos controladores de temperatura, não estão distribuídos de maneira uniforme nas zonas da estufa, podendo apresentar valores diferentes
- Características do ambiente onde está instalado equipamento (pó, frio, calor): Encontra-se submetido a temperatura e pó do ambiente e é possível identificar, principalmente na parte superior da máquina, resquícios da evaporação do verniz.
- Organização e limpeza do equipamento: Está de acordo, equipamento tem programação de limpeza semanal. Ainda não existem atividades estruturadas dos pilares técnicos AM e PM neste equipamento.
- Evidencia de manutenção preventiva e/ou preditiva, qual periodicidade, avaliar se os componentes críticos do ponto de vista de consumo energético, são avaliados na manutenção preventiva:
  - Possui atividades de manutenção preventiva semestral, conforme Plano de Manutenção Preventiva – PMP.
  - Última preventiva realizada entre nos dias 08 e 09/03/2020.
  - Em manutenção corretiva (13/02/17 a 14/02/20), tivemos 44 horas de parada e um custo total de R$15 mil;

c) Processo:

- Avaliar descrição do processo, normas operacionais, parâmetros do processo:
- As peças são depositadas em suportes, que são mergulhadas em um tanque com verniz. Após o banho com verniz (12mim. / 30°C), os mesmos suportes passam por um túnel com temperatura aproximada de 170ºC e tempo 1:45h (estufa de cura). Depois os suportes carregados passam por resfriadores e descem sendo depositadas em bancadas móveis, essas bancadas deslocam as peças para próximo das prensas. Após isto, as bancadas deslocam novamente os suportes para a estufa e o ciclo começa novamente.
- Quantidade de peças colocados por suporte: 06 peças. Há casos que não é possível usar 100% dos suportes (peças com características especiais). A figura 30 apresenta um desenho esquemático da estufa:

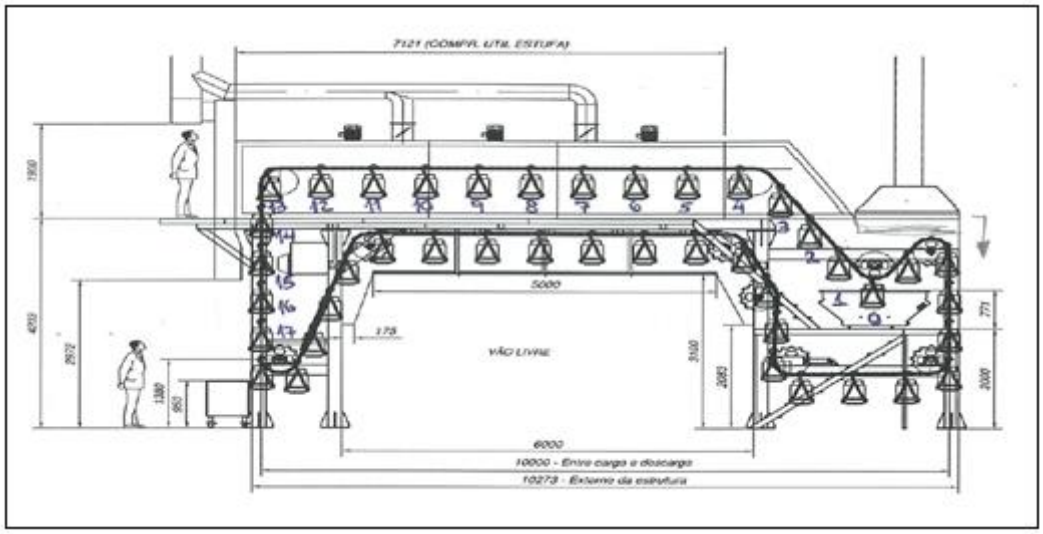

Figura 30 – projeto básico estufa
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

- O verniz é utilizado em conjunto com solvente, fabricado por uma unidade da própria empresa. A especificação destes compostos está descrita na norma interna nº 8295.
- Este verniz, para esta aplicação, tem como especificação de cura de 20 minutos a 150ºC.
- O equipamento se encontra ajustado nas temperaturas conforme previsto na norma.
- Operadores treinados nas normas especificas, seguem o ajuste das temperaturas, porém o tempo de ciclo de 12 minutos, nem sempre é seguido.
- O equipamento tem funcionamento continuo.

- O equipamento não tem necessidade de ser ligado antes do início do turno.
- Normalmente não temos setups, pois produz apenas um tipo de peça.
- Os operadores tem por habito desliga-lo quando não está operando (final de semana, refeições, reuniões, ginástica laboral).
- Não existe evidencia de ter sido feito algum trabalho de eficiência energética.

d) Observações:

- Bomba de circulação de verniz fica ligada 100% do tempo.
- Ventiladores de resfriamento na saída da estufa ficam ligados direto.
- Existe um recirculador de ar, para cada zona de resistências, que tem a função de homogeneizar a temperatura dentro do espaço.
- O sistema de acionamento das resistências das estufas é tiristorizado, por trem de pulso.
- Em conversa com os operadores identificamos que a estufa é acionada 1 hora antes do início do primeiro turno.

4.4. PASSO 3 – MEDIÇÃO

O objetivo deste passo é, a partir do mapeamento da situação atual, conhecendo em detalhes o local, equipamento e o processo, definir e realizar medições de forma a ter informações, que possam definir e quantificar as perdas, que vão servir de subsídios para elaborar medidas de redução ou eliminação das mesmas.

Nesta etapa, serão apresentados os pontos a serem medidos, a forma que as medições serão realizadas e seus resultados. Os valores serão abordados no passo 4, junto com as análises de cada medição. Abaixo temos uma breve descrição de cada medição e seus resultados:

- O equipamento possui medidor de consumo de energia, conectado ao sistema de gerenciamento de energia da empresa, mantendo registros para análises. Também possui sistema de controle e monitoramento de temperatura do processo, porém não geram nenhum tipo de registro, que possibilite análises futuras;

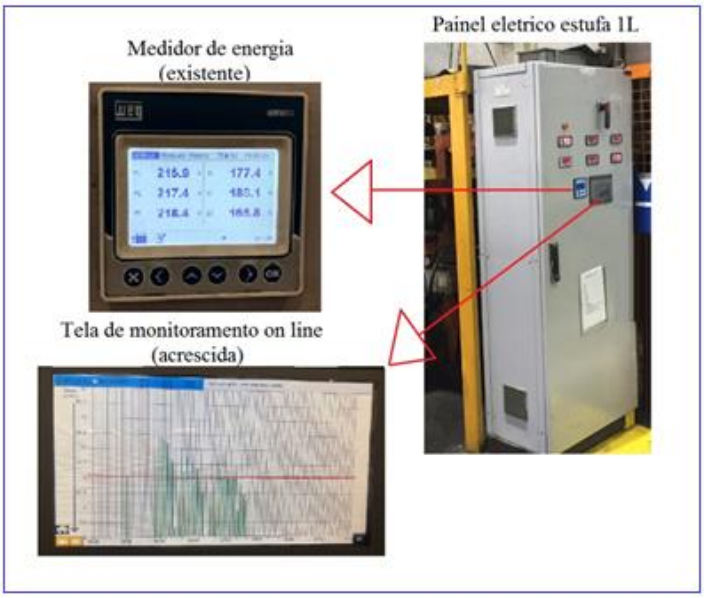

Figura 31 – Medidores de energia estufa 1L
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

- Os operadores fazem registro manual da quantidade de suportes e quantas peças são colocadas em cada um, e as informações da quantidade de peças totais, processadas por turno, são registradas em uma planilha, porém não existe uma informação da especificação completa.
- Com as duas informações acima, foi possível definir um indicador de kWh/peças produzidas, que em 2019 teve um valor médio de **3,92kWh/peça** produzida.
- Curva de consumo diário do equipamento, com intervalos de 15min., utilizando as informações contidas no sistema de gerenciamento de energia da empresa, conforme figura 32:

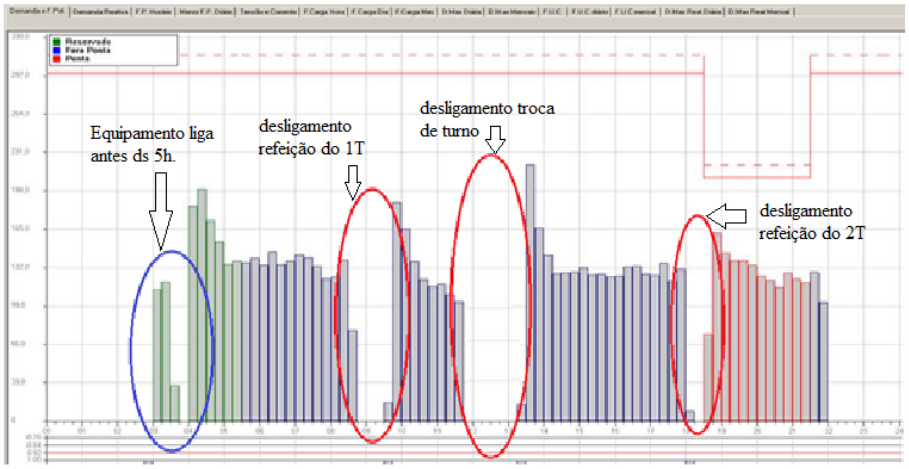

Figura 32 – Curva Consumo Estufa 1L
Fonte: Adaptado pelo autor (2020).

- Medição individual do consumo de cada componente, com ênfase aos bancos de resistências, por serem os maiores responsáveis pelo consumo das estufas. Para isso será utilizado o analisador de energia portátil Fluke. Abaixo segue o resumo das medições efetuadas:
  - → Medição da Estufa Zona 1: 45,4kW
  - → Medição da Estufa Zona 2: 29,3kW
  - → Medição da Estufa Zona 3: 45,4kW
  - → Total resistências aquecimento:120,1kW (nominal: 136,2kW)
  - → Exaustor, Bomba Circulação e Resistência Tanque: 3,1kW
  - → Motor suporte: 0,55kW
  - → Motor Tanque Verniz: 2,94kW
  - → Exaustores: 2,94kW
  - → Ventiladores Final:1,42kW
  - → Total periféricos: 10,95kW
  - → Medição da Estufa Geral: 131,5 kW – (Demanda ~ 53,55kW)
- Realizar uma medição termográfica da carcaça da estufa e também dos pontos de entrada e saída de peças. Nas figuras 33 temos um resumo das medições efetuadas, tanto na carcaça do equipamento, quanto na abertura de entrada e saída das peças:

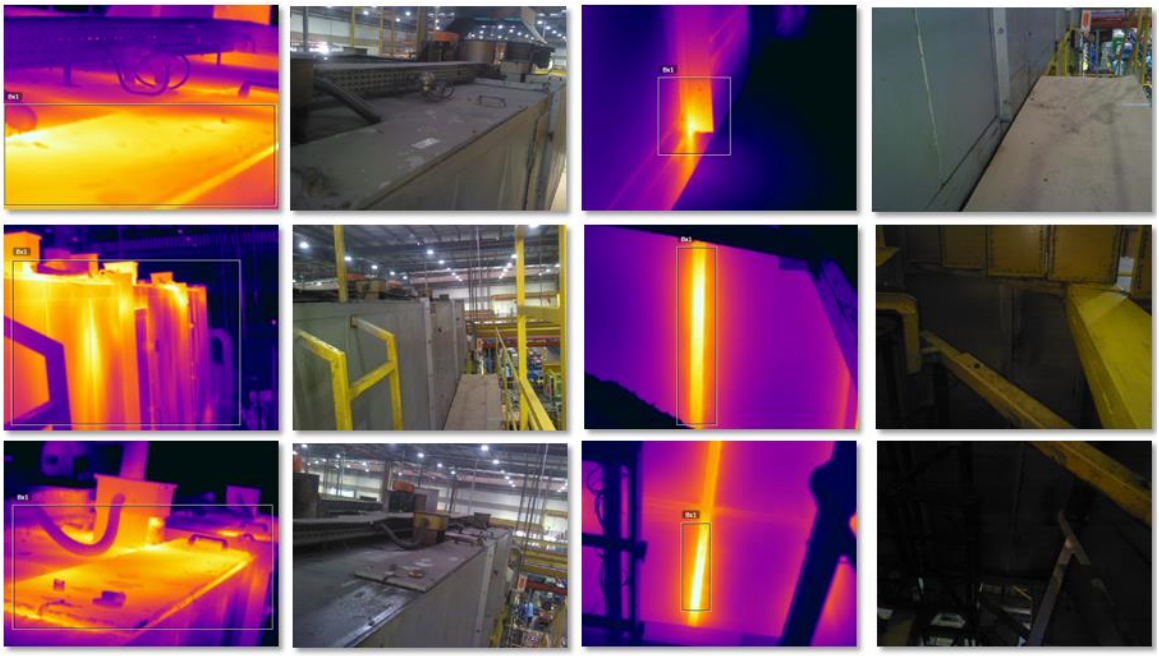

Figura 33 – Análise Termográfica Estrutura Estufa 1L
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

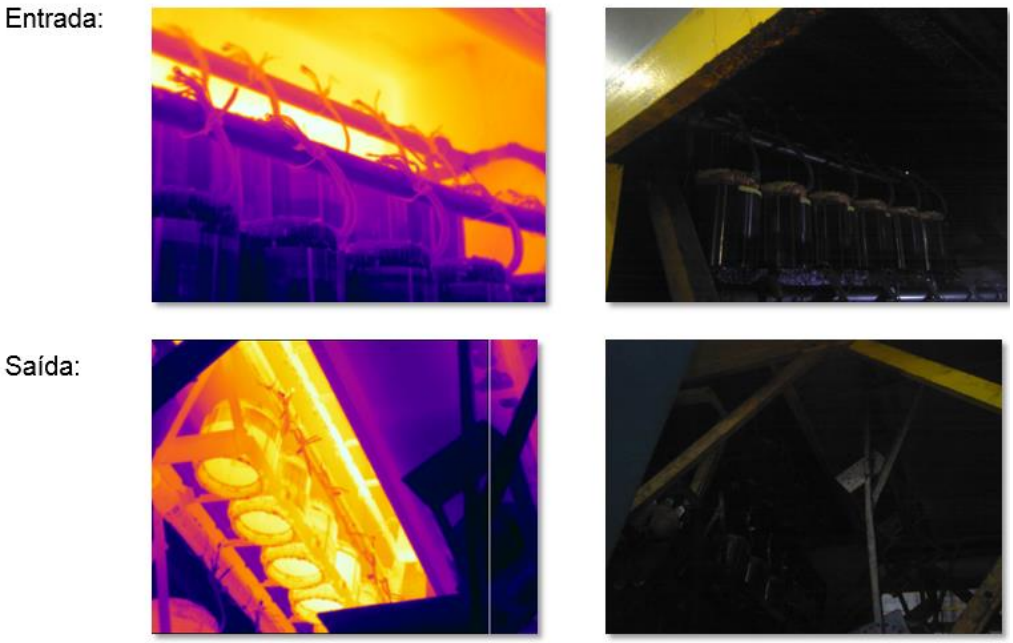

Figura 34 – Análise termográfica entrada e saída Estufa 1L
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

- Medir os parâmetros de processo, durante todo o ciclo, diretamente em 3 peças processadas, colocando termopares no interior das peças. Desta forma poderemos conferir os principais parâmetros do processo, pois a peça deve ficar 20 min. a 150ºC na parte interna, para termos a cura adequada do verniz. Além disso, nesta medição serão acompanhados e anotados todos os tempos de ciclo, as paradas e seus motivos.

Para realizar esta medição, instalamos 3 sensores de temperatura no interior de 3 peças, no mesmo suporte em posições diferentes (esquerda, centro e direita) e a ligamos em um registrador de dados Novus, modelo: fieldlogger. Estes termopares vão seguir com as peças por dentro de toda estufa, registrando a temperatura em cada parte do percurso, dentro da estufa a medida que as peças se movimentam. Também instalamos o analisador de energia elétrica para monitorar o consumo total da estufa simultaneamente aos registros de temperatura.

Dados da medição:

- Data: 26/02/2020;
- Hora: 10:24 às 17:12h;
- Sensores fixos nas peças no suporte 11;

Posição do sensor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Localização do estator	INÍCIO	DESLOCAMENTO ATÉ O TANQUE						TANQUE	DESLOCAMENTO ATÉ A ESTUFA			
Hora	10:24	10:31	10:45	10:59	11:13	11:27	11:41	11:55	12:09	12:23	12:37	12:54
Tempo do ciclo (calculado)		00:07	00:14	00:14	00:14	00:14	00:14	00:14	00:14	00:14	00:14	00:17
Temperatura Estator 1 (relatório CH1)	23,2	23,3	23,7	24	24,2	24,6	24,9	25,4	28,4	28,2	28,6	32,6
Temperatura Estator 2 (relatório CH2)	22,9	23,1	23,4	23,7	23,9	24,3	24,6	25,1	28	27,8	28,3	34,4
Temperatura Estator 3 (relatório CH4)	23,4	23,5	23,8	24,1	24,2	24,6	25	25,4	28,6	28,1	28,8	36,3
Temperatura Zona 1 (painel)	69,2|76|68,1	91,5|109|102	142|158|151	149|159|150	147|157|146	149|159|148	148|159|148	149|161|149	147|155|148	151|161|150	150|159|148	151|159|148
Temperatura set point Zona 1 (painel)	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Temperatura Zona 2 (painel)	68,9|68|69,2	97,7|90|93,4	144|133|136	155|153|155	159|164|166	161|167|165	162|168|169	162|169|170	162|169|170	162|169|170	162|169|171	160|167|166
Temperatura set point Zona 2 (painel)	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Temperatura Zona 3 (painel)	69,3|68|68,4	97,7|97|88	139|139|130	158|158|151	170|170|162	168|168|164	167|167|165	166|166|165	167|167|166	168|168|166	168|168|166	168|168|165
Temperatura set point Zona 3 (painel)	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Temperatura Verniz (°C)	30	30	30	30	31	30	30	32	32	32	32	33
Temperatura Fábrica (°C)	26,7	27	27	27,5	27,8	27,8	28,1	28,3	28,3	28,6	28,6	28,9
Umidade do ar (%)	65	65	66	65	65	62	63	64	66	64	64	59
Distância entre Gancheiras (cm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

Gancheira	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Quantidade de Estator (pç)	6	2	4	3	4	4	6	6	4	4	4	4
Massa total por gancheira (Kg)	272,4	77,66	222,2	174,93	233,24	233,24	349,86	349,86	233,24	233,24	233,24	233,24
Tamanho do pacote (mm)	200	170	250	260	260	260	260	260	260	260	260	260

Quadro 1 - Medições do processo
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Posição do sensor	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Localização do estator	ESTUFA Z1, Z2 e Z3							REFRIGERAÇÃO NATURAL		REFRIGERAÇÃO FORÇADA			PRENSA
Hora	13:08	13:26	14:34	14:49	15:13	15:30	15:45	16:00	16:15	16:29	16:45	16:59	17:12
Tempo do ciclo (calculado)	00:14	00:18	01:08	00:15	00:24	00:17	00:15	00:15	00:15	00:14	00:16	00:14	00:13
Temperatura Estator 1 (relatório CH1)	49,3	80,5	111,3	128,3	162,9	166,1	168,4	161,5	141,6	124	79,4	33,5	30,7
Temperatura Estator 2 (relatório CH2)	56,2	88,6	112,2	136,5	166,8	168,3	168,9	163,3	117,5	102,5	36,6	36,9	34,9
Temperatura Estator 3 (relatório CH4)	55,4	87,1	111	129	149,3	156,4	157,8	151,1	137,6	54	36,1	33,1	30,2
Temperatura Zona 1 (painel)	154|162|151	152|160|150	131|143|135	154|164|154	155|164|153	156|161|152	155|164|153	152|158|148	153|162|152	150|159|149	153|163|153	155|165|154	153|162|151
Temperatura set point Zona 1 (painel)	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160
Temperatura Zona 2 (painel)	163|168|169	163|171|172	136|135|136	166|167|169	166|169|170	167|170|171	165|169|170	163|169|170	164|169|171	160|168|168	164|170|171	166|170|172	164|168|169
Temperatura set point Zona 2 (painel)	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Temperatura Zona 3 (painel)	166|166|165	173|173|168	139|139|134	167|167|163	167|168|166	172|172|167	169|169|166	170|170|166	170|170|166	169|169|164	172|172|167	169|169|166	167|167|164
Temperatura set point Zona 3 (painel)	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Temperatura Verniz (°C)	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Temperatura Fábrica (°C)	28,9	28,3	29,4	29,4	29,1	29,1	29,7	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4	29,1
Umidade do ar (%)	64	63	60	59	61	59	59	61	62	61	60	60	60
Distância entre Gancheiras (cm)	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75

Gancheira	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Quantidade de Estator (pç)	3	4	6	6	6	6	6	6	5	6	6	6	
Massa total por gancheira (Kg)	174,93	200,08	300,12	300,12	349,86	349,86	333,3	333,3	277,75	333,3	300,12	300,12	
Tamanho do pacote (mm)	260	220	220	220	260	260	250	250	250	250	220	220	

Quadro 2 - Medições do processo
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

4.5. PASSO 4: ANÁLISE E PLANO DE AÇÃO

Incialmente serão apresentados os resultados das medições efetuadas, conforme planejado e executado no passo 3. As analises destas medições permitem definir as perdas. A partir da determinação das perdas e após isso definir as ações, elaborando o plano de ação.

- **Avaliação das medições de consumo diário:**

Conforme informado pelos operadores a estufa liga automaticamente 1h antes do início do turno, isto foi confirmador na medição efetuada no passo 3 conforme apresentado na figura

32. Visando certificar que o evento não é um fato isolado, efetuamos uma avaliação deste por mais dias, e desta forma, se confirmou a informação, conforme podemos ver na figura abaixo:

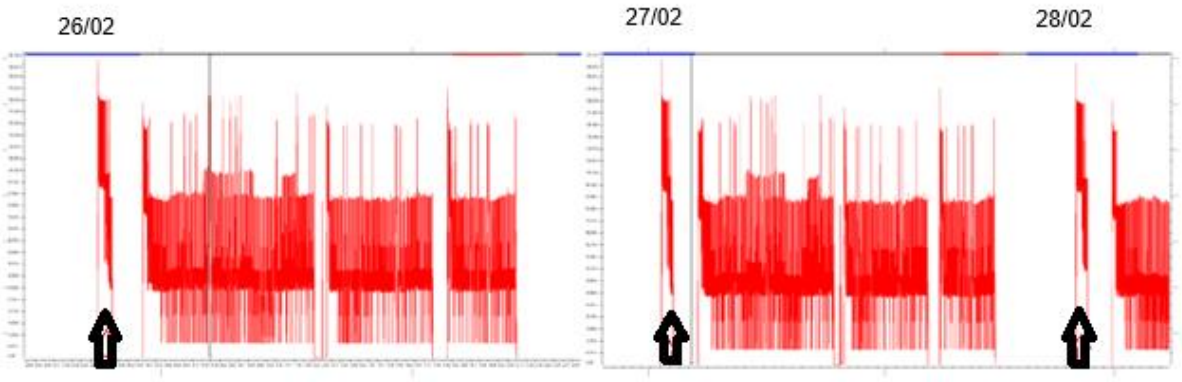

Figura 35 – Consumo Diário Estufa 1L
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Através da figura 35, identificamos que a Estufa liga todos os dias das 3:00 às 3:45 horas, sendo que o horário de início do turno é 5:00 horas. Avaliamos as outras 3 Estufas do departamento e estas não têm esta característica. Foram realizadas avaliações de temperatura, inibindo esta partida antecipada e não observamos diferença na temperatura no início do turno, desta forma classificamos este consumo como perda.

Perda Tipo 1: devido ao consumo desnecessário em ambiente de produção.

Consumo anual: 0,75h/dia * 250 dias uteis/ano * 53,55kW = 10.040,6 kWh/ano
Custo anual da perda: R$0,27/kWh * 10.040,6 kWh = **R$2.711,00**

- **Avaliação do consumo por componente / parte da estufa:**

Através das medições de consumo efetuadas em cada componente, observamos uma discrepância no valor da potência consumida nas 3 zonas, compostas cada uma por seu próprio banco de resistências. O banco de resistências da Zona 2 está com a potência 35% abaixo da nominal.

Perda Tipo 3: devido à não otimização dos equipamentos (Z2≠ Z1 e Z3).
Não quantificada.

- **Análise termográfica:**

As Medições termográficas realizadas na estrutura da estufa, apresentaram uma variação de 41,3 a 113,6°C, demonstrando que existem alguns pontos onde o isolamento térmico tem deficiência.

Também foram realizadas medição termográficas na entrada e saída do equipamento, onde tivemos os seguintes resultados: Entrada 130,1 e Saída 154,8°C, como já era esperado, como as entradas e saídas são abertas, sem portas de fechamento.

Observa-se que a Estufa tem pontos de fuga de calor pontuais na sua estrutura e que na entrada e saída a perda térmica é acentuada.

Perda Tipo 3: devido a não otimização do equipamento.

Não quantificada.

- **Medição da temperatura na peça (início do processo até a prensa):**

O objetivo desta medição é avaliar se os parâmetros de processo são atendidos, o parâmetro principal do processo é a cura do verniz, que para acontecer, precisa que a peça fique com 150ºC no seu ponto interior por 20 minutos.

Para facilitar o entendimento da análise, temos na figura abaixo, temos um diagrama de blocos da estufa, na parte interna responsável pela cura do verniz, esta parte é dividida em 3 zonas, que não possuem, separação física, mas cada uma possui seus próprios bancos de resistências, controle de temperatura e recirculadores:

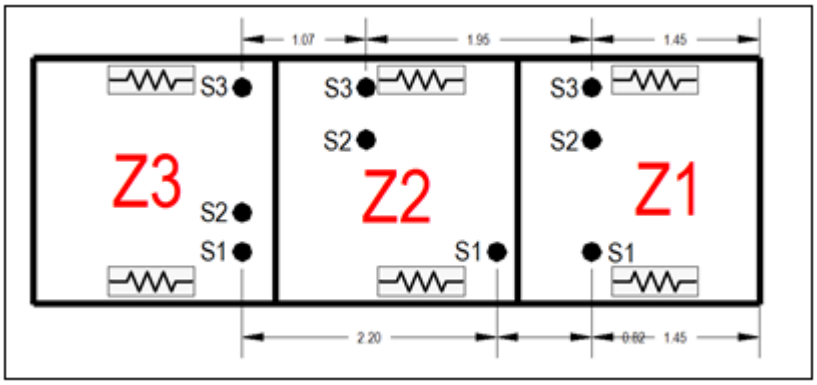

Figura 36 – Divisão das zonas da Estufa 1L
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

A partir das medições detalhadas, conforme tabela acima, foi gerado o gráfico 4:

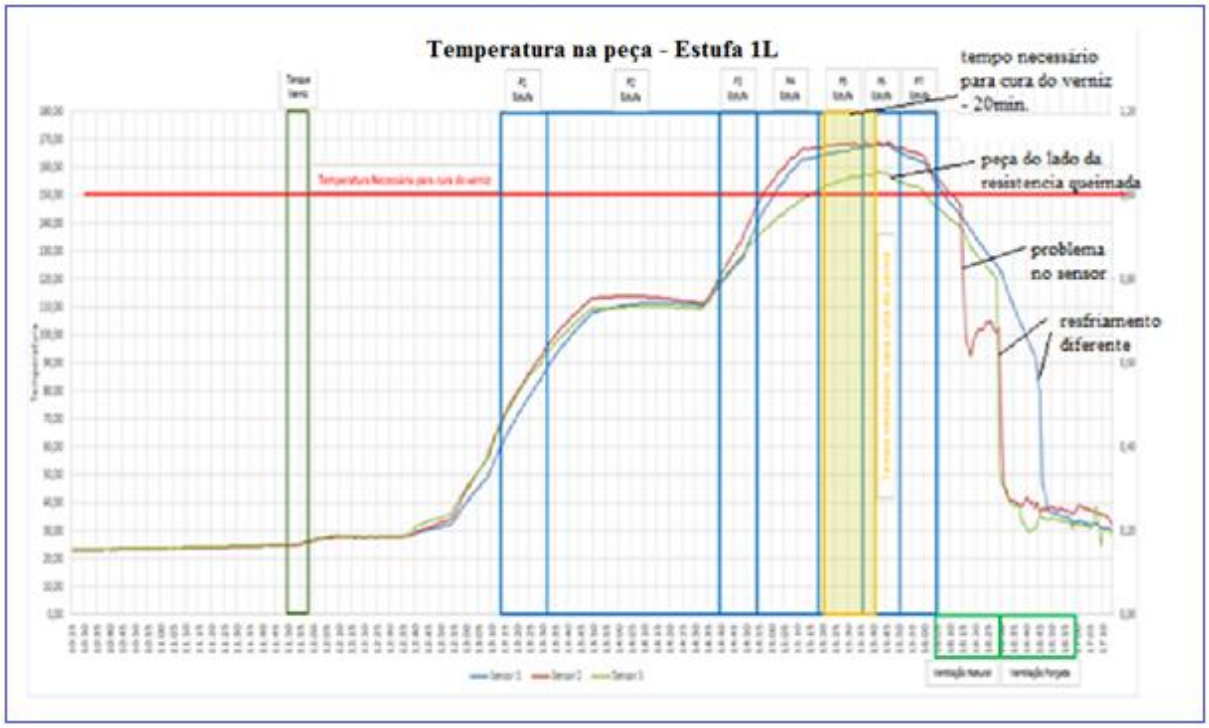

Gráfico 4 – Variação da temperatura ao longo do processo
Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

A partir do gráfico 4, podemos extrair as seguintes conclusões:

- Do P1 ao P7 as peças estão dentro da estufa;
- Mesmo antes de entrar no estufa (chegar P1), a peça já ganha muita temperatura, o que mostra a fuga de calor através da abertura na entrada;
- Durante o P2 a estufa foi desligada para a refeição dos operadores;
- Durante P4 e P7, as peças com o termopar central e da esquerda ficaram acima de 150ºC (temperatura de cura), exceto o canal da direita, onde temos uma resistência queimada em um dos bancos;
- Observa-se que as peças ficam muito mais de 20 min., na temperatura de cura, além do que, chegam a temperatura acima dos 150ºC chegando aos 170ºC.
- A peça chega a uma temperatura aceitável (40ºC), já no primeiro estágio de ventilação, sendo desnecessário o segundo estágio.

Avaliando o gráfico, e as conclusões acima, podemos relacionar as seguintes perdas:

- Segundo ventilador, responsável pelo resfriamento da peça na saída da estufa, não é necessário:

Perda Tipo 1: devido ao consumo desnecessário em ambiente de produção.

Consumo anual: 18 h/dia * 250 dias uteis/ano * 0,736 kWh = 3.312 kWh/ano
Custo anual da perda: R$0,27/kWh * 3.312 kWh = **R$894,24**

- Na posição 17 (aproximadamente às 15:20h, os sensores que estão nas peças atingem a temperatura de 150°C. Às 15:40h completam os 20 minutos (tempo de cura do verniz). As peças permanecem na estufa por mais 25 minutos até sair da mesma. Este tempo adicional da peça dentro da estufa, é uma perda.

Perda Tipo 2: devido ao consumo excessivo durante a produção normal.

Consumo anual: 0,417 *18 h/dia * 250 dias uteis/ano * 53,55 kWh = 100.486,6 kWh/ano
Custo anual da perda: R$0,27/kWh * 100.486,6 kWh = **R$27.131,40/ano**

A tabela 5, apresenta um resumo, das perdas identificadas ao final deste passo:

Tabela 1 – Resumo informações passo 4

O que?	Consumo/perda Anual (kWh)	Valor consumo/perda anual (R$)	Percentual (%)
Consumo total estufa 1L	321.012	R$ 86.673,24	100%
Estufa liga antes do início do 1ºT	10.040,60	R$ 2.711,00	3%
Desligar segundo ventilador	3.312	R$ 894,24	1%
Tempo de cura acima do necessário	100.486,60	R$27.131,40/ano	31%
Total perdas	**113.839,20**	**3.605,24**	**35%**

Fonte: Adaptado pelo autor, (2020).

Com base em todo levantamento feito até o momento a respeito deste equipamento e do processo em questão, foi elaborado em conjunto com as áreas de manutenção, industrial e produção, um plano de ação inicial, visando eliminar as perdas identificadas, bem como mapear situações que não foram previstas até o momento. No quadro 3, temos o plano de ação, com as

principais atividades definidas pelo grupo de trabalho, os valores para correção ou investimento, bem como um cálculo do retorno de investimento previsto:

PLANO DE AÇÃO			**Equipamento:** Estufa 1L - Departamento L		**Data:**19/05/2020
Assunto / Problema: Perdas Mapeadas no equipamento – Grupo de Eficiência Energética. **Objetivo / Meta:** Eliminar ou Reduzir a eficiência energética dos equipamentos. **Causa (s) a eliminar / reduzir:** Não Conformidades encontradas na inspeção e medição no local.				**Coordenador:** Fabio **G.T.:** Gabriel, Valdir, Sidinei, Rogério, Deonicius e Luan.	
	O QUE	COMO	QUEM	PRAZO	SITUAÇÃO
1	Verificar se as estufas estão trabalhando atualmente na condição de projeto (dimensionamento elétrico e ajuste dos defletores internos).	Verificando o dimensionamento dos componentes elétricos / eletrônicos e a posição dos defletores. Informar última manutenção preventiva.	Deonicius (Manutenção)	Ultima Preventiva: 08/05/2020	**Concluído**
2	Garantir as condições de funcionamento das estufas conforme projeto.	Instalação de dispositivo para identificação sonora e/ou visual em caso de falha de algum componente (ex.: resistências).	Deonicius (Manutenção)	----	**Concluído.**
3	Estudar / Verificar a possibilidade de garantir as condições de funcionamento das estufas conforme projeto (remoto).	Implantar a cadeia de ajuda (celular).	Sidinei (Eng. Industrial)	31/10/2020	**Em andamento**
4	Controlar os ajustes de temperatura	Providenciar a instalação de um CLP, para atuar junto aos controladores de temperatura.	Deonicius (Manutenção)	29/05/2020	**Concluído**
5	Programar o desligamento das resistências da estufa quando a temperatura do ar alcançar 170°C (set-point), baixando para 150°C. Repetir esse ON/OFF sucessivamente (170---150---170°C).	Ajustando os controladores de temperatura e o CLP	Fabio (Utilidades)	09/07/2020	**Concluído**
6	Refazer as medições de tempo x temperatura no interior das peças.	Utilizando os termopares e o registrador de dados.	Rogério e Valdir (Eng. Industrial)	10/07/2020	**Concluído**
7	Fazer a instalação do medidor + IHM para visualizar o consumo da máquina.	Requisitando os equipamentos e instalando os mesmos no painel da estufa.	Fabio (Utilidades)	28/05/2020	**Concluído**
8	Elaborar procedimento para conferir o indicador do dia anterior, informando os desvios.	Verificando a produção (planilha) x consumo (CCK) das estufas.	Fabio (Utilidades) Luan (Fábrica)	10/07/2020	**Concluído**
9	Melhorar o fechamento da entrada da estufa através de obstáculos fixos (chapas). E2, E3 e E4, bem vedadas.	Avaliar instalação de barreiras fixas.	Luan (Fábrica)	12/06/2020	**Concluído**
10	Eliminar a partida da estufa antes do início do 1ªturno	Alterar programação do CLP do equipamento	Deonicius (Manutenção)	22/05/2020	**Concluído**
11	Desativar segundo ventilador de resfriamento das peças na saída da estufa	Mudar direcionador do ventilador 1, visando melhorar distribuição do ar e desligar eletricamente o ventilador no painel da estufa.	Deonicius (Manutenção)	17/06/2020	**Concluído**

Quadro 3 – Plano de Ação.
Fonte: Adaptado pelo autor (2020).

As atividades de 1 a 4, são atividades de manutenção, para restabelecer a condição básica do equipamento. Estas atividades, foram incluídas nos planos de manutenção, visando garantir o funcionamento dos sistemas.

Durante o andamento do trabalho, foi aprovado a instalação de um sistema de gerenciamento de chão de fábrica, visando acompanhar as informações da produção, tais como tempo de ciclo, quantidade de peças por suporte, paradas e os motivos destas. Este sistema, está em funcionamento e em fase de acompanhamento para gerar dados para análise.

As curvas de cura atuais, após a melhoria, foram enviadas ao fabricante, para que este avalie se os parâmetros atuais de tempo e temperatura estão adequados, pois temos conhecimento que em outra fábrica com produto similar, os valores são menores. Se confirmado, temos oportunidade de melhorar ainda mais a eficiência.

Após a implementação das primeiras melhorias, o indicador de eficiência, passou de 3,92kWh/peça para 3,79kWh/peça produzida.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O WCM é sem dúvida uma metodologia robusta para melhoria constante de todas as áreas da empresa, pois propõe a luta sistemática contra as perdas, e para tal, a *cost deployment* é a base de tudo, pois força os envolvidos a olhar detalhadamente para cada processo, identificar suas dificuldades e desperdícios, e após isso quantificar, de forma a se poder priorizar as ações futuras.

A metodologia apresentada, construída sobre as bases dos 7 passos do WCM, está voltada a trabalhar o uso das diversas formas de energia nas empresas, de forma a buscar sempre melhores resultados através de trabalhos focados em eficiência energética, nos equipamentos ou processos com maior consumo. As questões tratadas no pilar de meio ambiente e energia vão além de melhorar o resultado financeiro das empresas, pois tem impacto para todos, já que os recursos naturais são compartilhados por todos.

Além da metodologia proposta, com a aplicação dos 7 passos de energia no equipamento modelo, o desenvolvimento do trabalho deixou evidente a necessidade dos envolvidos conhecerem muito bem o processo e o equipamento, bem como conhecer a cultura dos envolvidos, tanto da gestão, quanto da operação da fábrica.

As melhorias apresentadas e implantadas foram de baixo custo, e com resultados rápidos, e durante o mapeamento observou-se alguns desvios operacionais em relação aos procedimentos descritos nas normas operacionais, bem como as especificações existentes nem sempre são as mais adequadas. Os processos estão alinhados com as questões de produtividade, qualidade, segurança e meio ambiente, mas nem sempre levam em conta os fatores de eficiência energética.

Por fim, a metodologia mostrou ser aplicável, e sua utilização na estufa 1L, apresentou até o momento uma redução de 4,4% no consumo por peça produzida, apesar do baixo nível de produção de 2020 estar 40% abaixo de 2019, o que dificulta manter a eficiência. A expectativa, em função das informações do sistema de gerenciamento de chão de fábrica, possamos atuar de forma a melhorar a utilização da estufa durante o processo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. F. de; MELHADO, S. B. **O método de melhorias PDCA.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA – ABESCO, **O que é eficiência energética?** Disponível em: <http://www.abesco.com.br/pt/o-que-e-eficiencia-energetica-ee>. Acesso em: 30 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **ABNT. NBR ISO 50001** – 2011 – Sistema de gestão de energia.

ASTEFANELLO, L. **O que é eficiência energética e quais seus benefícios**. Disponível em: <https://beenergy.com.br/eficiencia-energetica-beneficios>. Acesso em: 02 out. 2020.

BORGES, R.C.; OLIVEIRA, E.H. World Class Manufacturing (WCM): estudo de caso da implantação do pilar de controle da qualidade no processo de cromação de uma empresa do setor automotivo no sul de Minas Gerais. **Exacta** – EP, São Paulo, v.14, n.1, p.85-96, 2016.

CAMPOS, V. F. **TQC:** Controle da Qualidade Total (no Estilo Japonês). 2ª. ed. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1992. (Rio de Janeiro; Bloch Ed.).

CORTEZ, P. R. L, et.al. Análise das relações entre o processo de inovação na engenharia de produto e as ferramentas do WCM: estudo de caso em uma empresa do setor automobilístico**. XXX ENGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. São Paulo. 2010.

COUTINHO, T. **Aprenda quais são os 8 desperdícios do Lean Manufacturing**. Disponível em: < https://www.voitto.com.br/blog/artigo/8-desperdicios-lean>. Acesso em: 11 nov. 2020.

DANTAS, A. **Introdução ao WCM**. Apostila do curso de Especialização em Engenharia de Produção UTFPR, Curitiba. 2019.

DATHEIN, R. **Inovação e Revoluções Industriais:** uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. Publicações DECON Textos Didáticos 02/2003. DECON/UFRGS, Porto Alegre, Fevereiro 2003.

DUTRA, R. G. **Custos uma abordagem prática**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 394 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanço Energético Nacional 2019**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balancoenergetico-nacional-2019>. Acesso em: 30 out. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Eficiência Energética**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/eficiencia-energetica>. Acesso em: 30 nov. 2020.

FARIA, A. C, VIEIRA, V. S.; PERETTI, L. C. Redução de custos sob a ótima da manufatura enxuta em empresa de auto peças. **Revista Gestão Industrial Universidade Municipal de são Caetano do Sul - USCS**. São Paulo, Brasil. 2012.

FEDERAÇÃO DAS INDUSTRÍAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – FIRJAN. **Quanto custa a energia elétrica.** Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-economia/quanto-custa-a-energia-eletrica.htm>. Acesso em: 02 out. 2020.

FERNANDES, J. P. O. **Proposta de metodologia para gestão de produção, visando redução de consumo de energia elétrica em unidade fabril do setor de bens de consumo**. Guaratinguetá: Campus de Guaratinguetá, UNESP, 2015.

FERREIRA, G. A. **A espiral do método PDCA.** Disponível em <https://www.folhavitoria.com.br/economia/blogs/gestaoeresultados/2013/12/31/os-desafios-de-2014-comecam-dentro-de-casa-a-espiral-do-metodo-pdca>. Acesso em: 05 out. 2020.

FLORES, R.E (2016). **Proposta de metodologia para construção da ferramentea de análise de falhas no contexto do WCM**. ENEGEP 2016.

GARCIA, R. **Eficiência energética no Brasil**. Disponível em <https://eficienciaenergetica.atlascopco.com.br/eficiencia-energetica-no-brasil>. Acesso em: 11 set. 2020.

GOLDEMBERT, J.; LUCON, O. **Energia e meio ambiente no Brasil**. Estud. av. vol.21 no.59 São Paulo Jan./Apr. 2007

GUIMARÃES, G**. Quais são os 8 desperdícios.** Disponível em <https://foconaproducao.com.br/quais-sao-os-8-desperdicios>. Acesso em: 20 nov. 2020.

IMAI, M., **Kaizen:** a estratégia para o sucesso competitivo. 5. ed. São Paulo, (1994)

_____. **Kaizen:** the Key to Japan's Competitive Sucess, New York: McGraw-Hill, 1986.

KAPLAN, R. S.; COOPER, R. **Custo & Desempenho**. SÃO Paulo: Futura, 1998.

LIKER, J. K. **O Modelo Toyota,** Porto Alegre: Bookman, (2005).

MARTINS, T. **O que é perda? O que é desperdício?** Disponível em: <https://tuliomartins.com.br/o-que-e-perda-o-que-e-desperdicio>. Acesso em: 06 dez. 2020.

MELLO, R. E. **Iluminação** – A importância de um bom projeto. Disponível em <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=3&Cod=971>. Acesso em: 11 nov. 2020.

MELO, C. P.; CARAMORI, E. J. **PDCA Método de melhorias para empresas de manufatura** – versão 2.0. Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 2001.

MURINO, T. et al. **A world class manufacturing implementation model.** Proceedings of the 6th WSEAS international conference on Computer Engineering and Applications, and Proceedings of the 2012 American conference on Applied Mathematics, 2012, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS). p.371-376.

OLIVEIRA, H. V.; BEUREN, I. M. Mensuração das atividades empresariais: custeio baseado em atividades x método da unidade de esforço de produção. **Revista do Conselho Regional de Contabilidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre**, v.25, n.84, p.31-39, jan./mar. 1996.

ORTIZ, C. A. **Kaizen:** E implementação de eventos Kaizen. Porto Alegre, RS. Bookman, 2010. 168 p

PALUCHA, K. World Class Manufacturing Model in Production Management. **International Scientific Journal, Poland**, v. 58, n. 2, p.227-234, Dec. 2012.

PEREIRA, M. J. **Energia:** eficiência e alternativas. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – PROCEL. **Resultados PROCEL 2019, ano base 2018.** Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2019/Procel_rel_2019_web.pdf>. Acesso em: 15 out. 2020.

SALOMÃO, T. M. **Eficiência energética:** projeto luminotécnico em plantas industriais – São Paulo, 2010. Edição Revisada. 197p.

SCHONBERGER, R. J. **Manufactura de categoria mundial:** aplicacíon de las últimas técnicas para optimizar la producción. Colômbia: Norma, 1989.

SILVA, D. J. P. **Entendendo a ISO 14000**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Tecnologia de Alimentos, 2011.

SOLOMON, J. M.; FULLERTON, R. **Accounting for World-Class Operations Fort Wayne**, Indiana: WCM Associates, 2007.

YAMASHINA, H. **Quinze palavras chave para a competitividade na fabricação**. [S.l.]: WCM Association. 2010.

_____. **La filosofia World Class Manufacturing**. Entrevista concedida a IVECO, (2007).

_____. **World class manufacturing:** métodos e instrumentos. FIASA. São Paulo. 2009.