



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CURITIBA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

MATHEUS AGUIRRE NASCIMENTO

**REDUÇÃO DE PERDAS NO PROCESSO DE
TERMOFORMAGEM DE UMA FÁBRICA DE
EMBALAGENS PLÁSTICAS: ESTUDO DE CASO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
(TCC2 - N° DE INSCRIÇÃO - 26)

CURITIBA

2017

MATHEUS AGUIRRE NASCIMENTO

REDUÇÃO DE PERDAS NO PROCESSO DE TERMOFORMAGEM DE UMA FÁBRICA DE EMBALAGENS PLÁSTICAS: ESTUDO DE CASO

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso - Tcc2 do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Me. Osvaldo Verussa Junior

CURITIBA

2017

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "Redução de Perdas no Processo de Termoformagem de uma Fábrica de Embalagens Plásticas: estudo de Caso", realizado pelo aluno Matheus Aguirre Nascimento, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. Me. Osvaldo Verussa Junior
Departamento Acadêmico de Mecânica, UTFPR
Orientador

Prof. Dr. Paulo Antonio Reaes
Departamento Acadêmico de Mecânica, UTFPR
Avaliador

Prof. Me. Rodrigo Ulisses Garbin da Rocha
Departamento Acadêmico de Mecânica, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 30 de novembro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me abençoado com muita saúde para que pudesse chegar até aqui.

Aos meus pais, Marcos e Rosane, por todo o apoio, compreensão e orientação em minha vida.

Ao Prof. Me. Osvaldo Verussa Junior, pela sua dedicação e profissionalismo ao longo do desenvolvimento deste projeto.

A todos que de alguma forma ou de outra colaboraram para a realização deste trabalho.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em memória do meu padrinho Jurandir Bueno Junior, grande amigo com o qual tive o prazer de conviver por vários anos.

RESUMO

NASCIMENTO, Matheus A. Redução de Perdas no Processo de Termoformagem de uma Fábrica de Embalagens Plásticas: Estudo de Caso. 2017. 58 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Neste trabalho foi realizado um estudo de caso em uma empresa fabricante de embalagens plásticas objetivando a redução do alto índice de perdas de material da companhia ao longo do processo de termoformagem. Para a resolução do problema apresentado foi inicialmente realizado um levantamento do índice dessas perdas de todas as máquinas do setor de termoformagem e posteriormente do setor como um todo, no ano de 2017. Em seguida, foram utilizadas ferramentas de apoio à gestão da produção, como Ishikawa, Pareto e *Lean Manufacturing*, bem como a metodologia WCOM que forneceram suporte teórico na definição de ações de melhoria a serem implementadas na empresa. A aplicação das medidas e a eficácia das mesmas foi analisada levando em consideração os estados anteriores e posteriores da implantação das ações. Com a implantação das ações mencionadas, houve um benefício financeiro para a empresa de centenas de milhares de reais. Por fim, concluiu-se que tais ações foram bem-sucedidas na resolução do problema apresentado, e são apresentadas ideias de possíveis melhorias e oportunidades de ganho que ainda poderão ser implantadas para melhorar ainda mais os indicadores da companhia. Em virtude dos bons resultados apresentados, pretende-se adotar medidas semelhantes em outros segmentos produtivos da empresa.

Palavras-chave: embalagens plásticas, metodologia WCOM, perdas, termoformagem.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Matheus A. Redução de Perdas no Processo de Termoformagem de uma Fábrica de Embalagens Plásticas: Estudo de Caso. 2017. 58 f. Monografia (Engenharia Mecânica) – Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

In this work, it was done a case study within a plastic packaging thermoforming company aiming to reduce the high waste index of materials throughout the thermoforming process. To solve the presented problem, firstly it was made a mapping of the waste index for all the machines and then for the whole sector in the year of 2017. Subsequently, supporting tools to management production were used, such as the Ishikawa and Pareto diagrams, Lean Manufacturing and the WCOM methodology, which provided theoretical support to the formulation of improvement actions to be implemented in the company. The application of these actions and their efficacy were analyzed considering the preceding and following state of the initiatives. With the introduction of the actions, there was a financial benefit for the company of hundreds of thousands of reais. Finally, it has been concluded that such actions were successful solving the presented problem, and ideas that can still be deployed to further improvement of the company index and gain opportunities are shown as well. Due to the good results here presented, there is an intent to adopt similar measures in other productive processes of the company.

Key-words: plastic packaging, WCOM methodology, wastes, thermoforming.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CEP	Controle Estatístico de Processo
EUA	Estados Unidos da América
JIT	Just In Time
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Eficiência Global do Equipamento)
PDCA	Plan / Do / Check / Act (Planejar / Fazer / Verificar/ Agir)
PP	Polipropileno
TIE	Total Industrial Engineering (Engenharia Industrial Total)
TQC	Total Quality Control (Controle da Qualidade Total)
TQM	Total Quality Management (Gestão da Qualidade Total)
TPM	Total Productive Maintenance (Manutenção Produtiva Total)
UV	Ultravioleta
WCM	World Class Manufacturing (Manufatura Classe Mundial)
WCOM	World Class Operations Management (Gestão de Operações Classe Mundial)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Perdas no processo de Termoformagem.....	07
Tabela 2. Acumulado de Produção e Refugo das Termoformadoras, Janeiro a Julho.....	34
Tabela 3. Percentual de Perda das Termoformadoras – Real x Meta.....	35
Tabela 4. Eficiência dos moldes da termoformagem.....	41
Tabela 5. Estudo de aparas por retomada de máquina na termoformagem.....	50
Tabela 6. Comparação de peso média das bobinas.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma sequencial de processos da empresa.....	02
Figura 2. Desenho Esquemático do processo de Extrusão.....	03
Figura 3. Desenho Esquemático do processo de Termoformagem.....	04
Figura 4. Desenho Esquemático do processo de Impressão.....	05
Figura 5. Diagrama de Ishikawa.....	16
Figura 6. Diagrama de Pareto.....	16
Figura 7. Ciclo PDCA.....	19
Figura 8. Representação dos pilares do WCM.....	22
Figura 9. Os sete passos do pilar de melhoria focada.....	23
Figura 10. Fluxograma de implementação do World Class Manufacturing.....	24
Figura 11. Evolução do WCM.....	25
Figura 12. Representação dos pilares do TPM.....	28
Figura 13. Fluxograma das etapas de metodologia.....	32
Figura 14. Não-conformidades no setor de extrusão em 2017.....	38
Figura 15. Não-conformidades no setor de termoformagem em 2017.....	39
Figura 16. Perdas em kg decorrentes de não-conformidades no setor de termoformagem em 2017.....	39
Figura 17. Ilustração de uma máquina termoformadora.....	40

Figura 18. Controle de peso do pote 400-0908.....	43
Figura 19. Diagrama de Ishikawa para análise de causa-raiz do sobrepeso do pote 400-0908.....	44
Figura 20. Acompanhamento de peso médio – Pote 400-0908.....	45
Figura 21. Controle do peso real de aparas e sucatas.....	47

SUMÁRIO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.1 CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA.....	6
1.2 OBJETIVOS	6
1.2.1 Objetivo Principal	6
1.2.2 Objetivos Específicos.....	6
1.3. JUSTIFICATIVA	7
1.4 CONTEÚDO OU ETAPAS DO TRABALHO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 TERMOFORMAGEM, POLÍMEROS E O USO DO POLIPROPILENO	9
2.1.1 Aquecimento para Termoformagem	10
2.1.2 Instalações para Termoformagem	12
2.1.3 Definição de Aparas e Sucatas e Cálculo de Perdas	14
2.2 EXTRUSÃO.....	14
2.3 FERRAMENTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE	15
2.3.1 Ishikawa	15
2.3.2 Diagrama de Pareto	16
2.3.3 Controle Estatístico de Processo (CEP)	17
2.3.4 5W2H	17
2.4 LEAN MANUFACTURING (Produção ou Manufatura Enxuta)	18
2.4.1 Redução do tempo de Set-up (SMED – Single Minute Exchange of Die)	18
2.4.2 5S.....	19
2.4.3 Ciclo PDCA	19
2.4.4 Perdas no contexto da Manufatura Enxuta	20
2.5 WCM (World Class Manufacturing)	21
2.5.1 TQC (Total Quality Control).....	26
2.5.2 TPM (Total Productive Maintenance – Manutenção Produtiva Total)	27
2.5.3 TIE (Total Industrial Engineering – Engenharia Industrial Total)	28
2.5.4 JIT (Just in Time)	29
2.6 WCOM (World Class Operations Management – Gestão de Operação Classe Mundial)	29
3. METODOLOGIA	31

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS.....	34
4.1 REDUÇÃO DE PERDAS POR NÃO-CONFORMIDADES (Cartões Vermelhos)-----	36
4.2 CONTROLE DA EFICIÊNCIA DOS MOLDES DAS MÁQUINAS TERMOFORMADORAS-----	40
4.3 CONTROLE DO PESO DOS PRODUTOS FINAIS DA TERMOFORMAGEM -----	42
4.4 VERIFICAÇÃO DO PESO REAL DE APARAS E SUCATAS NO SETOR-----	46
4.5 SEPARAÇÃO DOS REFUGOS DE ACORDO COM AS RESPECTIVAS FÓRMULAS -----	47
4.6 PERDAS POR RETOMADAS-----	49
5. CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS.....	54

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

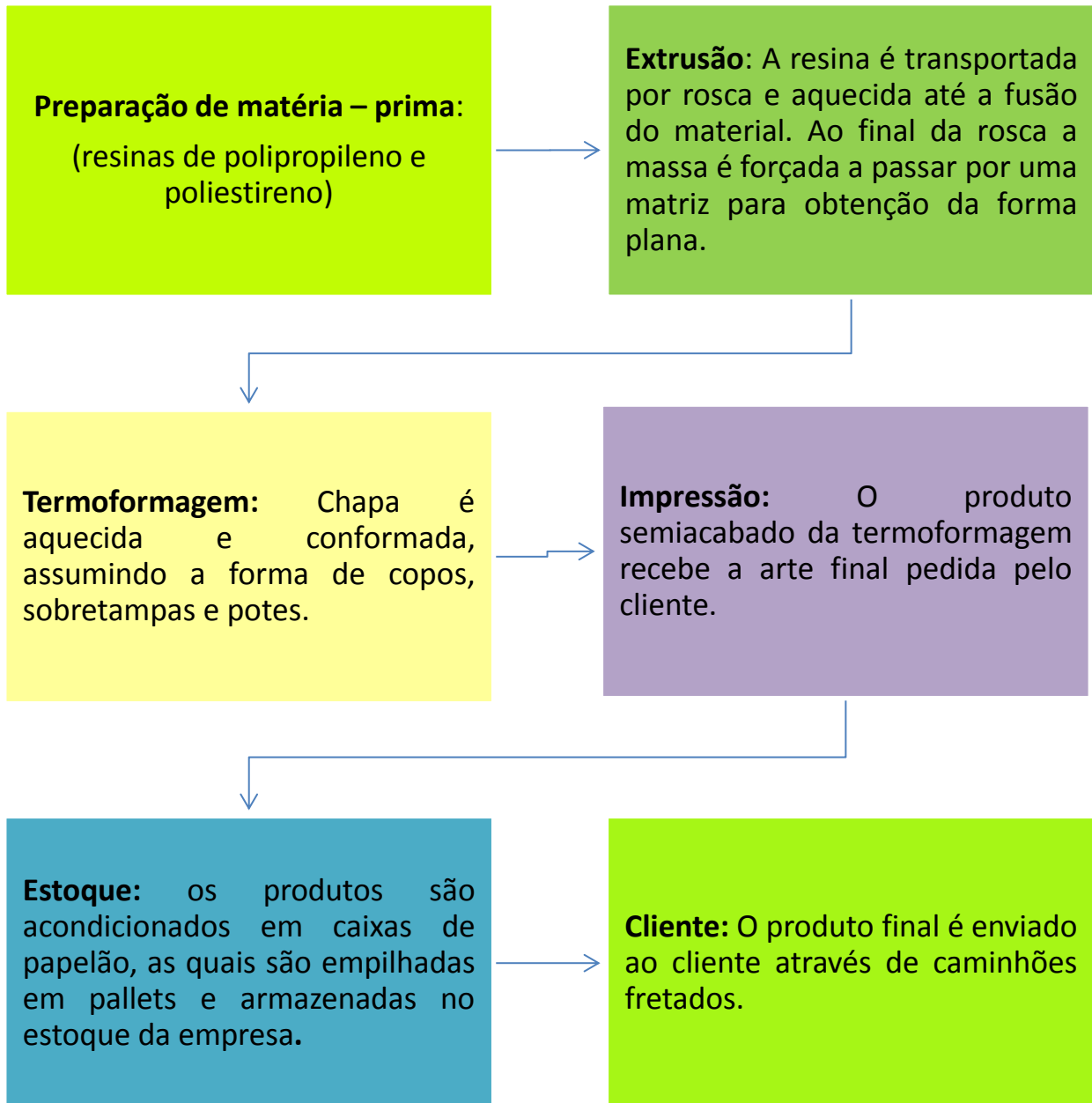
A redução de perdas e de refugos, é uma constante em qualquer indústria e um objetivo a ser alcançado por meio de uma gestão com ênfase em melhoria contínua e garantia da qualidade. Em um contexto fabril, além do potencial ganho financeiro que a melhoria da eficiência do processo de fabricação pode gerar, existe ainda um ganho na redução do impacto ambiental, o que é considerado uma necessidade para muitas companhias nos dias atuais.

Para Vieira (2014), “devido a um mercado cada vez mais competitivo e qualificado no cenário do mundo globalizado, as empresas necessitam de novas ideias, métodos e tecnologias para se destacarem no mercado”. A crescente concorrência evidencia a busca incessante de tais soluções, sempre com vistas a otimização de processos e atendimento aos requisitos de projeto e cliente. Neste sentido, o controle da geração de refugos nos processos é essencial ao tratar da qualidade final do produto e redução de custos.

A empresa onde se desenvolveu esta pesquisa atua no mercado de embalagens plásticas rígidas e flexíveis, tendo como principal cliente a indústria alimentícia. Para este trabalho, no entanto, serão abordados somente os processos de fabricação existentes na planta industrial localizada na região metropolitana de Curitiba, responsável pela produção de embalagens plásticas rígidas, somente.

Existem quatro processos produtivos principais dentro da referida planta: extrusão, termoformagem, injeção e impressão. Os três primeiros são de processos de fabricação, enquanto a impressão é um processo de acabamento. O fluxograma dos processos está indicado a seguir na Figura 1:

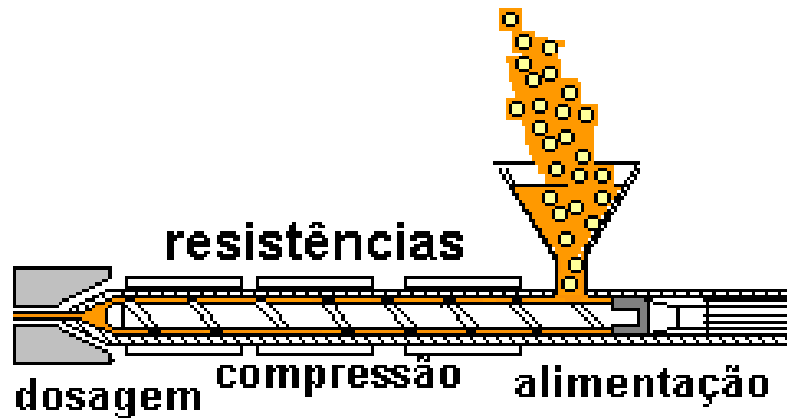
Figura 1. Fluxograma de processos da empresa



Fonte: Autoria própria

As Figuras 2, 3 e 4 a seguir, representam respectivamente os processos produtivos da extrusão, termoformagem e impressão, realizados sequencialmente na planta industrial.

Figura 2. Desenho Esquemático do processo de Extrusão

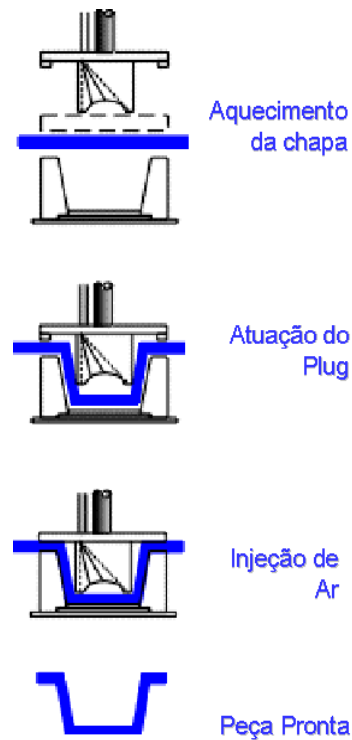


Fonte: Autoria própria

O processo de extrusão de chapas é um processo contínuo. O material é aquecido por atrito e calor, à medida que avança por uma rosca, transformando-se em um fluido muito viscoso.

A ação da rosca sobre o fluido gera a pressão necessária para fazê-lo sair pela matriz, onde adquire a forma desejada. O material extrudado pode ser enrolado em bobinas ou cortado em peças de dimensões especificadas. O processo permite a fabricação contínua de chapas e perfis.

Figura 3. Desenho esquemático do processo de Termoformagem

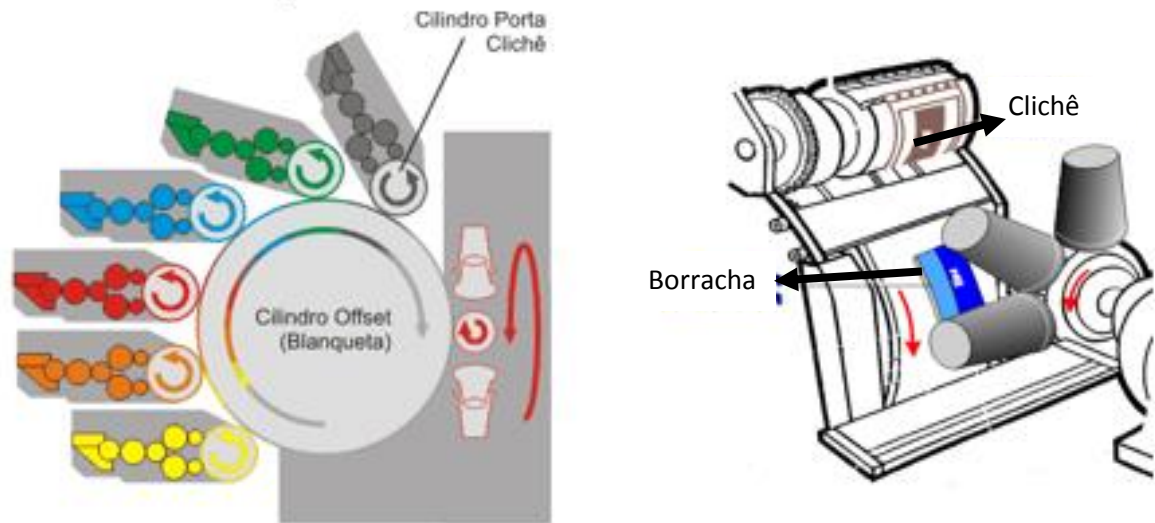


Fonte: Autoria própria

A termoformagem recebe a bobina plástica da extrusão, forma o produto e envia para a impressão ou direto para o cliente. A chapa plástica extrudada é novamente aquecida até atingir o ponto de amolecimento e, através da combinação de ação mecânica e injeção de ar comprimido adquire o formato do molde utilizado.

Cada etapa do processo de termoformagem é importante na determinação da qualidade do produto final. Devem ser monitorados tanto a qualidade da lâmina utilizada, quanto os parâmetros de aquecimento, moldagem e esfriamento, para obtenção de peças de alta qualidade e precisão.

Figura 4. Desenho esquemático do processo de impressão



Fonte: Autoria própria

O processo de Impressão recebe o produto da termoformagem ou da injeção imprime a arte aprovada pelo cliente e envia para o almoxarifado de produto acabado. A imagem é transferida para a superfície da embalagem através de rolos entintados, clichês e borrachas impressoras.

Durante o processo, todas as cores são depositadas na mesma borracha de impressão e são impressas de uma só vez no substrato.

Devido à natureza contínua da cadeia produtiva, é de suma importância que exista um rigoroso controle no desperdício de material de todos os processos produtivos. A termoformagem foi escolhida como foco do presente trabalho, pois é um processo que vem apresentando alto índice de perda de material, de acordo com informações da empresa referentes ao primeiro semestre de 2017. Qualquer melhoria ou redução de desperdícios impacta positivamente os custos da empresa e auxilia a *performance* de processos posteriores.

1.1 CARACTERIZAÇÃO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

O presente trabalho aborda o controle das perdas de material no processo de termoformagem de uma indústria de embalagens plásticas localizada na região metropolitana de Curitiba. Identificou-se que o setor de termoformagem trabalha constantemente acima da meta de perdas definida pela Alta Gerência da empresa, o que a prejudica financeiramente e gera divergências ao se realizar o balanço de massa do setor, ou seja, o inventário de matéria-prima x produtos acabados.

A redução de refugos também é importante para a otimização do processo produtivo como um todo, possibilitando a identificação de possíveis limitações de maquinário, mão-de-obra e custos. Com isso será possível entender as oportunidades de melhoria e quais ações deverão ser tomadas para mitigar os desperdícios.

1.2 OBJETIVOS

Neste item é mencionado o objetivo principal do trabalho e seu desdobramento em objetivos específicos, cujo cumprimento foi essencial para o sucesso deste estudo.

1.2.1 Objetivo Principal

O presente trabalho teve como objetivo principal selecionar técnicas e ferramentas que permitam a redução de perdas no processo de termoformagem em uma indústria de embalagens plásticas rígidas de Curitiba, a qual foi o objeto do estudo de caso.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar o estado inicial do processo de termoformagem.
- Avaliar os indicadores e identificar as causas principais das perdas.
- Planejar ações para aumentar a eficiência global dos equipamentos (OEE¹) na área de termoformagem.
- Elaborar, implementar e formalizar a metodologia no chão de fábrica.

¹ OEE trata-se de um indicador resultante da multiplicação dos índices de disponibilidade, desempenho (performance) e a qualidade dos produtos processados pelo equipamento (NAKAJIMA, 1989).

1.3. JUSTIFICATIVA

O processo de termoformagem na unidade em questão também apresentava uma eficiência global abaixo da meta definida pela gerência, tornando-se um problema latente que necessitava de uma solução rápida e eficaz.

Quando comparado a outras unidades fabris da mesma empresa, evidenciou-se uma possibilidade de melhoria na eficiência global do processo, a fim de reduzir as perdas recuperáveis (aparas de processo) e não-recuperáveis (sucatas) de matéria-prima. As perdas recuperáveis, após fundidas e reextrudadas, podem ser utilizadas novamente no processo, mas as sucatas devem ser descartadas por se tratarem de produtos contaminados. A solução do problema possibilitava uma maior margem de lucro na venda dos produtos para os clientes finais, e também evitava que os processos posteriores a serem realizados no produto semiacabado fossem prejudicados, pois haveria um aumento de velocidade no fluxo produtivo.

A análise das perdas totais de três anos diferentes indicou uma tendência crescente, sendo que pelo segundo ano consecutivo a meta não foi atingida, como mostra a Tabela 1 a seguir. Dessa forma, havia a necessidade de se criar e implementar um método no qual se identificasse quais eram as causas principais de desperdício de material e como corrigi-las de maneira correta, atacando as causas principais do problema apresentado.

Tabela 1. Perdas de material no processo de Termoformagem (em percentual de kg de produtos)

	Termoformagem		
	2015	2016	2017 (Janeiro a Maio)
Meta	2,50%	2,50%	2,20%
Perda	2,16%	2,69%	4,70%

Fonte: Autoria Própria

Foram estudadas e apresentadas diferentes técnicas de gestão da produção para potencial definição de qual delas teria maior adequação na resolução do problema apresentado.

1.4 CONTEÚDO OU ETAPAS DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido em 4 capítulos principais: Considerações Iniciais, referencial teórico das principais técnicas de gestão da produção e do processo de termoformagem, metodologia a ser utilizada no trabalho, desenvolvimento e resultados do estudo e conclusões.

As informações e dados utilizados foram fornecidos pelo sistema da empresa. A análise dos resultados obtidos e a criação de um plano de ação para mitigar os desperdícios ao longo do processo foi realizada utilizando o *World Class Manufacturing* (Manufatura Classe Mundial), cujos princípios são adotados pela empresa ao longo de toda a cadeia produtiva.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Inicialmente, apresentou-se o princípio de funcionamento do processo de termoformagem, incluindo suas principais vantagens e desvantagens e abordando o uso do polipropileno (PP) no mesmo. Posteriormente foram introduzidas algumas das principais ferramentas utilizadas na solução dos problemas de produção. Em seguida, foi apresentada a metodologia WCM (*World Class Manufacturing*), desenvolvida por Yamashina como um sistema que busca identificar qual é o problema, sua perda, o método que será adotado e posterior controle de resultados (OLIVEIRA *et al*, 2015). Um dos principais pilares do WCM é a melhoria focada dos processos industriais, a qual será o foco principal do presente trabalho.

2.1 TERMOFORMAGEM, POLÍMEROS E O USO DO POLIPROPILENO

De acordo com Rocha e Serta (2012) a termoformagem é um processo de fabricação de peças com polímeros termoplásticos, ou seja, plásticos que após serem submetidos a altas temperaturas podem ser moldados de forma a permanecer nesse estado após o resfriamento. Tal fenômeno não ocorre com polímeros termofixos, pois, ao contrário dos termoplásticos, não podem ser moldados após serem submetidos às mesmas condições.

Segundo Norton (2013), os polímeros são moléculas orgânicas de cadeias muito longas baseadas em compostos de carbono. Essa definição está intimamente relacionada à origem da palavra, do grego *poli* (muitas) e *meros* (partes). Os polímeros possuem uma grande variedade de propriedades, dentre as quais se destacam baixo peso, boa resistência elétrica e a corrosão e custo relativamente baixo por unidade de volume. A fonte da maioria dos polímeros é o petróleo ou o carvão, que contêm o carbono ou os hidrocarbonetos necessários para criar os polímeros. Embora existam na natureza muitos materiais poliméricos (cera, borracha, proteínas, etc.), a maior parte dos polímeros é sintetizada pelo ser humano.

Os polímeros são divididos em duas classes: termoplásticos e termofixos. Os polímeros termoplásticos são aqueles que podem ser repetidamente fundidos e solidificados, embora suas propriedades possam se degradar devido às altas

temperaturas de fusão. Os termoplásticos são fáceis de moldar e seus refugos podem ser reaproveitados posteriormente em um novo processo de moldagem. Já os polímeros termofixos, o aquecimento gera ligações cruzadas. No caso de um aquecimento posterior, os termofixos irão queimar em vez de derreter. Isso se deve ao fato de que as ligações cruzadas criam conexões entre as moléculas de cadeia longa que se enrolam e se torcem através de um polímero. Tais ligações adicionam resistência e rigidez ao material (NORTON, 2013).

Termoformagem também pode ser definida como um método de fabricação que, por meio de vários passos, possibilita a produção de um componente plástico estável utilizando termoplásticos. O passo-a-passo deste processo consiste na seguinte ordem (ENGELMANN, 2012):

- Aquecimento do produto semiacabado: O produto plástico semiacabado (chapa ou filme) é aquecido até atingir a temperatura ideal (temperatura de formagem). O calor pode ser transmitido por meio de resistências de contato, convecção ou outras fontes.
- Formação: é obtida por meio de uma ferramenta termoformadora (plug), com a forma desejada do produto final.
- Resfriamento: O molde é resfriado para a estabilização do componente plástico, preparando-o para a extração.
- Extração: O produto é finalmente retirado de molde, completamente estabilizado.

2.1.1 Aquecimento para Termoformagem

De acordo com Blass (1988), o controle de temperatura é crítico para a produção de peças sadias. Sob condições ideais, a chapa deve ser aquecida rapidamente, com um gradiente térmico mínimo entre a borda e o centro. O grau de controle requerido para o aquecimento adequado dependerá do tipo de material e do nível de anisotropia induzido na produção da chapa.

De acordo com Junior (1999), a quantidade de calor necessário para tornar o material conformável pode ser obtida pela equação 1 a seguir:

$$Q = C \times L \times e \times m \times (C_p \times \Delta T \times C_f) \quad (I)$$

Na qual:

Q = Quantidade de calor [J];

C = Comprimento da chapa plástica no interior da termoformadora [m];

e = espessura da chapa plástica [m];

m = densidade [Kg/m³];

C_p = Calor específico [J/Kg °C];

ΔT = Variação de temperatura desejada [°C];

C_f = Calor latente de fusão [J/Kg];

Existem três possibilidades de aquecimento: por convecção, por contato ou por radiação infravermelha. O método mais utilizado é o por radiação infravermelha, já que sua energia avança diretamente ao interior do plástico. Dessa forma, ele é aquecido muito rapidamente e de forma homogênea, evitando que a superfície fique danificada por sobreaquecimento (MICHAELI, 1995).

Segundo Blass (1988), a radiação infravermelha é emitida de uma fonte constituída de lâmpadas que podem fornecer temperaturas numa faixa que vai dos 260 °C aos 630 °C, de acordo com o material a ser aquecido. A intensidade total de radiação varia com a quarta potência da temperatura absoluta, de acordo com a Lei de Stefan-Boltzmann representada na equação 2 abaixo:

$$e_b = \sigma T^4 \quad (II)$$

Onde e_b (W/m²) é o poder emissivo total do corpo, $\sigma = 5,6704 \times 10^{-8}$ (W/m²K⁴) a constante de Stefan-Boltzmann e T (K) é a temperatura do corpo.

O aquecimento por convecção em um forno provido de circulação de ar é um método eficiente para se obter boa distribuição e controle acurado de temperatura. Embora a velocidade do processo seja mais lenta quando comparada ao aquecimento por radiação, a produção pode ser aumentada aquecendo-se várias chapas ou filmes plásticos de uma única vez (BLASS, 1988).

Já o aquecimento por contato, também conhecido como aquecimento por condução, é realizado pelo contato do plástico com uma placa metálica aquecida e polida.

Existem duas maneiras de se realizar o processo: o plástico é mantido entre duas placas metálicas aquecidas até atingir a temperatura de conformação, ou a chapa plástica é mantida adjacente à placa metálica aquecida por pressão de ar, até ser atingida a temperatura de conformação (BLASS, 1988).

2.1.2 Instalações para Termoformagem

Para Michaeli *et al* (1995), a realização prática das etapas de processamento ocorre em máquinas de uma ou várias estações. No primeiro caso existe deslocamento de equipamento, enquanto no segundo o componente plástico mantém sua posição desde o aquecimento até a extração.

A desvantagem da máquina de uma única estação é o maior tempo de ciclo, o qual é composto pela soma dos tempos individuais de cada etapa. Já nas máquinas de múltiplas estações o ciclo se dá pelo tempo da etapa mais longa.

Segundo Yang e Hung (2004), a termoformagem de materiais termoplásticos se tornou importante na indústria devido ao baixo custo e boa maleabilidade. É o processo indicado para lotes pequenos que por questões de custo não necessitam serem fabricados por injeção plástica, ou quando o tempo entre o projeto do produto e sua manufatura é crítico.

De acordo com Chy, Boulet e Haidar (2011), a fase de aquecimento é a mais importante, pois dela depende o resultado final das fases seguintes. Em outras palavras, temperaturas acima ou abaixo da ideal podem acarretar perdas irreversíveis.

A combinação de boas propriedades físicas e baixo custo faz com que o polipropileno (PP) seja adequado para várias aplicações que utilizam o processo de termoformagem. No entanto, como é um polímero cristalino, o PP não possui muita estabilidade no processo de aquecimento. Dessa forma, o processo de termoformagem ocorre numa faixa pequena de temperaturas (143 – 166 °C), próxima ao ponto de fusão. Se a temperatura é muito baixa, o produto não obterá adequadamente o acabamento do molde. Se for muito alta, a chapa plástica perde estabilidade, podendo até mesmo romper. O produto final terá espessura irregular ao longo de seu comprimento (KUMAR *et al apud* THRONE, 2014).

Para Callister (2011), as principais características de aplicação do PP são: resistência a distorção térmica, excelentes propriedades elétricas e resistência à fadiga,

quimicamente inerte, relativamente barato e pouca resistência à luz UV. Algumas aplicações típicas desse termoplástico incluem garrafas esterilizáveis, filmes para embalagens, gabinetes de televisores e malas de bagagem.

No caso do PP, é possível realizar a termoformagem em duas fases distintas: na fase sólida abaixo do ponto de fusão cristalino e na fase fundida acima do mencionado ponto. Ambas possuem vantagens e desvantagens. No caso da fase sólida, a chapa plástica apresenta boa resistência mecânica e quase nenhuma flacidez. Entretanto, o vácuo por si próprio não é suficiente para moldar o produto final, sendo necessário o auxílio de um *plug* no processo. A temperatura gira em torno de 155 a 165 °C (TRIPATHI, 2002).

A termoformagem realizada na fase fundida do PP necessita de tipos específicos desse material, com pontos de fusão mais altos. As vantagens são maior uniformidade na espessura do produto final e pouca variação de pressão no processo. A temperatura de referência é especificada entre 175 e 185 °C (TRIPATHI, 2002).

Segundo Engelmann (2012), ao longo de muitas décadas diferentes métodos de termoformagem foram desenvolvidos baseados em ambas as técnicas (fase sólida e fundida). Produtos plásticos semiacabados e máquinas termoformadoras estão, obviamente, sujeitos a certos padrões. O semiacabado pode ser processado com filme ou chapa plástica, sendo que na maioria das vezes considera-se como chapas os semiacabados de espessura maior que 2,5 mm.

Para Engelmann (2012), as principais vantagens do processo de termoformagem, em comparação com a injeção plástica, são:

- Ciclos de produção mais curtos;
- Alto volume de produção;
- Permite realizar o processo de impressão em produtos termoformados.

E algumas das desvantagens:

- Menor possibilidade de alterações no design;
- Distribuição não-uniforme de espessura;
- Difícil controle de temperatura.

2.1.3 Definição de Aparas e Sucatas e Cálculo de Perdas

A empresa estudada realiza uma separação dos refugos provenientes dos setores produtivos em dois tipos: Aparas e Sucatas.

Aparas: Trata-se de uma nomenclatura utilizada pela companhia para designar as perdas recuperáveis, ou seja, aquelas que podem ser reutilizadas posteriormente nos processos produtivos. Trata-se de materiais não contaminados, com algum tipo de não-conformidade ou que simplesmente não pode ser aproveitado no processo por limitações de maquinário (e.g. ajustes, testes produtivos para liberar os lotes de produção). No escopo deste trabalho será utilizada como sinônimo de material de reprocesso.

Sucatas: É o nome dado ao refugo que possui algum tipo de contaminação (óleo, graxa, poeira) e que por isso não pode ser reaproveitado pela empresa. Inclui-se nesse grupo produtos acabados que caem no chão ou até mesmo dentro de alguns pontos das máquinas. Outro tipo de sucata é plástico derretido devido a superaquecimento ou mal funcionamento do maquinário.

Na empresa em questão também existe uma meta percentual anual de perda de material para cada setor produtivo, baseada no volume produzido pelas máquinas do setor e por dados históricos referentes a cada uma das máquinas. A perda dos setores é calculada de acordo com a equação 3 a seguir, na qual a unidade das variáveis é o quilograma (kg):

$$Perda (\%) = \frac{Aparas + Sucatas}{Aparas + Sucatas + Volume Produzido} \quad (III)$$

2.2 EXTRUSÃO

O sucesso da termoformagem depende da correta extrusão do termoplástico. Se a extrusão não é realizada de acordo com os devidos parâmetros, existirão sérias consequências em processos posteriores. Dessa forma, é interessante que os operadores de termoformagem estejam familiarizados com o processo de extrusão (ENGELMANN, 2012).

Segundo Callister (2011), o processo de extrusão consiste na moldagem de um material termoplástico viscoso, sob pressão, através de uma matriz com extremidade

aberta, de uma maneira semelhante à extrusão dos metais. Uma rosca transportadora ou parafuso sem fim transporta o material peletizado através de uma câmara, onde ele é sucessivamente compactado, fundido e conformado como uma carga contínua de um fluido viscoso. A extrusão ocorre conforme essa massa fundida é forçada através de um orifício na matriz. A solidificação do segmento extrudado é acelerada por sopradores de ar, por borrifo de água ou por um banho. A técnica está especialmente adaptada para a produção de segmentos contínuos com seção transversal de geometria constante – por exemplo, barras, tubos, lâminas e filmes.

De acordo com Hannay (2002), após a passagem pela matriz, a chapa plástica passa por uma série de rolos que têm como função controlar sua espessura final e auxiliar no resfriamento da mesma. A chapa é então enrolada e transformada em uma bobina para ser utilizada posteriormente na termoformagem.

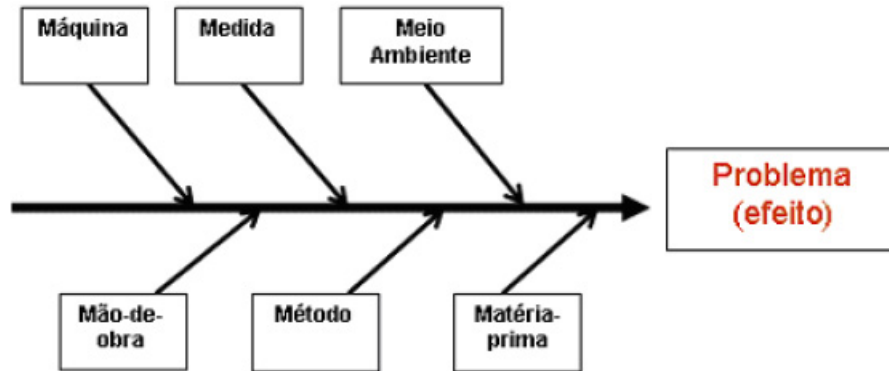
2.3 FERRAMENTAS DE CONTROLE DE QUALIDADE

Neste item será apresentada as principais ferramentas de gestão e métodos de apoio para identificar os problemas no chão de fábrica relacionadas em geral com as estratégias de melhoria contínua, redução de defeitos e as perdas produtivas, normalmente encontradas na literatura e largamente utilizadas nas empresas.

2.3.1 Ishikawa

O diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama causa-efeito ou como diagrama espinha de peixe, relaciona seis diferentes fatores (material, mão-de-obra, método, máquinas, medição e meio) a um determinado efeito, que pode ser a ocorrência de um problema ou o desempenho de um determinado processo. Essa análise, mostrada na Figura 5 a seguir, foi desenvolvida pelo professor japonês Kaoru Ishikawa como uma maneira de resolver problemas baseando numa visão geral do processo, e não pontual (SLACK et al, 1999).

Figura 5. Diagrama de Ishikawa

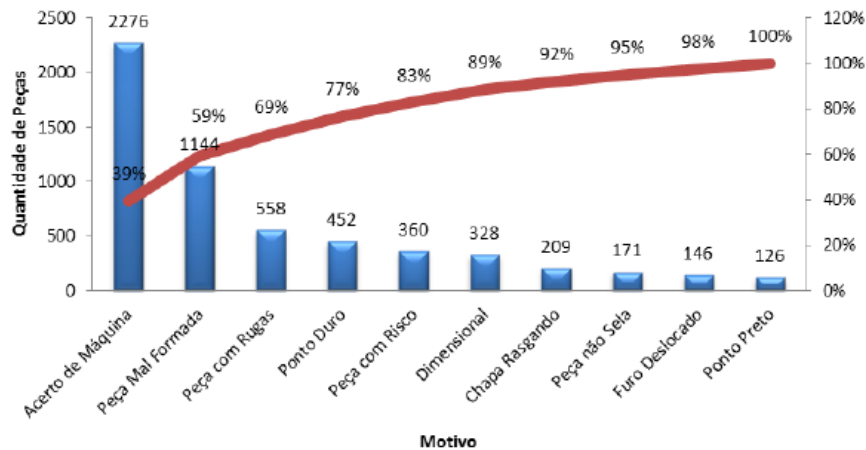


Fonte: Vieira *apud* Ishikawa (2014).

2.3.2 Diagrama de Pareto

De acordo com Slack *et al* (1999), “é uma técnica relativamente direta, que envolve classificar os itens de informação nos tipos e problemas ou causas de problemas por ordem de importância”. Esse diagrama foi desenvolvido pelo sociólogo e economista italiano Vilfredo Pareto e também é conhecido como “diagrama 80-20”, deduzindo que 80% das perdas são causadas apenas por 20% dos problemas. Dessa forma, esse princípio busca relativizar questões triviais e diferenciar as causas mais importantes das menos importantes de acordo com o impacto das mesmas. A Figura 6 a seguir ilustra com clareza um exemplo do diagrama:

Figura 6. Diagrama de Pareto



Fonte: Santana, Freires e Barbosa (2016)

A Figura anterior ilustra uma utilização do gráfico de Pareto para os tipos de refugo mais comuns em uma indústria de termoformagem de plásticos do Brasil, que foi objeto de um estudo de caso em um artigo publicado pelos autores referenciados anteriormente.

2.3.3 Controle Estatístico de Processo (CEP)

Essa ferramenta estatística foi desenvolvida por Walter Shewhart em 1924 através das cartas CEP. Tais documentos nada mais eram que gráficos de controle, fundindo estatísticas e realidade produtiva da empresa.

Um dos principais objetivos do CEP é identificar a estabilidade e a capacidade do processo. Em outras palavras, o processo deve seguir uma distribuição estatística normal e atender os limites de especificação exigidos.

As variações do processo produtivo são inerentes a ele, ou seja, sempre irão existir. Entretanto, as causas dessas variações são divididas em dois grupos: causas de variação comuns e causas de variação especiais. De acordo com Martins e Laugeni (2001), “ as causas comuns são aleatórias e variáveis, e quando o processo apresenta somente causas de variação comuns, as variáveis do processo seguem uma distribuição normal ”. As variações de causa especiais, entretanto, são pontuais e previsíveis, sendo assim facilmente corrigíveis. Essas variações alteram parâmetros do processo, como média e desvio-padrão.

2.3.4 5W2H

Segundo Lisboa e Godoy (2012), “O método 5W2H consiste em uma série de perguntas relativas ao processo produtivo e permite identificar as rotinas mais importantes, detectando seus problemas e apontando soluções”. Trata-se de uma espécie de plano de ação para servir de roteiro à especificação completa do projeto de melhoria, inovação ou solução de problemas. O nome dessa ferramenta é derivado do inglês e seu significado está descrito a seguir:

- *What* (O quê): indica o que será feito, ou seja, o objetivo ou meta a ser atingida.
- *Where* (Onde): local ou departamento onde as ações serão realizadas.
- *Why* (Por que): Aqui é realizada a justificativa das ações e a importância das mesmas para a empresa/companhia.

- *When* (Quando): Estabelecimento de um cronograma ou data limite para a execução do plano.
- *Who* (Quem): Atribuição dos responsáveis por cada ação a ser tomada.
- *How* (Como): Detalhamento de como o plano de ação será desenvolvido para atingir os resultados desejados.
- *How much* (Quanto): Estimativa dos custos de implantação das ações para a empresa. Uma das etapas mais importantes, pois delimita a viabilidade do projeto de melhoria.

2.4 LEAN MANUFACTURING (Produção ou Manufatura Enxuta)

É uma filosofia de manufatura que busca reduzir o tempo entre o pedido do cliente e a entrega. Foi introduzido no Japão pela montadora Toyota após a Segunda Guerra Mundial, a partir da percepção de que não se poderia igualar o investimento massivo dos EUA na construção de plantas industriais. Para Bon e Kee (2015), trata-se de um método que visa a melhoria na eficiência do processo produtivo através da contínua redução de perdas. Para o *Lean Manufacturing*, perda é toda atividade não agregadora de valor que o consumidor final não está disposto a pagar

Os industriais japoneses que conceberam esse sistema foram Eiji Toyoda e Taiichi Ohno, gerando uma mudança notável na Toyota no final dos anos 1940. A metodologia, de acordo com Bom e Kee (2015), emprega variadas ferramentas e técnicas para atacar e identificar diferentes tipos de perda de maneira efetiva e melhorando a eficiência em diversas situações.

Segundo Elrhanimi, Abbadi e Bouabdellah (2016), três das principais ferramentas adotadas no *Lean Manufacturing* são:

2.4.1 Redução do tempo de Set-up (SMED – Single Minute Exchange of Die)

De acordo com Ulutas (2011), o SMED foi desenvolvido por Shigeo Shingo no Japão na década de 1950 como resposta à necessidade emergente de produzir lotes cada vez menores de maneira a atender a flexibilidade exigida pelos clientes. De maneira geral, trata-se de uma filosofia que busca padronizar e simplificar as operações de *setup*.

2.4.2 5S

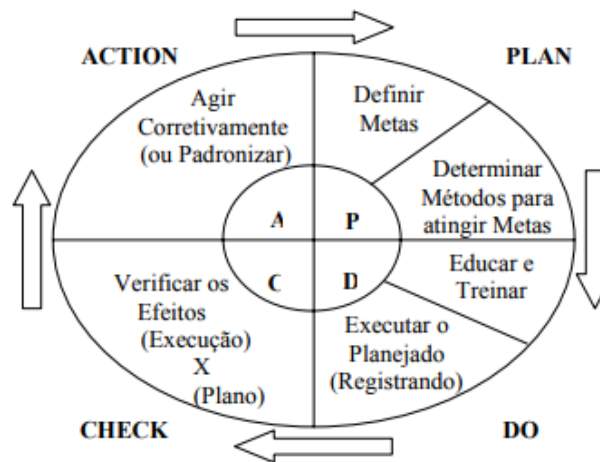
Uma metodologia para organizar, limpar, desenvolver e manter um ambiente de trabalho produtivo. Desenvolvido no Japão, baseia-se em 5 etapas com designações começadas pela letra S (SILVA, 2008). São elas:

- 1 - *Seiri* (Separar)
- 2 - *Seiton* (Organizar)
- 3 - *Seiso* (Limpar)
- 4 - *Seiketsu* (Normalizar)
- 5 - *Shitsuke* (Respeitar)

2.4.3 Ciclo PDCA

Essa ferramenta permite a melhoria contínua de um processo através de 4 passos, que são: *Plan* (Planejar), *Do* (Fazer), *Check* (Verificar) e *Act* (Agir). É também conhecida como roda de Deming, em homenagem ao criador do método, o americano William Edwards Deming. Segundo Vieira (2014), “é [...] o método gerencial mais utilizado para controle e melhoria de processos”. A Figura 7 a seguir mostra o PDCA como um processo contínuo:

Figura 7. Ciclo PDCA



Fonte: Falconi (1992)

Na Figura anterior pode-se observar a Roda de Deming com os passos sequenciais. Convém esclarecer que a cada giro intensifica-se as soluções e ajustes no plano de ação, otimizando a cada giro o processo em estudo.

Planejar: Estabelecimento de metas para o processo ou atividade a ser melhorado. É definido um conjunto de ações a serem atingidas para atingir os resultados desejados.

Fazer: é a fase na qual o planejamento é executado e os resultados são devidamente registrados para posterior análise.

Verificar: Neste passo, a solução nova é avaliada para checar se resultou na melhoria esperada.

Agir: as ações previamente planejadas são adotadas em caso de sucesso para que sejam devidamente consolidadas no processo ou atividade desejada. “As lições aprendidas da ‘tentativa’ são formalizadas antes que o ciclo comece novamente”. (SLACK *et al*, p.463, 1999).

2.4.4 Perdas no contexto da Manufatura Enxuta

Segundo Tubino (2015), desperdícios são conceituados como tudo aquilo que não agrega valor ao cliente, dentro do processo produtivo que transforma matéria-prima e componente em produtos acabados. A princípio, os principais desperdícios estão presentes nas atividades de espera, inspeção e transporte, mas também poderão ocorrer em uma atividade de processamento mal dimensionada. Em sistemas produtivos, quanto mais processos separados existirem, maiores serão os desperdícios presentes.

De acordo com Liker e Meier (2007), o modelo Toyota de produção identifica sete principais tipos de perdas, listadas abaixo. Os autores encontraram ainda uma possível oitava perda, relacionada ao não envolvimento dos funcionários na tomada de decisões:

1. Superprodução: Produzir itens antes ou em maiores quantidades do que o cliente necessita. Fabricar antes ou mais do que é necessário gera perdas adicionais, como custos com excesso de pessoal, armazenagem e transporte devido ao estoque excessivo.

2. Espera (tempo à disposição): Funcionários trabalhando como vigias de uma máquina automatizada ou tendo que ficar esperando pela próxima etapa do processo ou pela próxima ferramenta, suprimento, peça, etc. Além disso, tempo sem trabalho e produção

por falta de estoque, atrasos de processamento, paralisação do equipamento e gargalos de capacidade.

3. Transporte ou transferência: Movimentação de trabalho em processo de um local para outro, ainda que em curta distância. Movimentação de materiais, peças ou produtos acabados para o estoque e retirada de produto do estoque entre diferentes processos.

4. Processamento incorreto: Realização de atividades e tarefas desnecessárias para processar peças. Processamento ineficiente devido à qualidade ruim das ferramentas e do projeto do produto, causando deslocamentos desnecessários ou produzindo defeitos.

5. Excesso de estoque: Excesso de matéria-prima, estoque em processo ou produtos acabados, causando *lead times* (tempos de espera) mais longos, obsolescência, produtos danificados, custos extras com transporte e armazenagem e atrasos. Além disso, o estoque em demasia esconde problemas como desequilíbrios na produção, entregas com atraso por parte dos fornecedores, defeitos, paralisação de equipamentos e longos períodos de preparação de equipamentos (*setup*).

6. Deslocamentos desnecessários: Qualquer movimentação que os funcionários precisam fazer durante seu período de trabalho e que não agregam valor ao produto final, tais como localizar, procurar ou empilhar peças, ferramentas, etc.

7. Defeitos: Produção ou correção de peças defeituosas. Conserto ou retrabalho, descarte, produção para substituição e inspeção significam desperdício de tempo, de manuseio e de esforço.

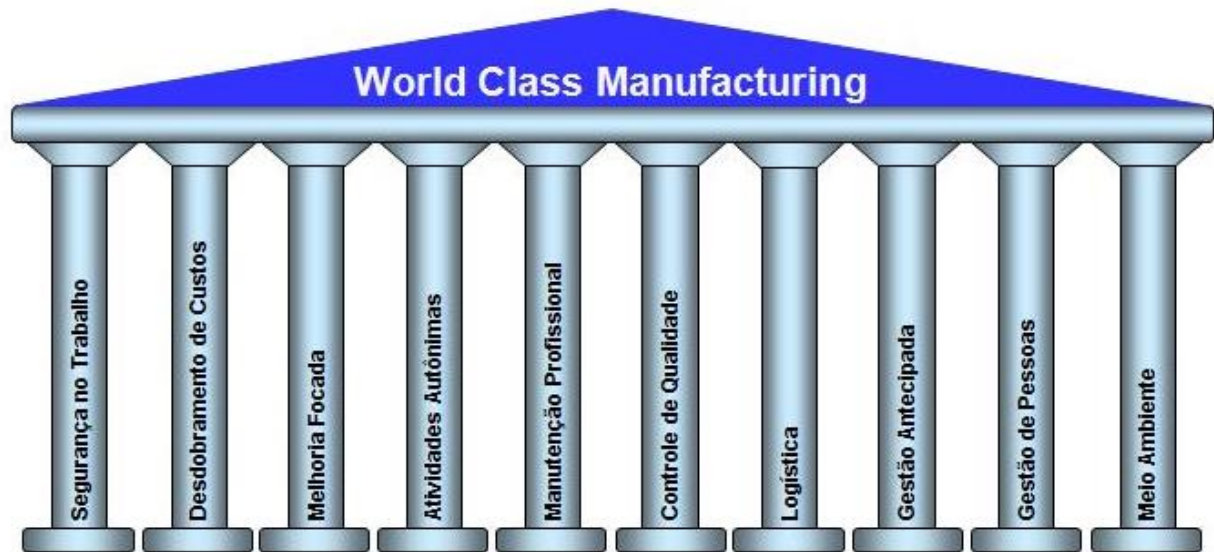
8. Não-utilização da criatividade dos funcionários (Perda intelectual): Perda de tempo, ideias, habilidades, melhorias e oportunidades de aprendizagem por não envolver ou não escutar as sugestões vindas dos colaboradores.

2.5 WCM (*World Class Manufacturing*)

Trata-se de um sistema integrado que busca a melhoria de processos e a garantia da qualidade, reduz custos e através de uma maior flexibilidade cumpre as expectativas do consumidor (POOR, KOCISKO e KREHEL, 2016).

O WCM é baseado em dez pilares. Os pilares referem-se à grupos interfuncionais cuja missão é sustentar a organização para alcançar seus objetivos. A Figura 8 a seguir ilustra cada um dos pilares desta metodologia:

Figura 8. Representação dos Pilares do WCM



Fonte: Matos (2014)

De acordo com Matos (2014), os dez pilares são, respectivamente:

- a) Segurança: melhoria do ambiente de trabalho e eliminação de condições propícias para a ocorrência de acidentes.
- b) Desdobramento de Custos: identificar e combater as causas de perdas e desperdícios no sistema produtivo e logístico.
- c) Melhoria Focada: atacar as perdas mais importantes do sistema produtivo. Aplicação de técnicas, instrumentos e métodos específicos para solucionar problemas de dificuldade crescente em relação à complexidade das causas;
- d) Atividades Autônomas: Facilitar as atividades, eliminando perdas e aumentando a produtividade.
- e) Manutenção Profissional: reduzir avarias, aumentar eficiência das máquinas e reduzir custo de manutenção.
- f) Controle de Qualidade: assegurar produtos que garantam a máxima satisfação dos clientes.
- g) Logística: produzir um fluxo eficiente, alinhando as variáveis envolvidas no processo e reduzindo o estoque e a possibilidade de danos aos produtos.
- h) Gestão Antecipada: manter equipamentos confiáveis e de fácil manutenção, diminuindo o custo de vida das máquinas.

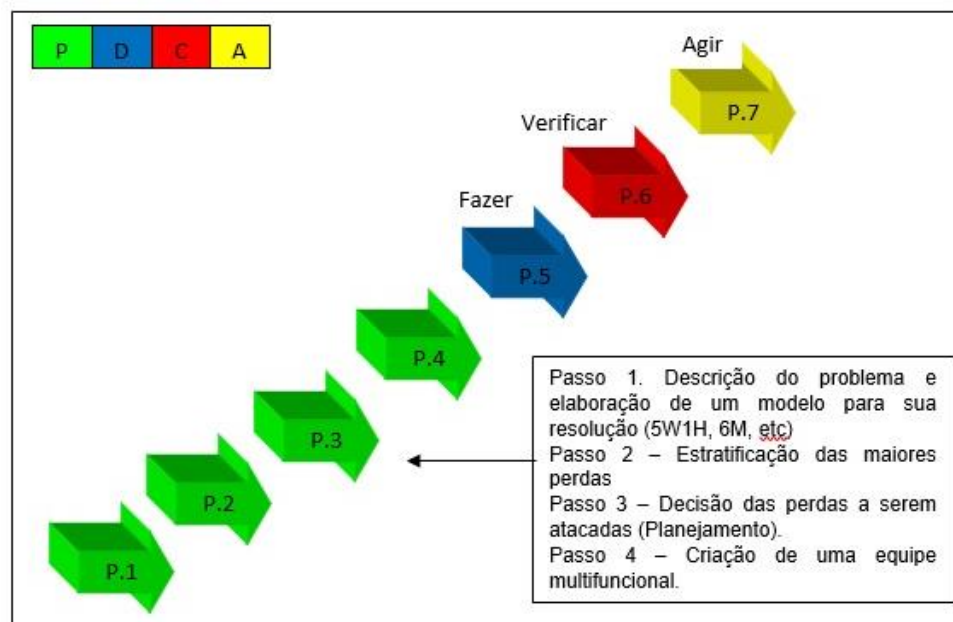
- i) Gestão de Pessoas: treinamento contínuo para qualificação de pessoal, desde operadores até Alta Direção da empresa.
- j) Meio Ambiente: usar corretamente os recursos naturais e materiais disponíveis na fábrica, evitando sempre o desperdício.

Segundo De Felice, Petrillo e Monfreda (2015), a abordagem do WCM se inicia numa área modelo e posteriormente estende-se à companhia toda. A abordagem dos problemas segue três passos:

1. Reação: uma vez verificado o problema, medidas corretivas são tomadas.
2. Prevenção: a repetição de um problema leva a tomada de ações corretivas para evitar que ele ocorra novamente.
3. Proatividade: ações são tomadas baseadas numa análise de riscos antes que possíveis problemas aconteçam, melhorando continuamente o processo.

Tal abordagem estende-se a todos os pilares. Na próxima Figura pode-se ver os sete passos do pilar de melhoria focada (*Focused Improvement*):

Figura 9. Os sete passos do pilar de melhoria focada

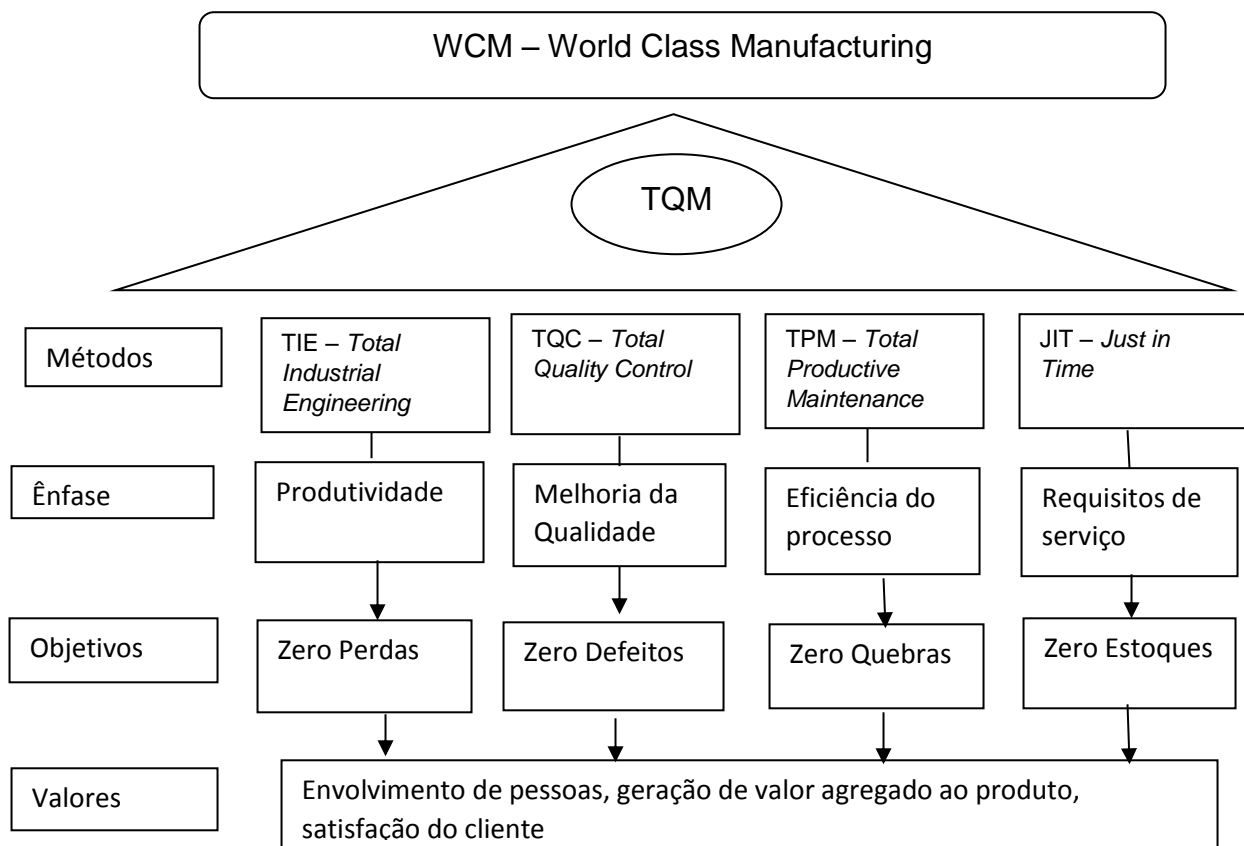


Fonte: Adaptado de *Business-Building Information* (2016)

Para a empresa em questão, o WCM é implementado através do WCOM (*World Class Operations Management*), que será abordado no próximo item (2.7).

Segundo De Felice, Petrillo e Monfreda (2015), o sistema WCM foi adotado na montadora italiana Fiat em 2005, e apresenta o fluxograma da Figura 10, de acordo com seus conceitos básicos citados anteriormente: Desde a introdução do conceito de WCM, houve uma evolução considerável dessa metodologia, fruto da influência do sucesso das técnicas de manufatura japonesas em meados de 1960. A Figura 11 mostra como o WCM incorporou em seu escopo tais técnicas, tornando-se dessa maneira uma metodologia completa e eficaz.

Figura 10. Fluxograma de implementação do *World Class Manufacturing*

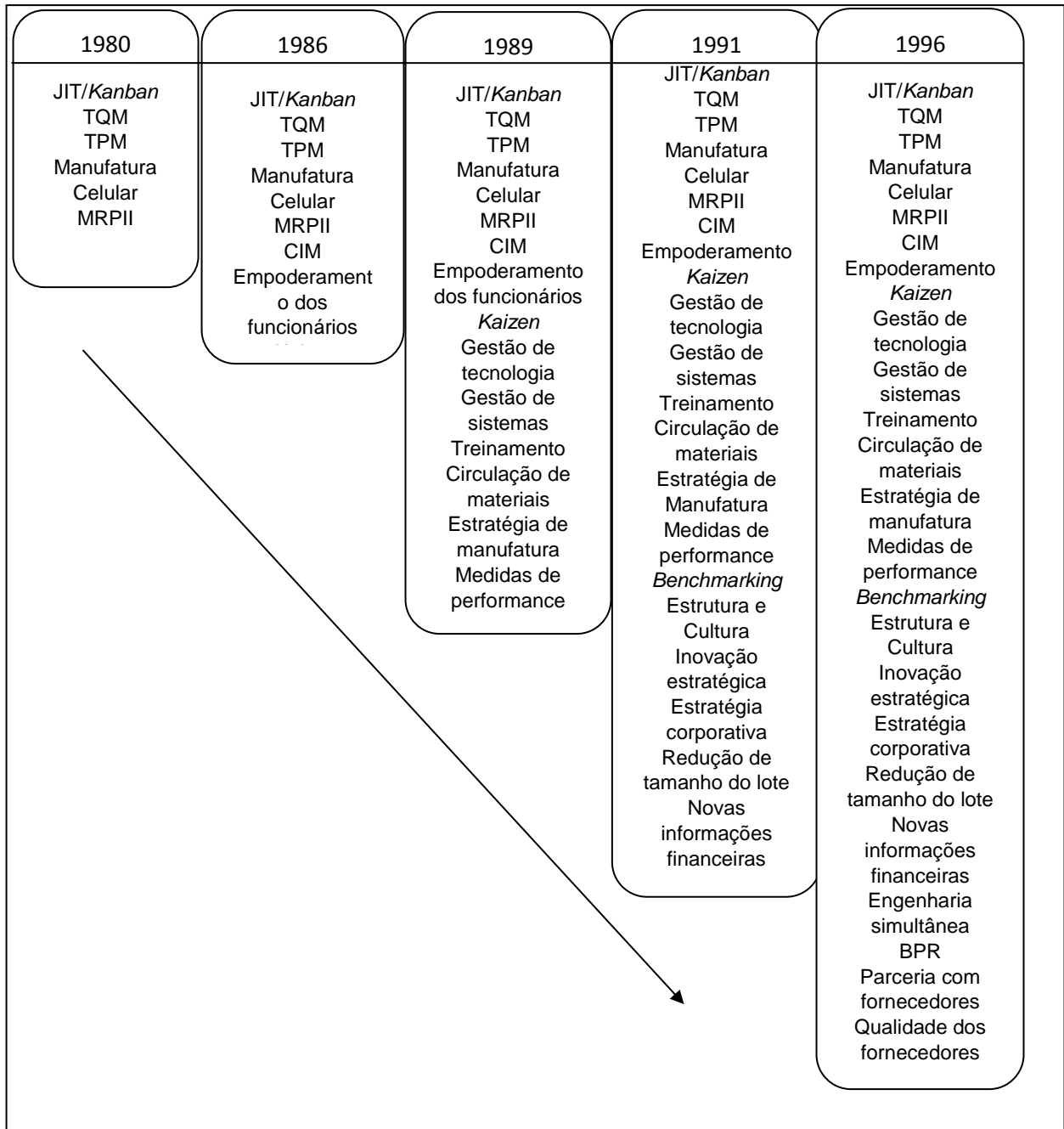


Fonte: Adaptado De Felice, Petrillo e Monfreda (2015).

Como apresentado na Figura anterior, o WCM une diferentes métodos desenvolvidos ao longo de décadas de evolução da gestão da produção (TIE, TQC, TPM

e JIT) com ênfases diferentes. O foco no cliente final e a eliminação de todos os possíveis desperdícios são características inerentes ao WCM.

Figura 11. Evolução do WCM



Fonte: Adaptado de De Felice, Petrillo e Monfreda (2015).

Como se pode observar da Figura anterior, o WCM une princípios oriundos de diferentes técnicas de gestão da produção para atingir um processo produtivo considerado ideal, ou seja, completamente otimizado e sem nenhum tipo de perda.

De acordo com Palucha (2012), o WCM adota 4 conceitos básicos em sua metodologia:

- *Total Quality Control (TQC)*
- *Total Productive Maintenance (TPM)*
- *Total Industrial Engineering (TIE)*
- *Just in Time (JIT)*

2.5.1 TQC (*Total Quality Control*)

O Controle de Qualidade Total pode ser definido como um Sistema de otimização da produção desenvolvido por industriais japoneses em meados de 1950. Tal sistema iniciou o conceito de círculos da qualidade, no qual grupos de 10 a 20 operadores eram responsáveis pela qualidade do produto pelo qual produziam.

Para Rocha (1995), o TQC tem como objetivo desenvolver a qualidade e mantê-la em padrões elevados. Nesse sentido, os círculos de qualidade são grupos nos quais são discutidos os problemas encontrados, métodos adotados, possíveis modificações em máquinas e outros tópicos relacionados às atividades do grupo.

Segundo Falconi (1992), manter sob controle é “saber localizar o problema, analisar o processo, padronizar e estabelecer itens de controle de tal forma que o problema nunca mais ocorra”. Sendo assim, algumas das principais características do TQC são, (VIDAL, 2006):

- Participação de todos os setores da empresa e de todos os empregados no estudo e na condução do controle da qualidade;
- Buscar sempre a melhoria contínua: identificando os problemas, suas causas e atuando para eliminá-las;
- Falar, raciocinar e decidir sempre com base em dados e fatos comprovados e não com base na intuição ou coragem;
- Buscar a motivação dos funcionários através de programas de desenvolvimento.

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

Para Slack *et al* (1999), o TPM visa eliminar a variabilidade em processos de produção, a qual é causada pelo efeito de quebras. Isto é alcançado através do envolvimento de todos os funcionários na busca de aprimoramentos na manutenção.

O TPM cria uma cultura onde os operadores desenvolvem o sentimento de posse dos seus equipamentos, em parceria com as funções de Manutenção e Engenharia. Além disso, tal ferramenta possibilita que os sistemas produtivos operem sempre de maneira eficaz e adequada (SILVA, 2008).

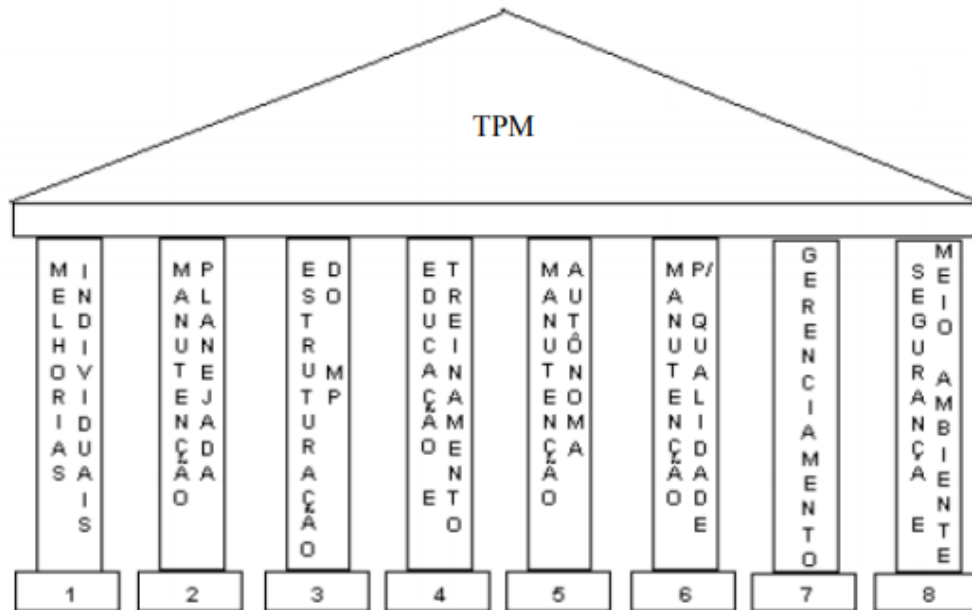
De acordo com Bom e Kee (2015), “ o TPM utiliza como métrica o OEE (*Overall Equipment Efficiency* – Eficiência Global dos Equipamentos) para medir eficiência ou produtividade do equipamento. Embora existam variações no cálculo, a maioria leva em consideração disponibilidade, performance e qualidade “. Ao multiplicar-se os três indicadores, obtêm-se o OEE da máquina. Tal parâmetro pode ser visto como uma medida de quanto a máquina produz versus quanto ela poderia produzir (DONADEL, 2008).

As cinco metas do TPM são (SLACK *et al*, 1999):

1. Melhorar a eficácia dos equipamentos.
2. Realizar manutenção autônoma
3. Planejar a manutenção
4. Treinar todo o pessoal em habilidades de manutenção relevantes
5. Conseguir gerir os equipamentos logo no início

Existem também os oito pilares do TPM, apresentados na Figura 12 a seguir:

Figura 12. Representação dos pilares do TPM



Fonte: Camargo (2012)

Pode-se concluir da Figura anterior que a maioria dos pilares do WCM se originou do TPM. O WCM adicionou dois novos pilares aos já existentes no TPM: Logística, para otimização do fluxo de materiais, e Desdobramento de Custos, para o melhor aproveitamento possível dos recursos financeiros da companhia.

2.5.3 TIE (*Total Industrial Engineering* – Engenharia Industrial Total)

De acordo com Borges *et al apud* Paddock (2014), o TIE pode ser definido como:

“é uma abordagem integrada dos problemas da produção, buscando a melhoria contínua dos processos produtivos e a eliminação de todas as formas de desperdício através do envolvimento das pessoas que compõem a fábrica. Os aspectos essenciais são, a redução do tempo e o uso de um sistema à prova de erros para aumentar a confiabilidade dos equipamentos, o TIE visa o zero desperdício precisando de um programa mais justo para reduzir os estoques evitando a obsolescência.”

Dessa forma, pode-se dizer que o TIE está intimamente ligado aos princípios do Sistema Toyota de Produção, que busca a melhoria dos processos e a redução de perdas ao longo da cadeia produtiva.

2.5.4 JIT (*Just in Time*)

Para Rocha (1995), “ o JIT nasceu no Japão, [...] na busca da racionalização do trabalho. Seu objetivo está centralizado na eliminação do desperdício, entendendo-se como desperdício tudo aquilo que não acrescenta valor ao produto. ” Dessa forma, estoques, que custam dinheiro e ocupam espaço, transporte interno, paradas intermediárias, refugos e retrabalhos são formas de desperdício e conseqüentemente devem ser eliminadas ou reduzidas ao máximo (MARTINS e LAUGENI, 2001).

Just in Time, que significa “no tempo justo”, exige do administrador o abastecimento ou desabastecimento da produção no tempo certo, no lugar certo e na quantidade certa (ROCHA, 1995).

Em outras palavras, trata-se de um método que busca otimizar a gestão do tempo ao longo da cadeia produtiva existente na fábrica, tendo como característica essencial a eliminação de estoque.

2.6 WCOM (*World Class Operations Management – Gestão de Operação Classe Mundial*)

Trata-se de uma metodologia interna da empresa, desenvolvida a partir do *know how* do TPM, *Lean Manufacturing* e Seis Sigma² (DONADEL, 2008). Propõe-se o aumento da produtividade, redução de refugo, controle e redução de despesas, bem como proporcionar a entrega de produtos de qualidade, respeitando os prazos e quantidades estabelecidas. Entretanto, o WCOM possui somente nove pilares, um a menos que o WCM.

O pilar faltante é o de desdobramento de custos, que de certa forma está incorporado em ações desenvolvidas por outros pilares, como o de melhoria focada. A unidade fabril em estudo também não apresenta o pilar de Gestão Antecipada, ainda em fase de estudo.

Entre as principais questões abordadas pelo WCOM, estão:

² Seis Sigma (Six Sigma em inglês) refere-se a uma rigorosa e altamente eficaz implementação de princípios e técnicas de qualidade comprovada, objetivo uma performance industrial com erro zero (PYZDEK, 2014).

- Redução de tempo de setup;
- Baixa velocidade do processo;
- Tempo de regulagem de máquina;
- Defeitos do Processo;
- Quebras de máquina;
- Redução do rendimento;

No contexto do WCOM, os pilares são agentes de mudança que têm por objetivo reduzir perdas e adotar novas medidas visando a conquista dos objetivos da empresa. Funcionam baseados num plano de ação que se desdobra em grupos interfuncionais, onde cada membro possui uma responsabilidade.

O presente trabalho apresenta o pilar de melhoria focada como base de sua metodologia. As medidas empregadas na resolução do problema apresentado basearam-se na sequência dos sete passos presentes no pilar mencionado, e foram implementadas levando em consideração as ferramentas de gestão e qualidade anteriormente mencionadas.

3. METODOLOGIA

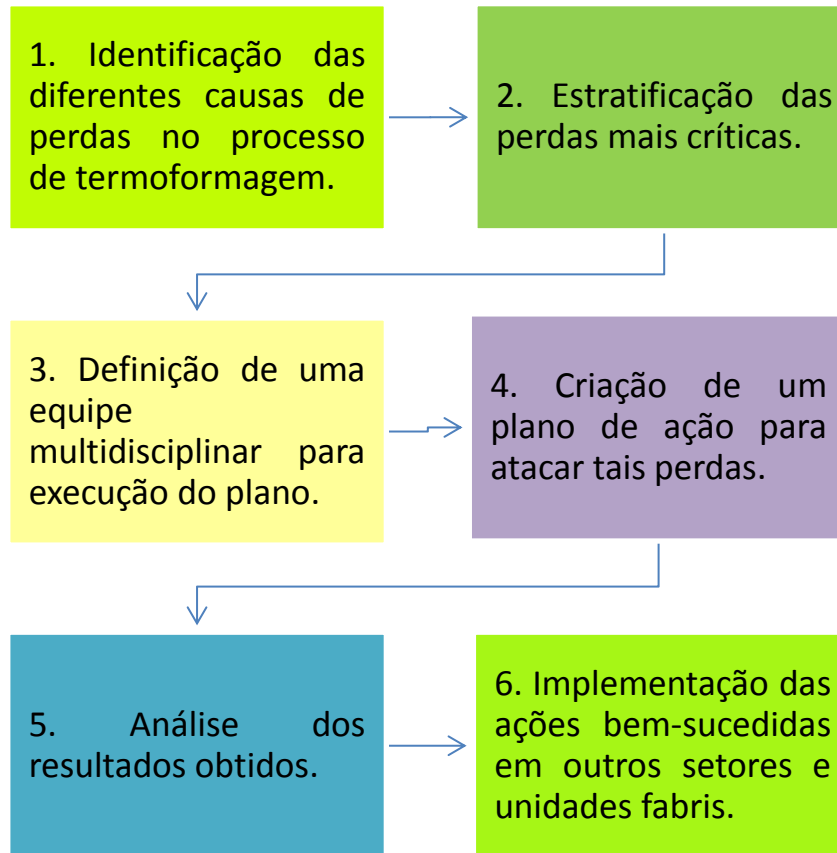
No presente estudo de caso, o setor de termoformagem da empresa foi estudado de janeiro a novembro de 2017. A análise foi realizada de forma a comparar situações anteriores e posteriores, de modo a verificar se as sugestões de melhoria surtiram efeito ou não.

Os dados foram coletados pelo autor, a partir das atividades desenvolvidas por uma indústria de fabricação de embalagens plásticas, situada na região metropolitana de Curitiba-PR. A metodologia utilizada foi baseada no pilar de **melhoria focada**, pois trata-se da estratégia utilizada pela empresa para solução de problemas. Esse pilar possui uma sequência de etapas que compõem o ciclo PDCA, e neste trabalho essas etapas são definidas na seguinte ordem:

1. Identificação das perdas sobre as quais intervir (inclui quebras, erros de apontamentos, retomada de máquina etc.).
2. Estratificação as perdas, de acordo com a quantidade de material que deixa de ser aproveitado no processo de termoformagem, bem como o grupo de máquinas que perde mais material.
3. Criação de uma equipe multidisciplinar com funcionários de diferentes níveis hierárquicos e atribuições, para realizar as ações previstas no planejamento referido anteriormente. O grupo foi definido pelos gestores do setor de Termoformagem e Engenharia de Processos, após a coleta de informações.
4. Elaboração de um plano de ação (redução de tempo de retomada, maior frequência de realização da manutenção preventiva, treinamento de operadores etc.) para atacar tais desperdícios. O plano possuirá como foco principal: qual redução de perda gerará maior benefício financeiro para a organização?
5. Verificação dos resultados obtidos e análise do custo-benefício para a empresa.
6. Expansão das ações bem-sucedidas para outros grupos de máquinas e outras filiais da empresa, se possível.

O fluxograma das ações é mostrado na Figura 13 a seguir.

Figura 13. Fluxograma das etapas do trabalho.



Fonte: Autoria própria

O autor participou ativamente da identificação e estratificação das perdas mais críticas do setor de termoformagem, bem como das reuniões de equipe para a elaboração do plano de ação. A aplicação das ações no processo produtivo e a análise da eficácia das mesmas também foi realizado pelo autor, com base em sua rotina diária de atividades na empresa.

Para entender as principais razões do alto índice de refugos, foram realizadas reuniões com a presença dos técnicos de produção e do supervisor do setor de termoformagem, analistas de processos e inspetores de qualidade. Para identificação das perdas e definição das prioridades que deveriam ser analisadas, utilizou-se como base a metodologia WCOM descrita anteriormente. Entretanto, a decisão final sobre as etapas a serem implementadas no planejamento de redução de perdas foi definida pelos

supervisores dos setores de Termoformagem e Engenharia de Processos. Isso ocorreu devido à grande experiência de tais gestores em projetos de melhoria de processos e diminuição de desperdícios ao longo da cadeia produtiva.

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Para entender o problema do alto índice de perdas, foram coletadas e analisadas informações referentes ao setor de termoformagem para realizar uma pré-análise da situação geral do setor. Tais dados foram obtidos junto à empresa, por meio de um sistema informatizado, no qual as informações referentes à produção são inseridas pelos operadores de máquina e posteriormente validadas e integradas pelos técnicos de produção e supervisores. Os apontamentos de produção são realizados por meio de computadores localizados ao lado das máquinas e, a responsabilidade de inserir corretamente as informações é do operador. A partir desses dados é possível gerar variados relatórios, dentre os quais os principais são:

- Apontamentos de horas trabalhadas e paradas das máquinas termoformadoras;
- Apontamentos de Aparas e Sucatas;
- Eficiência Global dos Equipamentos (OEE) do setor e de cada máquina;
- Controle de Produção Diária, que contém as informações referentes a quantidade de produtos produzida por máquina, em kg, e a quantidade total de refugos, em kg também.

Com tais informações foi possível identificar a origem das perdas mais críticas e elaborar as medidas necessárias para reduzi-las, bem como obter um quadro geral do setor referente aos refugos gerados.

No setor de Termoformagem, a meta de perda para o ano de 2017 é de 2,20 %. Entretanto, como se pode observar na Tabela 2 a seguir, o setor apresentou dificuldades para atingi-la durante os primeiros sete meses do ano. O cálculo do percentual de perda seguiu a equação 3 apresentada na seção 2.1.3:

Tabela 2. Acumulado de Produção e Refugo das Termoformadoras, Janeiro a Julho

Máquina	Volume Produzido (Kg)	Aparas (Kg)	Sucatas (Kg)	% Perda
302	35270,31	2507,57	83,09	6,84%
303	77511,69	2947,57	141,94	3,83%
304	56593,96	2306,92	97,49	4,08%
305	46109,43	2385,28	108,75	5,13%
306	45467,68	2652,57	118,52	5,74%
308	87147,79	3229,97	98,01	3,68%
309	108378,37	3174,57	98,01	2,93%

Máquina	Volume Produzido (Kg)	Aparas (Kg)	Sucatas (Kg)	% Perda
310	13713,83	624,99	51,62	4,70%
315	3437,6	138,66	25,66	4,56%
318	19635,29	787,52	28,49	3,99%
321	75825,64	3338,28	408,94	4,71%
322	22173,04	1106,77	164,77	5,42%
323	271300,2	7212,73	501,54	2,76%
324	271594,13	6306,88	457,54	2,43%
325	234245,07	6009,21	802,89	2,83%
326	267267,86	6291,38	599,93	2,51%
328	3574,86	290,3	145,9	10,87%
327	492749,47	3261,85	500,97	0,76%
329	125859,23	3475,22	874,38	3,34%
330	341413,39	27617,1	1456,82	7,85%
Total	2599268,84	85665,35	6765,26	3,43%

Fonte: Autoria Própria

O setor como um todo apresentou uma perda muito acima de meta de 2,20% estabelecida pela gerência da companhia. É necessário, entretanto, verificar se existe alguma máquina ou grupo de máquinas específico que está prejudicando o setor ou se o problema existe na maioria das termoformadoras.

A Tabela 3 a seguir indica a perda percentual de cada máquina apresentada anteriormente juntamente com a sua meta estabelecida para o ano de 2017.

Tabela 3. Percentual de Perda das Termoformadoras – Real x Meta

Máquina	Perda Real (%)	Meta Perda (%)	Diferença (%)
302	6,84%	2,79%	-4,05%
303	3,83%	2,32%	-1,51%
304	4,08%	2,67%	-1,41%
305	5,13%	4,10%	-1,03%
306	5,74%	4,04%	-1,70%
308	3,68%	2,73%	-0,95%
309	2,93%	2,42%	-0,51%
318	3,99%	3,28%	-0,71%
321	4,71%	3,15%	-1,56%
322	5,42%	3,29%	-2,13%
323	2,76%	1,92%	-0,84%
324	2,43%	1,53%	-0,90%
325	2,83%	2,16%	-0,67%
326	2,51%	1,93%	-0,58%
328	10,87%	3,78%	-7,09%
327	0,76%	0,77%	0,01%

Máquina	Perda Real (%)	Meta Perda (%)	Diferença
329	3,34%	3,00%	-0,34%
330	7,85%	2,16%	-5,69%

Fonte: Aatoria Própria

A Tabela anterior indica claramente que quase todas as máquinas do setor estão gerando uma quantidade de perdas maior que o limite estabelecido, impactando negativamente a empresa. Dessa forma, torna-se necessário a elaboração de um plano de ação com medidas que englobem todas as termoformadoras da planta industrial da empresa, abrangendo o processo de termoformagem como um todo. Não se pode restringir tais ações somente a um grupo de máquinas específico.

De posse de todos os dados, se passou à solução do problema estudado. Dessa forma, os seguintes itens são dedicados a entender, planejar e solucionar o alto índice de perdas previamente identificado:

- Redução de perdas por não-conformidades (cartões vermelhos);
- Controle da eficiência dos moldes das máquinas termoformadoras;
- Controle do peso dos produtos finais da termoformagem;
- Verificação do peso real de aparas e sucatas do setor;
- Separação dos refugos de acordo com as diferentes formulações de material plástico existentes na termoformagem.
- Estudo sobre as perdas de material por retomada de máquina e o impacto na disponibilidade de horas de produção, bem como os impactos financeiros decorrentes do mesmo.

Até aqui, resume-se a decisão tomada para resolver o problema das perdas. A partir da próxima seção, será realizada uma abordagem dos itens anteriormente mencionados com relação à sua eficácia na solução do problema, bem como possíveis benefícios financeiros para a empresa.

4.1 REDUÇÃO DE PERDAS POR NÃO-CONFORMIDADES (Cartões Vermelhos)

A empresa apresenta um indicador chamado de “cartão vermelho”, apresentado no momento em que se identifica alguma não-conformidade no item produzido. Tal inspeção é realizada pelo setor de Qualidade por meio de amostragem em todos os setores

produtivos da fábrica. Cada cartão vermelho deve ser preenchido com informações referentes ao número do lote, turno, setor produtivo, máquina e defeito ou não-conformidade identificada.

Esse indicador é quantificado para todos os setores produtivos da fábrica, com vistas a obter um controle melhor dos defeitos encontrados para assim identificar mais facilmente as causas raízes dos problemas

Conforme mencionado anteriormente no referencial teórico, o processo anterior à termoformagem é a extrusão. Dessa forma, é essencial que a qualidade da chapa ou filme plástico extrudado seja a melhor possível, sob pena de prejudicar o produto final da termoformagem.

Uma das reclamações mais comuns entre os operadores das termoformadoras era a má qualidade das chapas vindas da extrusão. Problemas como rugas, deformação no laminado e emendas na bobina (na qual é identificado um defeito na chapa e a área onde o mesmo foi encontrado é retirada) eram identificados com frequência, sendo que em caso de não-conformidade a chapa é retirada do processo imediatamente.

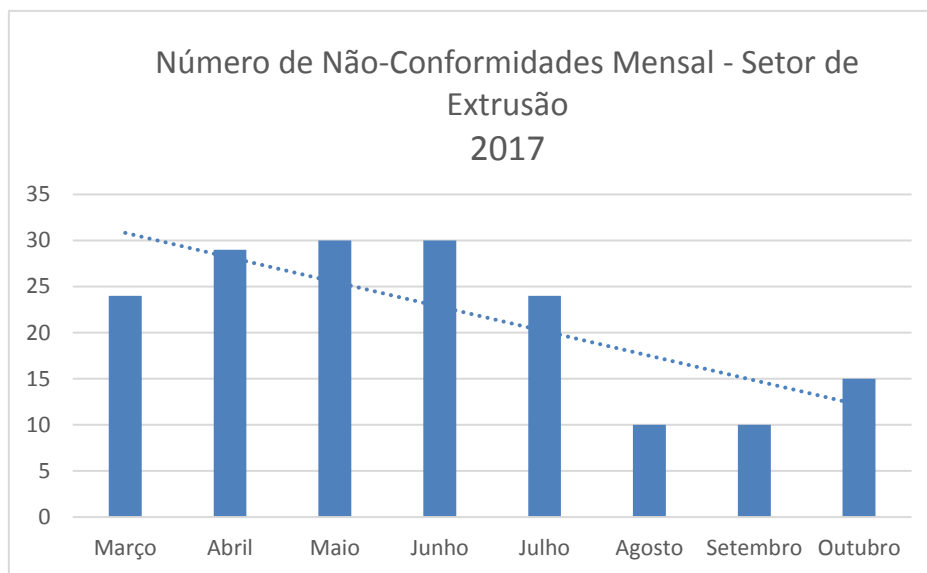
A partir das reuniões mencionadas anteriormente, com base nas ferramentas 5W2H e no ciclo PDCA, foram elaboradas várias ações para melhoria da qualidade das chapas, dentre as quais se destacam:

- Criação de cronogramas de manutenção preventiva para determinadas partes das máquinas extrusoras, como mancais e bombas de vácuo.
- Criação de novas Instruções de Trabalho Padronizadas (ITPs) com o objetivo de auxiliar os operadores do setor com relação a regulagens de máquina;
- Reunião com fornecedores para compra de equipamentos que auxiliem no controle do processo de extrusão (por exemplo, na espessura da chapa, medida manualmente pelo operador até então).
- Revisão das fichas de processos do setor.

As reuniões tiveram início no mês de novembro de 2016, porém a implementação das ações começou nos meses de junho e julho deste ano. Uma comparação dos números de não-conformidades encontradas nas chapas plásticas vindas da extrusão durante o

ano de 2017 está apresentada na Figura 14 a seguir, para os meses anteriores e posteriores às ações anteriormente mencionadas:

Figura 14. Não-conformidades no setor de extrusão em 2017

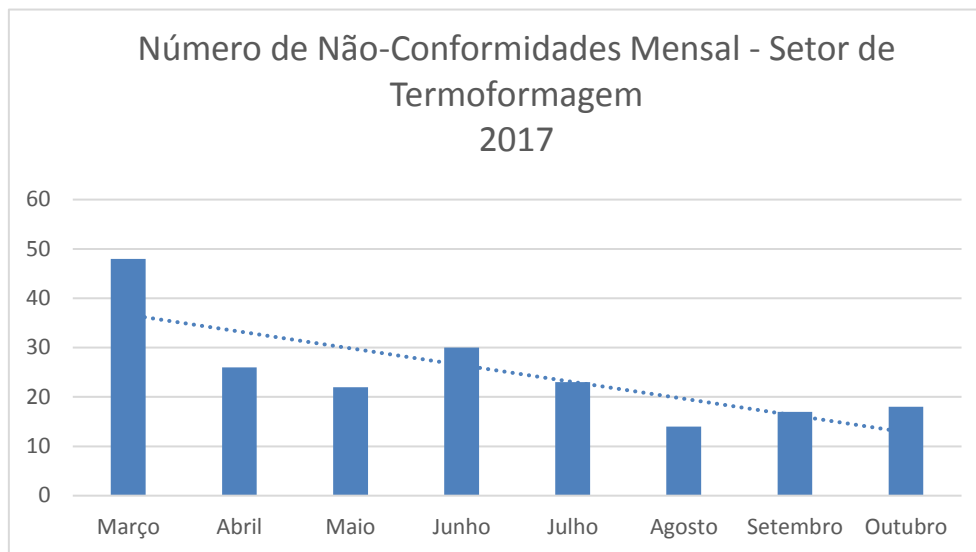


Fonte: Autoria própria

Dessa forma, observa-se uma diminuição significativa das não-conformidades encontradas nas chapas, como indicada pela linha de tendência do gráfico acima.

Como consequência, houve uma redução nas não-conformidades (cartões vermelhos) encontradas no setor de termoformagem, indicada pela Figura 15 a seguir:

Figura 15. Não-conformidades no setor de termoformagem

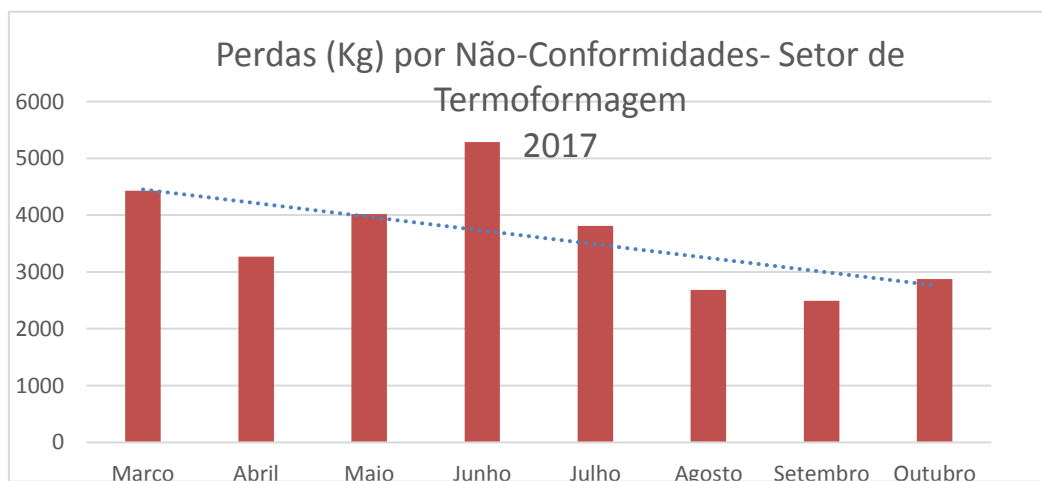


Fonte: Autoria própria

A redução de não-conformidades no processo anterior à termoformagem (extrusão) resultou diretamente na diminuição de defeitos do setor todo, reduzindo as perdas por qualidade insatisfatória.

A Figura 16 a seguir ilustra a redução de perdas em quilogramas de material não-conforme ao longo dos meses de março a outubro do ano de 2017:

Figura 16. Perdas em kg decorrentes de não-conformidades no setor de termoformagem em 2017



Fonte: Autoria própria

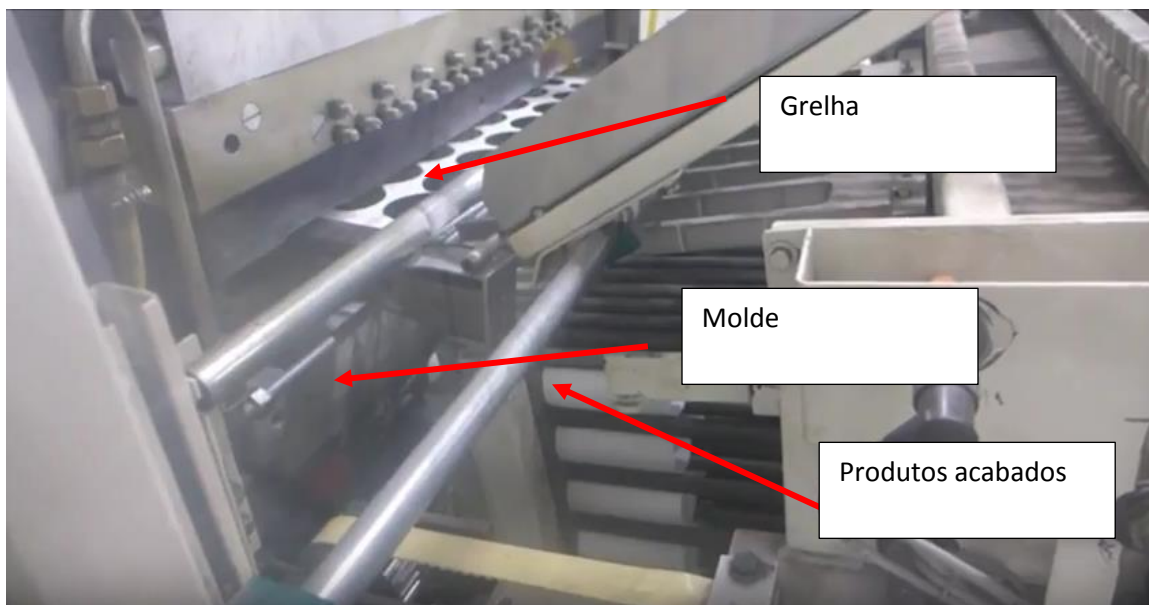
A perda em kg por qualidade insatisfatória foi de aproximadamente 8 toneladas nos meses de agosto, setembro e outubro juntos. Nos três meses anteriores (maio, junho e julho), esse tipo de perda foi de cerca de 13 toneladas. Em outras palavras, houve uma redução de quase 40% após a implementação das ações no setor de extrusão.

4.2 CONTROLE DA EFICIÊNCIA DOS MOLDES DAS MÁQUINAS TERMOFORMADORAS

Os moldes são uma peça-chave no processo de termoformagem, pois irão dar a forma final ao produto do processo. Entretanto, podem afetar negativamente o processo de termoformagem em caso de falta de limpeza, manutenção inadequada ou cavidades descentralizadas.

Ao final da termoformagem, obtêm-se dois subprodutos: o produto final e a chapa plástica com “vazios” ou “furos”, os quais representam a área na qual a chapa foi pressionada contra as cavidades do molde para dar forma ao produto final, que ao ser extraído causa o aparecimento de tais regiões. A essa chapa já processada e com regiões vazias é dado o nome de grelha. A Figura 17 exemplifica de maneira clara a explicação acima:

Figura 17. Ilustração de uma máquina termoformadora



Fonte: Autoria própria

Para o escopo deste trabalho, porém, o foco principal dos moldes será o seu aproveitamento da matéria-prima, que seriam as chapas plásticas extrudadas. No balanço de massa do processo, as entradas e saídas devem sempre ser iguais. Dessa forma, para uma chapa de 10 kg e um aproveitamento de molde de 60%, deve-se obter 6 kg de produtos finais e 4 kg de sucatas e/ou reprocesso.

Esse aproveitamento será chamado de eficiência do molde, e seu cálculo é feito pela equação 4 a seguir:

$$Eficiência (\%) = \frac{Peso\ Chapa(Kg) - Peso\ Grelha\ (Kg)}{Peso\ Chapa\ (Kg)} \quad (IV)$$

Os resultados obtidos com esse controle estão representados na Tabela 4 a seguir:

Tabela 4. Eficiência dos moldes da termoformagem

Data	Máquina	Peso Grelha (Kg)	Peso Chapa (Kg)	% Aproveitamento	% Eficiência Teórica do Bloco	% Diferença
27/06/2017	332	0,342	0,982	65,17%	67,70%	-2,53%
14/07/2017	306	0,364	0,69	47,25%	49,00%	-1,75%
11/08/2017	306	0,24	0,428	43,93%	49,00%	-5,07%
25/08/2017	324	1,092	2,424	54,95%	55,00%	-0,05%
29/08/2017	332	0,468	1,274	63,27%	67,70%	-4,43%
29/08/2017	326	1,6	3,5	54,29%	58,00%	-3,71%
30/08/2017	304	0,192	0,504	61,90%	67,20%	-5,30%
31/08/2017	308	0,282	0,682	58,65%	70,00%	-11,35%
05/09/2017	305	0,206	0,47	56,17%	50,00%	6,17%
14/09/2017	333	0,67	1,52	55,92%	51,00%	4,92%
15/09/2017	330	1,104	2,88	61,67%	59,00%	2,67%
19/09/2017	306	0,438	0,83	47,23%	49,00%	-1,77%
25/09/2017	318	0,142	0,338	57,99%	66,66%	-8,67%
03/10/2017	330	0,5	1,3	61,54%	59,00%	2,54%
03/10/2017	326	0,5	1,2	58,33%	58,00%	0,33%
05/10/2017	303	0,13	0,332	60,84%	67,20%	-6,36%
05/10/2017	305	0,3	0,7	57,14%	60,00%	-2,86%
10/10/2017	304	0,316	0,826	61,74%	67,20%	-5,46%
10/10/2017	305	0,196	0,437	55,15%	50,00%	5,15%
18/10/2017	327	0,47	1,33	64,66%	60,27%	4,39%

Fonte: Autoria Própria

A média de aproveitamento de material pelos blocos das diferentes máquinas termoformadoras indicadas acima é 1,66% menor da eficiência teórica utilizada nos cálculos de controle de inventário e balanço de massa da empresa. Conclui-se que existe uma perda de material não contabilizada que gera divergências e prejuízo financeiro à companhia, o que constitui um dos oito tipos de perdas abordadas pela Manufatura Enxuta (processamento incorreto).

Uma boa estimativa para a média de peso de uma bobina plástica utilizada na termoformagem é 800 kg. Se o molde da máquina termoformadora aproveita em média 1,66% de material a menos, cada máquina perde 13,28 kg a mais do que teoricamente deveria.

O preço da resina de polipropileno que a empresa utiliza para o processo de extrusão é de 5 reais o quilo. Para uma bobina de 800 kg, o prejuízo financeiro à empresa é de mais de R\$ 65,00 por bobina. Considerando que o setor de termoformagem utiliza aproximadamente 6500 toneladas de chapa plástica por ano, a perda é de 107,9 tonelada anuais, o que equivale a um prejuízo significativo de R\$ 539500,00 anuais.

4.3 CONTROLE DO PESO DOS PRODUTOS FINAIS DA TERMOFORMAGEM

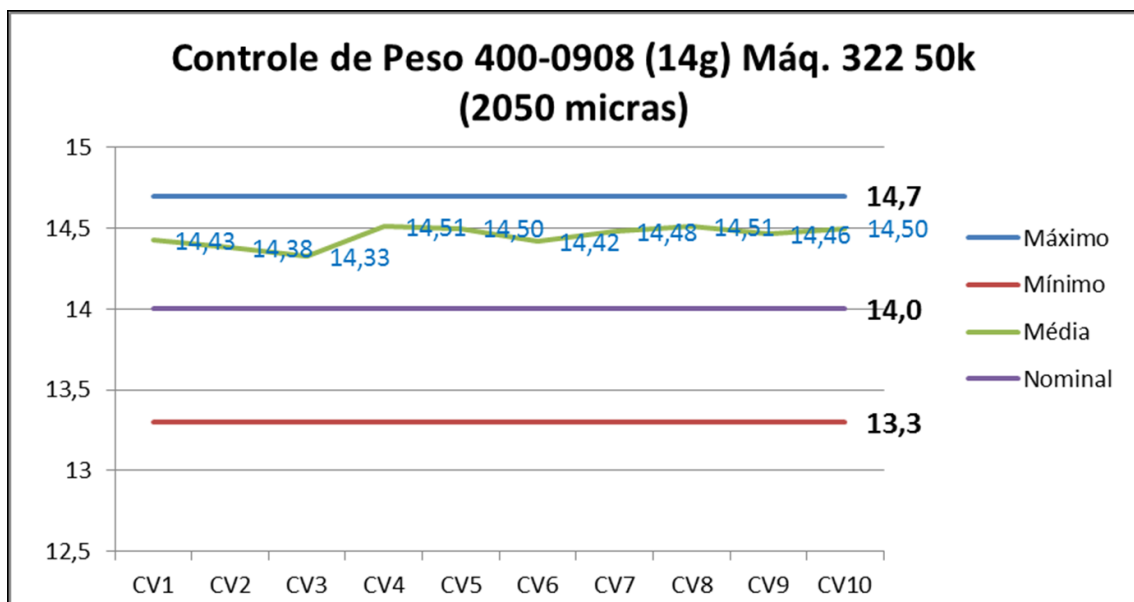
As embalagens plásticas produzidas pela empresa são enviadas a diversas indústrias do ramo alimentício. Por essa razão, é importante que exista um controle rigoroso da produção para que os produtos atendam aos requisitos especificados pelo cliente final, sob pena de existir devolução e prejuízo à empresa em caso de não-conformidades.

Uma das restrições mais importantes ao longo do processo de termoformagem é a do peso do produto. Para otimização da utilização da matéria-prima, deve-se trabalhar sempre o mais próximo possível do peso nominal. Produtos com peso acima dessa especificação indicam um **overusage** (sobreutilização) de material durante o processo, o que aumenta os custos com matéria-prima e pode gerar dificuldades no armazenamento e estocagem posteriores. Isso porque os itens são armazenados em caixas de papelão, que são posicionadas posteriormente em *pallets* dimensionados para um peso máximo calculado com base no peso nominal dos itens. Além disso, excesso de matéria-prima é

considerado um dos oito principais tipos de desperdícios no *Lean Manufacturing* (Manufatura Enxuta), devendo dessa forma ser mitigado.

Considerando o exposto acima, decidiu-se realizar na fábrica um projeto de verificação do peso de um dos potes produzidos pelas termoformadoras. A especificação nominal de peso do pote é de 14 gramas, porém observou-se que o mesmo estava sendo produzido com peso real significativamente maior e muito próximo do limite máximo especificado (14,7 g). As medições mostradas na Figura 18 a seguir foram realizadas entre junho de 2016 e março de 2017 por funcionários dos setores da Qualidade e Engenharia de Processos e utilizou-se o CEP (Controle Estatístico de Processo) na obtenção da média das medições para cada uma das cavidades do molde da máquina é apresentada.

Figura 18 – Controle de peso do pote 400-0908

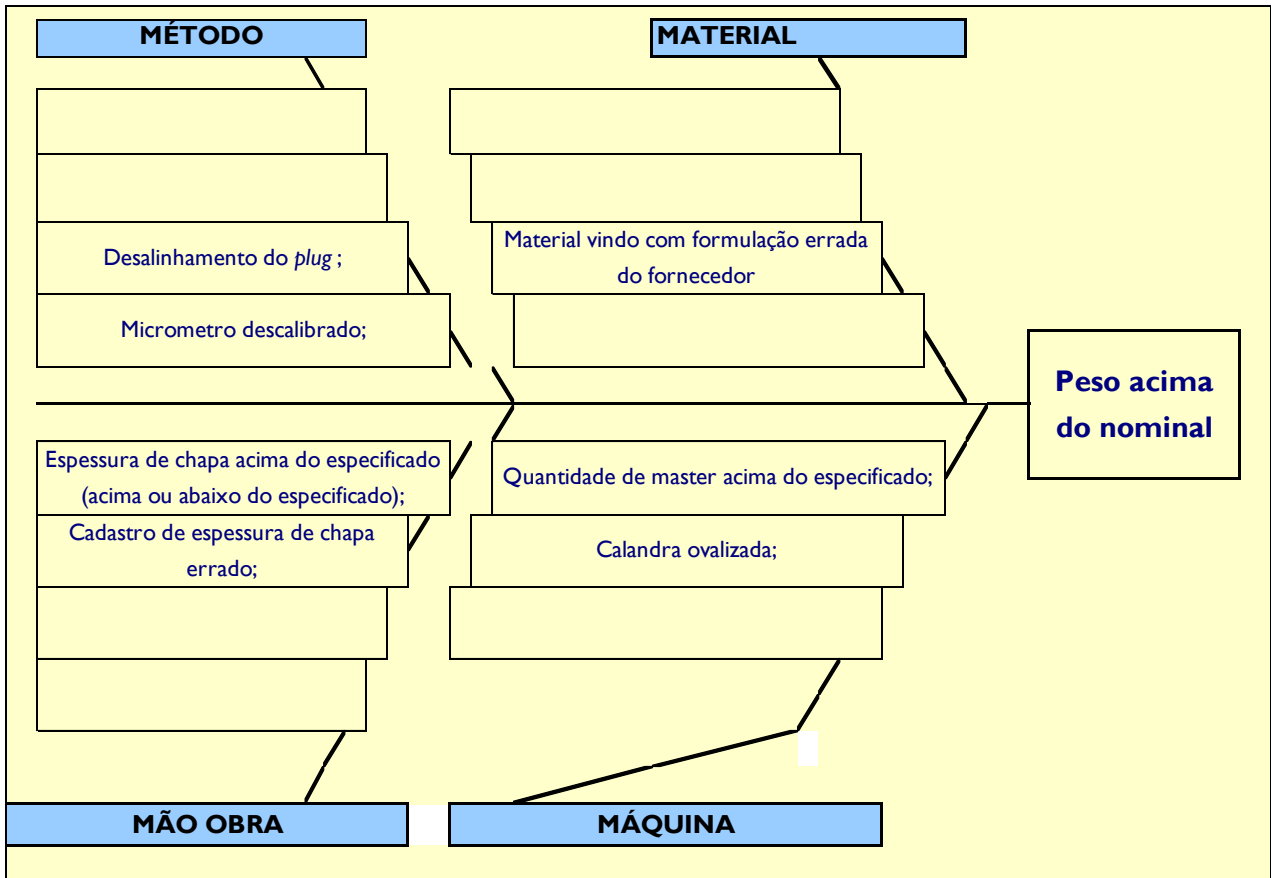


Fonte: Autoria própria

Durante o período analisado pode-se observar que o pote vinha sendo produzido com cerca de 0,5 grama acima de seu peso nominal, o que representa um excesso de peso de 3,57 %. Dessa forma, procurou-se entender quais poderiam ser as causas raízes do problema observado e o que fazer para mitigá-lo.

Para essa análise, foi utilizado um diagrama de Ishikawa simplificado, o qual é mostrado na Figura 19 a seguir:

Figura 19. Diagrama de Ishikawa simplificado para análise de causa-raiz do sobrepeso do pote 400-0908.



Fonte: Autoria própria

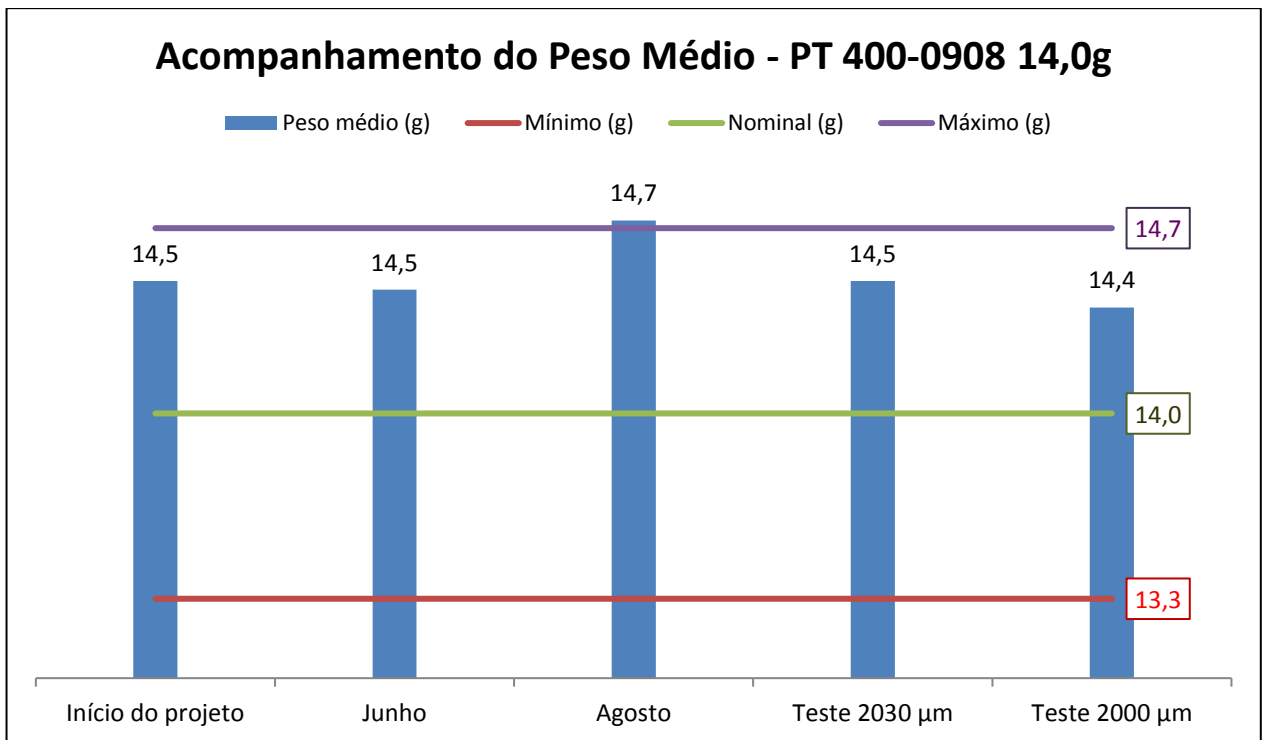
Algumas observações importantes a respeito da imagem:

- Master é o nome dado a uma resina plástica fabricada especialmente para dar coloração a chapa plástica extrudada. Cada chapa plástica produzida na extrusão possui um percentual específico de máster em sua fórmula, que deve ser seguido à risca pelos operadores. Entretanto, é possível que existam erros durante a dosagem correta do máster na extrusão, causados por problemas no dosador da extrusora.
- O desalinhamento do *plug* ocorre quando essa peça, responsável por empurrar o material aquecido para dentro das cavidades do molde, torna-se descentralizada e acaba levando mais material para o molde durante o processo, gerando produtos com peso real maior que o especificado.

- Calandra é o nome dado aos rolos da máquina extrusora responsáveis por resfriar e comprimir o material que sai da matriz nas dimensões especificadas. Em caso de ovalização, a chapa é produzida com uma espessura maior que a ideal, gerando dificuldades posteriores na termoformagem.

O plano de ação para atacar as causas raízes foi elaborado, porém devido a limitação de tempo de duração dos projetos na empresa só foi possível colocar uma única ação em prática: a redução de espessura das chapas utilizadas na termoformagem do pote estudado. Antes do início do projeto, utilizava-se chapas com 2050 micras de espessura na produção. Decidiu-se testar a produção com chapas de 2030 e 2000 micras de espessura para verificar a redução no peso final do pote. O resultado está apresentado na Figura 20 a seguir:

Figura 20. Acompanhamento de peso médio – Pote 400-0908



Fonte: Autoria própria

Observa-se que, embora exista uma redução do peso com a utilização de chapas com espessura menor, deve-se pensar em outra hipótese para que se obtenha o peso nominal especificado. Os resultados iniciais dos testes se mostraram promissores, porém, devido a restrições de tempo dos setores da companhia, o projeto de **overusage** de peso

será retomado apenas no ano de 2018. Pretende-se abordar outras ações para mitigar o problema, envolvendo desde possíveis alterações na ficha de processo, bem como a realização de manutenção preventiva no molde da máquina e limpeza das partes móveis da mesma.

De acordo com as informações da empresa, a produção desse pote entre os meses de julho e outubro de 2017 foi de aproximadamente 170 milhões de unidades. Se cada pote utilizar em média 0,5 g a mais de matéria-prima em seu processo de produção, a perda de material para a empresa decorrente desse **overusage** será de 85,43 toneladas. Sabendo-se que o preço da resina plástica utilizada nas chapas é de R\$ 5,00 o quilo, o prejuízo financeiro para a empresa somente com esse item, nos meses de julho a outubro, é de mais de R\$ 427,000.00.

4.4 VERIFICAÇÃO DO PESO REAL DE APARAS E SUCATAS NO SETOR

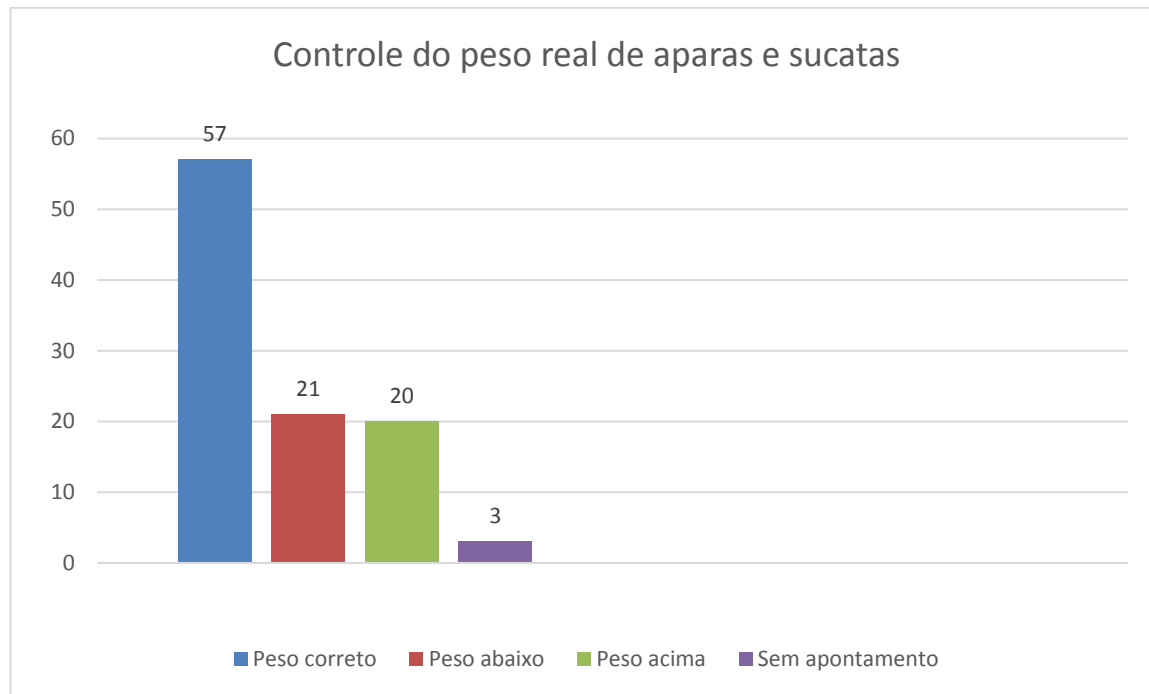
Como em qualquer processo produtivo, a termoformagem apresenta perdas de material por diversos motivos (retomada de máquina, material estranho na região do molde, manutenção inadequada etc.) e essas perdas devem ser auditadas para uma boa confiabilidade da eficiência do processo como um todo.

Com vistas a reduzir divergências no balanço de massa do processo e auferir da maneira mais coerente possível as perdas apontadas no sistema, foi realizada ao longo dos meses de agosto, setembro e outubro uma auditoria dos materiais descartados pelo setor de termoformagem. Seguindo os princípios de organização estimulados pelo 5S, esses materiais de reprocesso e sucatas são depositados em sacos plásticos e devem ser pesados pelos operadores antes de serem encaminhados para seu destino final.

Essa pesagem é realizada em duas balanças do setor, porém o operador coloca manualmente o valor no sistema para realizar o apontamento de perdas, o que torna essa tarefa suscetível a erros. É gerada então uma etiqueta que deve ser colado ao saco plástico, contendo a informação da quantidade em kg da perda, o código do produto, o turno e a identificação do operador.

A auditoria foi realizada durante os turnos A e B por funcionários do setor de Engenharia de Processos, e os resultados foram registrados numa planilha eletrônica para controle. Os resultados são mostrados na Figura 21 a seguir:

Figura 21. Controle do peso real de aparas e sucatas



Fonte: Autoria própria

Observa-se que a maioria dos sacos plásticos estava sendo pesada corretamente, porém encontraram-se 20 sacos com peso acima do especificado e 3 sem etiquetas coladas ao saco plástico. Tais diferenças, ao serem somadas, contribuíram para uma divergência de 30 kg a menos de desperdício de material nos apontamentos. Considerando que o peso total real das perdas auditadas foi de 823 kg, é imprescindível realizar uma melhoria no apontamento de perdas durante o processo de termoformagem.

A situação ideal, no que diz respeito a redução de divergências, seria uma balança integrada ao sistema que gerasse automaticamente uma etiqueta com o valor do material de reprocesso ou sucata no saco plástico. Porém, devido a limitações financeiras, essa medida será postergada pela empresa.

4.5 SEPARAÇÃO DOS REFUGOS DE ACORDO COM AS RESPECTIVAS FÓRMULAS

Para que o material de reprocesso possa ser reutilizado posteriormente na termoformagem, não pode existir absolutamente nenhum tipo de contaminação no

mesmo. Isso inclui tanto poeira e graxa como também a presença de partículas plásticas com formulação diferente, como é o caso quando ocorre mistura de materiais.

O reprocesso (ou apara) deve ser armazenado em sacos plásticos e colocado em grandes caixas metálicas (nomeadas de “gaiolas”) para ser moído no setor de Preparação de Materiais. Da mesma forma que no item referente a verificação do peso real de aparas e sucatas, a organização pregada pela ferramenta 5S está presente também na separação dos refugos. Durante a moagem, cada formulação diferente dos plásticos utilizados na empresa deve ser processada separadamente, sob pena de contaminação e impossibilidade de reutilização no processo novamente. Quando existe mistura de materiais, o que era reprocesso torna-se sucata, gerando prejuízo financeiro à empresa pois o preço da sucata vendida é muito menor que o preço da resina plástica utilizada como matéria-prima.

Após a moagem no setor de Preparação de Matéria-Prima, o material é enviado ao setor de Extrusão. O moído é misturado com matéria-prima “virgem” (resina de polipropileno) em diferentes proporções para a produção da chapa plástica extrudada. Tais proporções variam conforme a máquina extrusora e o tipo de produto que será fabricado posteriormente na termoformagem. De maneira geral, potes e copos utilizam uma quantidade maior de moído porque a espessura da chapa e das paredes do produto final é maior. Já as tampas possuem espessura menor e exigem chapas mais finas e com menos material moído.

Um dos desafios encontrados pela companhia é realizar a separação correta dos refugos provenientes do setor de termoformagem, pois as chapas plásticas processadas no setor possuem formulações diferentes. Utilizando os princípios do 5S, identificou-se a necessidade de colocar placas identificadoras nas gaiolas, de maneira a organizar melhor o descarte de material plástico no setor, evitando mistura de fórmulas diferentes.

Após a separação nas gaiolas, um colaborador do setor de Preparação de Matéria-Prima recolhe o material descartado com o auxílio de um carrinho coletor. Esse material é posteriormente triturado nos moinhos do setor mencionado acima para ser reutilizado no processo de extrusão e termoformagem, como mencionado anteriormente.

4.6 PERDAS POR RETOMADAS

Sempre que existe uma parada de máquina no setor de termoformagem, por qualquer motivo, e a máquina volta a produzir posteriormente, trata-se de uma retomada de máquina. Para que a retomada seja realizada de maneira correta, a máquina deve atingir a temperatura indicada na ficha de processo. De maneira geral, leva-se alguns minutos até que a termoformadora atinja a temperatura ideal para a produção.

O operador deve descartar a chapa que está presente na máquina durante a retomada. Porém, não há um procedimento padrão na empresa para a realização deste trabalho, gerando muitas vezes desperdício de material em demasia. A quantidade de chapa a ser descartada nas retomadas deve ser padronizada de acordo com o volume de produção de cada máquina e o tempo de não funcionamento da máquina antes da retomada.

O tipo de retomada de máquina mais frequente na fábrica é a troca de bobina. Sempre que a chapa plástica é utilizada em sua totalidade, existe um tempo de troca até que o operador da termoformadora insira a nova chapa na máquina, com o auxílio de rolos guia para desenrolar a bobina. Esse processo toma, em média, 10 minutos, e é realizado pelo menos uma vez por turno, ou seja, 3 vezes ao dia.

Visando a otimização do uso de material plástico, bem como a redução do tempo de *setup* (SMED) abordado na metodologia da Manufatura Enxuta, foi realizado um levantamento sobre a quantidade de material perdido nas retomadas. A esse tipo de material será dado o nome de apara de retomada. Os dados foram coletados entre 01/11/2016 e 01/11/2017, para os três grupos de máquinas presentes na empresa, divididos de acordo com o volume produzido. Os resultados estão presentes na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5. Estudo de aparas por retomada de máquina na termoformagem

Grupo de máquina	Peso médio da apara de retomada (Kg)	Quantidade de retomadas	Estimativa da quantidade de aparas de retomadas (Kg)
1	3,18	6571	20896
2	5,04	3462	17448
3	20,11	6807	136889

Fonte: Autoria própria

Como se pode observar, as perdas de material por retomadas de máquinas representam, no intervalo de um ano, mais de 175 toneladas. Qualquer redução nesse valor seria uma economia significativa para a empresa. Dessa forma, foi realizado um breve estudo sobre a possibilidade de utilizar bobinas com peso maior nas máquinas do grupo 3, cujo volume de produção é o maior do setor.

Considerando que o peso médio de uma bobina de plástico utilizada nesse grupo de máquinas é de 1018 kg, a redução de perdas por retomadas ao se utilizar bobinas de 1500 kg foi calculada na Tabela 6 a seguir. O peso de 1500 kg foi escolhido por encontrar-se dentro da possibilidade de uso pela empresa, desde que se realize um investimento em novos equipamentos de transporte interno:

Tab.6. Comparação de peso média das bobinas

Comparação	Peso Médio Bobinas		Diferença
	1018	1500	
Peso médio da bobina (Kg)	1018	1500	482
Quantidade utilizada / ano	4232	2872	1360
Perda por retomada (kg/ano)	84640	57420	27220
Tempo de troca total (horas)	692	468	224

Fonte: Autoria própria

Considerando um preço de 5 reais por quilo de resina utilizada como matéria-prima na termoformagem, a utilização de bobinas mais pesadas resultaria numa economia de R\$ 136,100.00 para a companhia, bem como num aumento de horas 224 horas disponíveis no grupo de máquinas especificado.

5. CONCLUSÕES

Como visto anteriormente no presente trabalho, o setor de termoformagem apresentou uma quantidade de refugos muito acima do desejado pela companhia no primeiro semestre de 2017, tornando-se um problema que demandava atenção imediata. A metodologia baseada no pilar de Melhoria Focada permitiu a visualização dos desperdícios de maneira eficaz, e foi elaborado um plano de ação baseado nos seis passos abaixo:

- Redução dos problemas de qualidade nas chapas;
- Controle de aproveitamento de material pelos moldes das termoformadoras;
- Verificação de peso real dos produtos finais da termoformagem;
- Pesagem dos refugos gerados na termoformagem;
- Separação dos refugos de acordo com suas diferentes formulações;
- Estudo de perdas por retomadas de máquina na termoformagem.

A diminuição do número de retomadas resulta em maior tempo disponível de produção das máquinas, o que impacta diretamente na eficiência global (OEE) do setor. Como consequência, existe um maior volume produzido, aumentando o lucro da empresa. Porém, deve-se realizar um estudo corporativo sobre o custo de investimento em novos equipamentos de transporte para bobinas de peso maior em relação ao lucro gerado por uma maior produção das termoformadoras, o qual não foi abordado neste trabalho.

De maneira geral, identificou-se que as perdas mais críticas se devem primeiramente a uma baixa eficiência dos moldes das máquinas termoformadoras durante o processo, a uma maior utilização de matéria-prima que a ideal durante o processo e pelo grande número de retomadas de máquinas ao longo do ano. Essas três vezes implicam em um custo extra para a empresa que, de acordo com as estimativas ao longo do trabalho, passa de R\$ 1.000.000,00 anuais.

Para melhorar a eficiência dos moldes durante o processo de termoformagem, e por consequência o aproveitamento da chapa plástica, sugere-se elaborar um novo cronograma de manutenção preventiva para as máquinas do setor. O novo documento deve diminuir o tempo entre a realização de manutenção preventiva em máquinas com

mais anos de funcionamento, bem como incluir a retirada periódica dos moldes para limpeza e usinagem.

A inspeção de peso em um dos potes produzidos pelo setor mostrou um resultado alarmante, no qual a sobreutilização de material representa um custo extra para a companhia de centenas de milhares de reais. Deve-se realizar um acompanhamento semanal dos pesos de todos os produtos finais do setor, a fim de verificar se esse é um problema limitado a uma ou poucas máquinas ou algo recorrente nas termoformadoras.

Recomenda-se a revisão das fichas de processo do setor, como uma ação preventiva para a baixa eficiência dos moldes, bem como uma ação corretiva para a redução de peso do pote mencionado no parágrafo acima.

O levantamento de possíveis divergências nos pesos de refugos encontrados no setor de termoformagem também se mostrou uma medida importante no controle geral das perdas no setor. Como o apontamento manual da perda pelo operador está sujeito a erros, seria interessante automatizar tal ação com uma balança integrada ao computador localizada ao lado da máquina, melhorando a exatidão do peso dos refugos.

A redução do número de não-conformidades nas chapas produzidas pelo setor de extrusão e utilizadas na termoformagem mostrou-se uma ação eficaz, reduzindo substancialmente as perdas por qualidade das máquinas termoformadoras. A abordagem dos problemas mencionados nas reuniões com a presença de colaboradores de diferentes setores da fábrica deve ser mantida para que o resultado obtido seja cada vez melhor, objetivando a qualidade total do processo.

Os procedimentos descritos neste trabalho começaram a fazer parte da rotina da empresa no ano de 2017, com vistas a melhoria contínua e redução de perdas no setor como um todo. Entretanto, a fase de implementação ainda não está concluída, visto que muitas das ações aqui mencionadas envolvem diferentes setores da companhia, como Manutenção, Qualidade e Engenharia de Processos. Restrições de tempo e mão-de-obra representam dificuldades enfrentadas pela empresa para a formalização da metodologia deste trabalho.

Como sugestão de ações futuras, cita-se que um programa de qualificação para os operadores envolvidos poderia acelerar a implementação das melhorias aqui citadas trazendo rápido retorno para a empresa estudada.

Pode-se concluir que tanto o objetivo principal (selecionar técnicas e ferramentas para a redução de perdas no processo de termoformagem) como os específicos foram atingidos com sucesso no decorrer deste trabalho. O estado geral da área de termoformagem foi levantado e estudado, e foi feito um planejamento junto aos gestores da companhia para entender as causas principais dos desperdícios. Além disso, medidas como melhoria da qualidade da chapa, bem como o possível uso de bobinas de peso maior, auxiliam na obtenção de um melhor OEE para o setor de termoformagem.

REFERÊNCIAS

BLASS, Arno. **Processamento de polímeros**. Ed. da UFSC, 1988.

BON, Abdul Talib; KEE, Tan Siok. **Implementation of Lean Manufacturing for Productivity Improvement in Malaysia**. Proceedings of the 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Dubai, Emirados Árabes Unidos, 2015.

BORGES, Richardson Coimbra; DE ABREU, Sanger Cunha Arruda; VAZ, Janderson Martins. **Estudo do SMED por meio da metodologia World Class Manufacturing–WCM**. 2014. XVII Seminário em Administração, Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil, 2014. Disponível em: <<http://sistema.semead.com.br/17semead/resultado/trabalhosPDF/1192.pdf>>. Acesso em: 25 de maio de 2017.

BUSINESS-BUILDING INFORMATION. Focused Improvement Pillar. Disponível em: <<http://smartmanagement.info/world-class-manufacturing/focused-improvement-pillar/>>. Acesso em: 16 de maio de 2017

CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. 7 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

CAMARGO, Paulo Rogério. **Implementação de técnicas da teoria das restrições e da mentalidade enxuta: Estudo de caso em uma empresa automobilística**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté) – Taubaté, 2012

CHY, Md Muminul Islam; BOULET, Benoit; HAIDAR, Ahmad. **A model predictive controller of plastic sheet temperature for a thermoforming process**. 2011 American Control Conference. IEEE, 2011. p. 4410-4415.

DE FELICE, Fabio; PETRILLO, Antonella; MONFREDA, Stanislao. **Improving Operations Performance with World Class Manufacturing Technique: A Case in Automotive Industry.**, Operations Management, Prof. Massimiliano Schiraldi (Ed.), InTech, Disponível em:< <https://www.intechopen.com/books/operations->

management/improving-operations-performance-with-world-class-manufacturing-technique-a-case-in-automotive-indus>. Acesso em: 16 de maio de 2017

DONADEL, Daniel Carneiro. **Aplicação da Metodologia DMAIC para Redução de Refugos em uma Indústria de Embalagens**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia de Produção. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2008.

ELRHANIMI, Samah; ABBADI, Laila El; BOUABDELLAH, Abouabdellah. **What is the relationship between the tools of Lean manufacturing and the global performance of the company?** 2016 3rd International Conference on Logistics Operations Management (GOL). Fez, Marrocos, 2016.

ENGELMANN, Sven. **Advanced Thermoforming: Methods, Machines and Materials, Applications and Automation**. John Wiley & Sons, 2012.

FALCONI, Vicente Campos. **TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. Belo Horizonte, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 1992.

HANNAY, Francis F. **Rigids Plastics Packaging – Materials, Processes and Applications**. *Rapra Review Reports*, v. 13, n. 7, p. 3. iSmithers Rapra Publishing, 2002.

JUNIOR, Eurípedes Barsanulpho. **Sistema CLP/Microcontrolador para controle e monitoração de um processo de termoformagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina) – Florianópolis, 1999.

KUMAR, P. Shyam *et al.* The effect of material characteristics and mould parameters on the thermoforming of thick polypropylene sheets. **Journal of Plastic Film & Sheeting**, v. 30, n. 2, p. 162-180, 2014.

LISBÔA, Maria da Graça Portela; GODOY, Leoni Pentiado (2012). **Aplicação do método 5w2h no processo produtivo do produto: a joia**. Disponível em:< <http://periodicos.incubadora.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/1585>>. Acesso em: 11 de maio de 2017.

LIKER, Jeffrey K.; MEIER, David. **O Modelo Toyota-Manual de Aplicação: Um Guia Prático para a Implementação dos 4Ps da Toyota**. Bookman Editora, 2007.

MARTINS, Petrônio G; LAUGENI, Fernando P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2001.

MICHAELI, Walter *et al.* **Tecnologia dos Plásticos**. Editora Edgard Blucher. São Paulo, 1995.

NAKAJIMA, Seiichi. **Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC International Sistemas Educativos Ltda., 1989.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas**. Bookman Editora, 2013.

MATOS, Alan Pablo. **Utilização da manufatura de classe mundial (WCM) como uma ferramenta estratégica de diferenciação competitiva**. 2014. 40 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

OLIVEIRA, Ana Carolina *et al.* **Estudo de Implantação do Pilar de Melhoria Focada da Metodologia World Class Manufacturing (WCM) em uma empresa do setor automotivo do interior de São Paulo**. Revista ESPACIOS, v. 36, n. 10, p. 11. São Paulo, Brasil, 2015. Disponível em: <<http://www.revistaespacios.com/a15v36n10/15361012.html>>. Acesso em: 10 de maio de 2017

PALUCHA, Kevin. **World Class Manufacturing Model in production management**. Archives of Materials Science and Engineering, v. 8, ed. 2. p. 227-234. 2012.

PYZDEK, Thomas; KELLER, Paul A. **The six sigma handbook**. New York: McGraw-Hill Education, 2014.

POOR, Peter; KOCISKO, Marek; KREHEL, Radoslav. World Class Manufacturing (WCM) model as a tool for company management. **27TH DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation**. Vienna, Austria, 2016.

ROCHA, Duílio. **Fundamentos Técnicos da Produção**. São Paulo: Makron Books, 1995.

SANTANNA, Angelo M.O.;FREIRES, Francisco G.M.; BARBOSA, AVA V. **Modelo de padronização de processos em um industria de termoformagem**. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa, Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_226_316_30737.pdf> . Acesso em: 21 de agosto de 2017.

SERTA, G. V.; ROCHA, J. S.. **Termoformadora a vácuo automatizada**. 2012. 135 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

SILVA, José Pedro A. R. **Técnicas e Ferramentas do Lean V1 – 2008**. Lisboa, Portugal, 2008. Apresentação em PowerPoint Disponível em: <<http://www.freewebs.com/leanemportugal/>>. Acesso em: 19 de maio de 2017

SLACK, Nigel *et al.* **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009.

TRIPATHI, Devesh. **Practical guide to polypropylene**. iSmithers Rapra Publishing, 2002.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manufatura Enxuta como Estratégia de Produção**. São Paulo: Atlas, 2015.

ULUTAS, Berna. An application of SMED Methodology. **World academy of science, engineering and technology**, v. 79, p. 101, 2011.

VIDAL, Sales. **TQC: Controle da Qualidade Total – Resumo 17**. Recife, Brasil, 2016. Disponível em: <

http://www.unicap.br/salesvidal/arquivos_adm_planejamento/CONTROLE_QUALIDADE_TOTAL.doc. > . Acesso em: 15 de maio de 2017

VIEIRA, Murillo Ceschini. **Redução do refugo em uma empresa especialista em processos de transformação do plástico – sopro embalagem**. 2014. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia de Produção. Centro Universitário Eurípedes de Marília, Marília, 2014.

YANG, C.; HUNG, S.-W. Optimising the thermoforming process of polymeric foams: an approach by using the Taguchi method and the utility concept. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 24, n. 5-6, p. 353-360, 2004.