

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Adriano De Donato Paez

ESTUDO DE CASO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DE CONCEITOS DE *LEAN*
***MANUFACTURING* EM UMA LINHA DE FILTROS DE EQUIPAMENTOS**
INDUSTRIAIS

São Carlos

2018

ADRIANO DE DONATO PAEZ

**ESTUDO DE CASO SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DE CONCEITOS DE *LEAN*
MANUFACTURING EM UMA LINHA DE FILTROS DE EQUIPAMENTOS
INDUSTRIAIS**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Produção Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto

São Carlos

2018

RESUMO

PAEZ, A. D. D. **Estudo de caso sobre a implementação de conceitos de *Lean Manufacturing* em uma linha de filtros de equipamentos industriais**. 2018. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

Com o mercado cada vez mais exigente, empresas buscam novas maneiras de ganhar vantagem sobre seus competidores e satisfazer de maneira mais assertiva o mercado consumidor. Altamente difundidos entre os meios de produção, os conceitos de Manufatura Enxuta ou *Lean Manufacturing*, concebidos pelo Sistema Toyota de Produção (STP) em meados do século XX, ainda são muito procurados pelas empresas para esse fim, já que buscam o aumento da produtividade por meio da eliminação de desperdícios. É neste cenário que a empresa Dynamic Air Brasil, em parceria com o SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), através de um programa de incentivo ao crescimento industrial, intitulado “*Brasil Mais Produtivo*”, decidiu implementar alguns métodos e ferramentas da manufatura enxuta em sua linha de produção de cartuchos de filtro. O presente trabalho é um estudo de caso desta implementação, com enfoque na análise do ferramental de *Lean Manufacturing* utilizado para a melhoria dos resultados na linha de produção. Além disso, destaca-se os procedimentos de execução moldados à realidade da empresa, já que a metodologia *Lean*, apesar de universal, é muito flexível e requer adaptações para cada sistema de produção distinto. Após a implementação dos métodos e ferramentas, os resultados obtidos foram extremamente satisfatórios por estarem muito acima do previsto pelas duas instituições, principalmente em relação aos dois indicadores mais importantes do caso: produtividade e movimentação da operadora. A produtividade foi aumentada em mais de 84% e a movimentação reduzida em mais de 80%, permitindo assim, a realocação da operadora para outras áreas da empresa além da linha de filtros em questão, já que agora é possível atender a demanda de filtros cartucho com menos tempo de trabalho.

Palavras chave: *Lean Manufacturing*, Produção Enxuta, Transporte Pneumático

ABSTRACT

PAEZ, A. D. D. Case study on the implementation of Lean Manufacturing concepts in a filter production line for industrial equipment. 2018. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

Because of the growing market demands, companies are pursuing new ways of gaining leverage upon their competitors and more assertively satisfying their customers. Highly widespread within the production environment, the Lean Manufacturing concepts, conceived by the Toyota Production System (TPS) in the middle 20th century, are still wanted by companies to reach this goal, once it ensures productivity enhancement through the elimination of wastes. It's in this context that Dynamic Air Brazil, partnered with SENAI (National Service of Industrial Learning), a Brazilian entity, decided to implement some of Lean Manufacturing tools and methods on its filter cartridge production line, using incentives provided by a government program for industrial growing. The present workpaper is a case study on this implementation, focused on the analysis of the Lean toolkit used for results improvement of the production line. Furthermore, it highlights the execution procedures molded to the company reality, whereas the lean methodology, although universal, is quite flexible and requires adaptations for each singular production system. After the implementation of these methods and tools, the results obtained were extremely satisfactory for being higher than expected by the two institutions, especially concerning the two main performance indicators for this case: productivity and operator's movement. Productivity was increased in more than 84% and movement reduced in more than 80%, therefore, allowing the allocation of the operator in other areas of the company besides the filter's line since now is possible to attend to the demand of filter cartridges with less working time.

Key words: *Lean Manufacturing*, Pneumatic Transportation

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: DEFINIÇÃO DAS "7 GRANDES PERDAS" DA PRODUÇÃO.....	25
FIGURA 2: EXEMPLO DE MAPA DE FLUXO DE VALOR DA SITUAÇÃO ATUAL.....	29
FIGURA 3: ENFOQUE DA PRODUÇÃO TRADICIONAL E ENFOQUE DA PRODUÇÃO ENXUTA.	30
FIGURA 4: O PROGRAMA 5S.....	34
FIGURA 5: REPRESENTAÇÃO DA CURVA ABC.....	36
FIGURA 6: MATRIZ TEMPO DE RESPOSTA X CUSTOMIZAÇÃO	38
FIGURA 7: ESQUEMA DE TRANSPORTE PNEUMÁTICO, CONCEITO DE FORÇA BRUTA HDP 1000 [1].....	40
FIGURA 8: MODU-KLEEN™ FILTRO 'BIN VENT' TIPO MANGAS, SÉRIE 250	45
FIGURA 9: APLICAÇÃO DO MODU-KLEEN™ FILTRO 'BIN VENT' TIPO MANGAS, SÉRIE 250.....	46
FIGURA 10: MODELO DE FILTROS CARTUCHO QUE SERÁ USADO NO ESTUDO DE CASO —	47
FIGURA 11: TELA DE METAL FLEXÍVEL QUE É A BASE PARA O CORPO DO FILTRO.....	48
FIGURA 12: ELEMENTO FILTRANTE DE POLIÉSTER DO FILTRO CARTUCHO	48
FIGURA 13: COMPARAÇÃO DAS MALHAS DE NÃOTECIDO (A ESQUERDA) E TECIDO (A DIREITA)	49
FIGURA 14: TAMPAS DO FILTRO CARTUCHO DE AÇO-CARBONO APÓS O JATEAMENTO.....	49
FIGURA 15: SELO USADO PARA A FIXAÇÃO DO FILTRO NOS EQUIPAMENTOS.....	50
FIGURA 16: GRÁFICO DE PARETO DO CONSUMO DE FILTROS POR MODELO	51
FIGURA 17: FLUXOGRAMA DA SITUAÇÃO PRÉ-MUDANÇA DA LINHA DE FILTROS	53
FIGURA 18: TAMPAS DOS FILTROS SENDO JATEADAS	55
FIGURA 19: A ESQUERDA, CALANDRAGEM DO CORPO DO FILTRO, A DIREITA, PONTEAMENTO DO CORPO DO FILTRO.....	56
FIGURA 20: MAQUINA FAZENDO A PLISSAGEM DO NÃOTECIDO	56
FIGURA 21: A ESQUERDA, CORTE DO ELEMENTO FILTRANTE, A DIREITA, COSTURA DO ELEMENTO FILTRANTE	57
FIGURA 22: A ESQUERDA, VESTIMENTA DO ELEMENTO FILTRANTE NO CORPO, A DIREITA, CLIPAGEM.....	58
FIGURA 23: A ESQUERDA, DOSAGEM DA RESINA NA TAMPA, A DIREITA, ALOCAÇÃO DA TAMPA INFERIOR	58
FIGURA 24: A ESQUERDA, FILTRO SENDO ALOCADO NO FORNO, A DIREITA, COLAGEM DA CINTA.....	59
FIGURA 25: A ESQUERDA, TESTE DE RESISTÊNCIA MECÂNICA, A DIREITA, EMBALO DO FILTRO.....	60
FIGURA 26: LAYOUT DA SITUAÇÃO PRÉ-MUDANÇA COM TRAJETO PERCORRIDO PELA OPERÁRIA POR CICLO (EM ROSA)	60
FIGURA 27: MAPA DO FLUXO DE VALOR DA LINHA DE FILTROS CARTUCHO.....	62
FIGURA 28: A ESQUERDA TEMOS A MESA ANTES DO AUMENTO, A DIREITA DEPOIS DO AUMENTO.....	64
FIGURA 29: ANTES COM CLIPS DE PAPEL, DEPOIS COM PRENDEDORES DE FOLHAS.	65
FIGURA 30: A ESQUERDA, CORPO APÓS PONTEAMENTO DE 20 PONTOS DE SOLDA, A DIREITA, CORPO OVALIZADO COM 200 PONTOS DE SOLDA.	66
FIGURA 31: COMPARATIVO ENTRE A MOVIMENTAÇÃO DA OPERADORA NO <i>LAYOUT</i> INICIAL VERSUS <i>LAYOUT</i> FINAL	67
FIGURA 32: COMPARATIVO ENTRE O ARMAZENAMENTO DOS PLISSADOS ANTES E DEPOIS DO 5S.....	68
FIGURA 33: TAV ANTES DO PROJETO DE MELHORIA	69
FIGURA 34: TAV DEPOIS DO PROJETO DE MELHORIA	69
FIGURA 35: FORMULAS E CÁLCULO DO INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE	69
FIGURA 36: RESULTADOS OBTIDOS EM TERMOS DE PRODUTIVIDADE E MOVIMENTAÇÃO.	70
FIGURA 37: BALANÇO DO ESTOQUE DE FILTROS EM 2018	72

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Contextualização.....	15
1.2 Objetivo	16
1.3 Método de pesquisa	16
1.4 Estrutura do trabalho	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Metodologia Lean	19
2.1.1 As Sete Perdas	21
2.1.1.1 Perda por superprodução	22
2.1.1.2 Perda por espera.....	22
2.1.1.3 Perda por inventário.....	23
2.1.1.4 Perda por movimentação	23
2.1.1.5 Perda por transporte.....	24
2.1.1.6 Perda por processamento	24
2.1.1.7 Perda por defeitos	24
2.1.2 Os 5 princípios.....	25
2.1.2.1 Valor	25
2.1.2.2 Fluxo de valor	26
2.1.2.3 Fluxo contínuo.....	26
2.1.2.4 Produção puxada	26
2.1.2.5 Perfeição	27
2.1.3 Ferramentas de Apoio.....	27
2.1.3.1 Mapa do Fluxo de Valor	28
2.1.3.2 5S	32
2.1.3.2.1 Seiri.....	32
2.1.3.2.2 Seiton	32
2.1.3.2.3 Seiso	33
2.1.3.2.4 Seikets.....	33
2.1.3.2.5 Shitsuke	33

2.1.3.3 Trabalho padronizado (TP).....	34
2.1.3.4 Outras ferramentas e definições importantes.....	35
3 ESTUDO DE CASO	39
3.1 A Dynamic Air Brasil	39
3.2 História da Dynamic Air Brasil.....	41
3.3 Brasil Mais Produtivo (B+P)	42
3.4 O projeto.....	43
3.4.1 Indicadores	43
3.5 Os filtros cartucho	44
3.5.1 Usabilidade:	44
3.5.2 Descrição	46
3.5.3 Modelos e consumo	50
3.6 A linha de filtros	52
3.6.1 Descrição	52
3.6.2 Diagnóstico	60
3.7 Principais Mudanças	63
3.7.1 Diminuição do número de pontos de solda por peça.....	63
3.7.2 Padronização da marcação da área de corte na plissagem.....	64
3.7.3 Aumento da mesa na máquina de plissagem	64
3.7.4 Uso de prendedor de folhas para auxiliar na vestimenta	65
3.7.5 Isolamento do forno de aquecimento da cola	65
3.7.6 Remoção da etapa de recalandragem.....	66
3.7.7 Diminuição do movimento pela redefinição do layout (5S).....	66
3.8 Resultados	69
3.9 Futuras oportunidades de melhoria.....	71
4 CONCLUSÃO.....	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Com a globalização da economia se intensificando a cada dia, empresas multinacionais buscam, cada vez mais, maneiras de se destacar positivamente frente seus competidores e melhor atender o mercado consumidor a nível mundial. São em cenários altamente competitivos, como o de hoje, que novas estratégias, ferramentas e métodos devem ser desenvolvidos a fim de garantir uma parcela significativa do mercado e, assim, a sobrevivência da organização.

Foi em meio a esse contexto competitivo que os primeiros conceitos de *Lean Manufacturing* foram concebidos. Segundo Womack, Jones e Roos (1990), a economia do Japão pós Segunda Guerra Mundial se encontrava em regressão, tornando inconcebível a compra de tecnologia estrangeira. Desta forma, conforme descrito em 1997 por Taiichi Ohno, principal Engenheiro de Produção da Toyota na época, a recente indústria automotiva do país se deparava com o desafio de criar uma metodologia própria que pudesse concorrer com as três gigantes norte-americanas – conhecidas como *Big Three* (Ford, General Motors e Fiat Chrysler) -, que dividiam a liderança do mercado e eram orientadas pela produção em massa e princípios do *Total Quality Management* (TQM).

Estudando este sistema de produção americano, instituído inicialmente por Henry Ford – e, portanto, batizado de *Fordismo* – Ohno identificou falhas que, se corrigidas, poderiam reduzir os custos e aumentar a produtividade da fábrica. A principal delas foi a descoberta que a produção em grandes lotes gerava estoques custosos e de difícil manutenção, que dificultavam a detecção de erros de produção que poderiam resultar no descarte de milhares de peças. Foi pensando na redução destes que chamou de “desperdícios”, que Ohno idealizou o Sistema Toyota de Produção – o *Toyotismo* -, criado para aumentar a flexibilidade de produção e atender de maneira mais assertiva o mercado da segunda metade do século XX

Depois disso, o *Toyotismo* evoluiu continuamente até o sistema conhecido hoje como “*Lean Manufacturing*” (o termo “*Lean*” foi originalmente citado em 1990 no livro “A Máquina que Mudou o Mundo” (WOMACK, JONES e ROOS, 1990), que ainda tem como principais pilares a redução de desperdícios e o aumento da produtividade). Os princípios do *Lean* já estão altamente

difundidos e consolidados na indústria, fornecendo uma vantagem competitiva àqueles que já implementaram os conceitos da manufatura enxuta.

Foi nesta conjuntura que a Dynamic Air Brasil percebeu que precisava adotar a metodologia *Lean* para obter vantagem competitiva e melhor satisfazer seus clientes. O presente trabalho consistiu na realização do estudo de caso da implementação das ferramentas e conceitos do *Lean Manufacturing* na linha de cartuchos de filtro desta multinacional.

1.2 Objetivo

O objetivo desta monografia é apresentar brevemente os principais métodos e ferramentas de produção enxuta e como foram implementados em uma indústria de Sistemas de Transporte Pneumático – a Dynamic Air Brasil -, em projeto realizado em 2017.

Através de estudo de caso, explica-se o modelo de negócio da organização, com destaque para a linha de cartuchos de filtro e a necessidade de aplicação das ferramentas *Lean*. Detalha-se também o procedimental da implementação do projeto, seus maiores desafios e os principais resultados obtidos com as mudanças instituídas.

1.3 Método de pesquisa

Define-se Estudo de Caso pelo “estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento” (Gil, 2002). Como a presente pesquisa foi desenvolvida após a definição das mudanças e durante sua implementação, com o objetivo de analisar o processo em sua totalidade, pode-se afirmar que, para este trabalho, foi realizada pesquisa nos moldes de Estudo de Caso, praticado conforme a seguir.

A princípio, durante uma parceria entre a Dynamic Air e o SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial), foram discutidas oportunidades de aplicação do *Lean* na empresa. Após identificada a demanda na linha de cartuchos de filtro, a parceria permaneceu até a implementação - que ocorreu enquanto o autor realizava um estágio na empresa, podendo fazer parte da mudança e acompanhar de perto os resultados obtidos.

Sendo que o autor fez parte ativa do Estudo de Caso, pode-se concluir que o presente trabalho apresenta um teor de pesquisa-ação. Thiollent (2008) define a pesquisa-ação como:

“Um tipo de pesquisa social com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. ”

Em seguida, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em artigos científicos, teses e dissertações acadêmicas, livros e demais recursos, acerca dos princípios e ferramentas do *Lean Manufacturing* utilizados durante a implementação, com acompanhamento do professor orientador e outros profissionais especialistas.

Paralelamente à pesquisa bibliográfica, foi feita uma análise da situação atual da Dynamic Air em comparação ao cenário *a priori* ao projeto. Foram realizados investigações e diagnósticos através de coleta de dados, entrevistas e medições com base em planilhas, documentos e demais materiais disponibilizados pela empresa, além de auxílio dos funcionários da mesma. O objetivo era entender o impacto que as mudanças proporcionaram e quais ferramentas foram mais significativas para a melhoria dos indicadores de performance.

Ainda segundo Gil (2002):

“Levantamentos caracterizam-se pela interrogação direta das pessoas cujo comportamento se deseja conhecer. Basicamente, procede-se à solicitação de informações a um grupo significativo de pessoas acerca do problema estudado para, em seguida, mediante análise quantitativa, obterem-se as conclusões correspondentes aos dados coletados. ”

Desta forma, pode-se dizer que, para apoiar a realização do Estudo de Caso, além de pesquisas bibliográficas e documentais para coleta de dados, foi realizada uma *pesquisa-ação* e uma *pesquisa-levantamento* para complemento e análise destes sob a ótica dos operadores da Dynamic Air e do próprio autor.

Para finalizar, a elaboração deste documento foi feita utilizando o *software Microsoft Office Word* e formatado seguindo as normas ABNT para melhor organização e coerência da dissertação.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho foi estruturado de maneira a, inicialmente, contextualizar o leitor com o histórico da metodologia *Lean*, desde sua origem no Japão do século XX, sua expansão e disseminação ao resto do mundo até sua consagração enquanto teoria produtiva amplamente aceita e utilizada nos dias atuais. No capítulo 2, ainda, são definidas as principais ferramentas *Lean*, seus objetivos e aplicações básicas.

Em seguida, no capítulo 3, inicia-se a descrição do estudo de caso. Há uma breve apresentação da Dynamic Air Brasil e seu negócio, bem como do funcionamento da linha de produção de cartuchos de filtro da empresa e o motivo pelo qual foi identificada nela a oportunidade de melhoria através de técnicas *Lean*. Em seguida, detalha-se os procedimentos realizados durante a pesquisa, desde o diagnóstico, medição e análise até a implementação das melhorias, destacando a estratégia adotada.

Por fim, no capítulo 4, são descritos os resultados obtidos com a instituição do modelo de produção enxuta na DA. Destaca-se as principais melhorias, identificadas através de indicadores, e elenca-se, ainda, ferramentas de controle e próximos passos para a continuidade desse novo sistema de produção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Metodologia *Lean*

No contexto da segunda metade do século XX, o Japão encontrava-se devastado pelas destruições, em recessão político-econômica, escasso de suprimentos e matéria-prima – o que influenciou diretamente na redução e/ou parada das linhas de produção nas indústrias - e sob intervenção norte-americana. Todos estes fatores devidos à derrota na Segunda Guerra Mundial para os Aliados, bloco formado por Reino Unido, União Soviética e Estados Unidos – sendo este último responsável pela rendição japonesa após o lançamento de bombas atômicas nas cidades de Hiroshima e Nagasaki.

Nesse cenário, segundo Womack, Jones e Roos (1990), além de ser quase impossível a compra das mais avançadas tecnologias externas, o Japão corria o risco de ter sua própria tecnologia tomada pelo ocidente. Foi por essa razão que o governo japonês decidiu proibir investimentos externos na indústria japonesa, fato que não apenas protegeu os recursos do país, mas também impulsionou a recuperação econômico-industrial japonesa através do desenvolvimento de novos sistemas de produção que se adaptassem à nova realidade de mercado – no qual a Toyota teve influência fundamental.

“Tal proibição [de investimentos externos] foi vital na conquista, pela Toyota (e outros entrantes da indústria automobilística japonesa), de um lugar ao sol no ramo automobilístico” (WOMACK, JONES e ROOS, 1990)

A indústria automobilística mundial da época era dominada pelas três gigantes norte-americanas, chamadas de *Big Three*: Ford, General Motors e Fiat Chrysler. Com tecnologia de ponta, elas operavam produções em massa segundo princípios do *Fordismo*, que, idealizado por Henry Ford no final do século XIX, tinha como principal premissa a linha de produção contínua, com trabalhadores realizando apenas uma tarefa repetidamente, e melhoria da qualidade através de peças de fácil manutenção.

Ficou comprovado que a produção em massa reduzia o custo da produção através do aumento das quantidades produzidas em um menor tempo. O Fordismo ainda implementou a utilização de peças intercambiáveis - cujas prensas e estampadoras produziam milhares de uma única vez -, e melhorias gerenciais através do sistema *Total Quality Management* (TQM). Os

avanços trazidos por este método de produção eram tão notáveis que o próprio presidente da Toyota na época, Toyoda Niichiro, reconhecendo a efetividade do método, disse:

“Alcancemos os Estados Unidos em três anos. Caso contrário a indústria automobilística do Japão não sobreviverá”. (NIICHIRO, 1945)

Foi assim que o principal engenheiro de produção da Toyota, Taiichi Ohno, assumiu a responsabilidade de estudar o sistema e implementá-lo na realidade da empresa japonesa. O engenheiro sabia que, para realizar essa missão, precisaria conhecer os Estados Unidos e aprender os métodos americanos.

Ao iniciar as observações do Sistema Ford e o contexto em que estava inserido, entretanto, Ohno percebeu que haviam disparidades significativas que dificultariam sua incorporação aos negócios da Toyota. Em primeiro lugar, a demanda da Ford era imensa e quase uniforme – pelo modelo Ford T -, e a empresa investia largamente em maquinário dispendioso e espaçoso para equipar suas linhas de produção em massa. O Japão, se recuperando de uma recessão econômica, tinha uma população ligeiramente menor e que procurava uma vasta gama de veículos: *“carros de luxo para autoridades governamentais, caminhões grandes para transportar mercadorias, caminhões pequenos para os agricultores e carros menores adequados para as cidades populosas”* (WOMACK, JONES & ROOS, 1990). Ohno declarou: “Nosso problema era como cortar custos e, ao mesmo tempo, produzir pequenas quantidades de muitos tipos de carros.” (OHNO, 1997).

Além disso, ele também detectou no modelo de Ford aquilo que chamou de *mudas* – desperdícios ou perdas de produção –, que logo baseariam a concepção de todo o sistema Toyota. Observando as máquinas de prensagem que produziam centenas de peças em segundos, Ohno percebeu que, além de tomarem um grande espaço na linha de produção, elas fabricavam itens defeituosos que eram identificados apenas na etapa final de montagem dos veículos. Com isso, perdia-se tempo e material e ainda poderia ocorrer uma propagação desses erros, representando custos desnecessários. A produção em massa gerava também estoques excessivos, que Ohno percebia como a consolidação de todas as perdas que ocorriam no ciclo produtivo.

Partindo do princípio do *estoque zero* para mitigar as perdas da produção e consequentemente reduzir seus custos, iniciou a formulação do Sistema Toyota de Produção. Para alcançar a redução máxima de inventário e desperdícios, Ohno construiu o STP sobre dois principais pilares:

- **Just-in-Time:** modelo de produção que determina que as partes corretas devem alcançar o exato ponto da linha de montagem no momento exato e na quantidade exata em que são necessárias (OHNO, 1997). Essa operação garante que seja produzido apenas a quantidade ideal no tempo ideal segundo a demanda dos clientes – impedindo a formação de estoques.
- **Jidoka (autonomação):** automação com um toque humano (OHNO, 1997). Segundo este princípio, devem ser conferidos dispositivos de parada às máquinas assim que detectada uma falha. Por isso, deve-se contar com a inteligência humana para desenvolver tais aparatos e para garantir a correção do erro no menor tempo possível para que a produção retome seu ritmo. Além disso, novas formas de *evitar* erros, e não apenas corrigi-los, devem ser desenvolvidas para aumentar a eficiência.

Um dos principais apoios para o pilar de autonomação foram os dispositivos **Poka-Yoke**, desenvolvidos por Shingo (1996). Considerados “à prova de erros”, eram construídos de forma a garantir encaixes, montagens e sequências corretas, prevenindo a ocorrência de falhas na produção ou facilitando a correção das mesmas.

Ohno (1997) também cita outros inúmeros métodos para *enxugar* a produção – pode-se citar o método dos *Cinco Porquês* de identificação de causas-raiz para problemas e a Sincronização da Produção, que, se realizada, torna possível o atendimento da demanda através da produção compassada. Suas premissas para cortar tudo que não era necessário – as *mudas* -, foram o berço do pensamento enxuto que até hoje é amplamente utilizado para obtenção de melhores resultados na manufatura. Abaixo, explica-se alguns dos principais ideais da metodologia *lean* e como se desenvolveram ao longo dos anos para se moldar a novos mercados.

2.1.1 As Sete Perdas

A noção de “perda” no contexto fabril passou por transformações ao longo das décadas seguintes à Revolução Industrial. Frederick Taylor, considerado pai da Administração Científica e um dos pioneiros no estudo da eficiência na produção, vinculou o conceito basicamente ao desperdício de materiais, considerando a intervenção do operário existente, porém secundária. No final do século XIX, citou:

“Vemos e sentimos o desperdício de coisas materiais. Entretanto as ações desastradas, ineficientes e mal orientadas dos homens não deixam indícios visíveis e palpáveis. E por isso, ainda que o prejuízo diário daí resultante seja maior que o desastre das coisas

materiais, este último nos abala profundamente, enquanto aqueles apenas levemente nos impressionam” (TAYLOR, 1982)

Ford, em contrapartida, observou nas suas linhas de produção em massa que a ineficiência era ocasionada principal e justamente pela ação humana. No início do século, afirmou que “*os materiais nada valem, adquirindo importância na medida em que chegam nas mãos dos industriais*” (FORD, 1927, *apud* ANTUNES, 1995, p. 360)

Já na visão de Ohno (1997), “a verdadeira melhoria na eficiência surge quando produzimos zero desperdício e levamos a porcentagem de trabalho para 100%”. Após estudar o sistema norte-americano de produção em massa e identificar nele desperdícios que considerou serem o principal fator comprometedor da eficiência das fábricas, definiu as primeiras premissas do Sistema Toyota de Produção como “a eliminação de desperdícios e elementos desnecessários a fim de reduzir custos; a ideia básica é produzir apenas o necessário, no momento necessário e na quantidade requerida” (OHNO, 1997).

Ohno (1997) afirmou, ainda, que o primeiro passo para a aplicação do *Toyotismo* em uma organização seria identificar completamente os desperdícios nela existentes. Dessa forma, Ohno e Shingo propuseram uma tipologia denominada de “7 Grandes Perdas”, que classifica os sete principais tipos de desperdícios que podem ocorrer num sistema de produção. São eles:

2.1.1.1 Perda por superprodução

A perda por superprodução pode ocorrer de duas maneiras distintas: produzindo quantidades acima do necessário (superprodução quantitativa) ou antes do período de entrega (superprodução por antecipação). Ambos os modelos geram estoques desnecessários e contradizem o método *just-in-time* proposto por Ohno. Além disso, ela pode se propagar e gerar outros desperdícios, como depreciação do produto e movimentação prejudicada, sendo por isso considerada uma das piores perdas.

2.1.1.2 Perda por espera

Existem três tipos de perda por espera: espera do processo, espera do lote e espera do operador. A primeira (processo) ocorre quando existe falta de matéria prima no começo ou durante a operação, ocasionando na parada total ou parcial da produção; a segunda (lote) ocorre quando

peças, já manufaturadas ou não, precisam esperar outras peças do mesmo lote passem pelo mesmo processo, gerando estoques excessivos e podendo desencadear ociosidade de máquinas, peças e/ou operadores; a terceira (operador) ocorre quando o operador precisa esperar alguma máquina/equipamento terminar um processo para poder dar continuidade à sua função, ficando ocioso durante esse período.

Segundo Antunes (1995, p. 366), *“essas perdas também podem estar associadas aos períodos de tempo onde os trabalhadores e as máquinas não estão sendo utilizados produtivamente, embora seus custos horários continuem sendo despendidos”*.

2.1.1.3 Perda por inventário

Chamada também de perda por estoque, ocorre quando existem recursos ociosos (que não estão gerando valor) no sistema de produção, que geram a sobra de peças sobressalentes ou produtos acabados. Com isso, tem-se desperdício de investimento, espaço e movimentação na produção.

Foi um dos primeiros desperdícios identificados por Ohno durante seus estudos sobre o *Fordismo*, sistema que procurava justificar o inventário excessivo como produção preventiva. Ohno aboliu esse pensamento ao formular o Sistema Toyota, usando como principal premissa a procura pela eliminação de estoques sem comprometer o atendimento da demanda.

2.1.1.4 Perda por movimentação

Essa perda está relacionada a movimentação desnecessária dos operadores durante ou entre suas atividades, podendo ser causada por um *layout* não otimizado, desorganização no ambiente de trabalho ou falta de padronização dos processos. Dessa forma, Shingo afirma, é preciso reavaliar os movimentos dos trabalhadores de forma otimizada e ergonômica, além de garantir a fácil disposição e identificação dos itens a serem utilizados para as tarefas básicas em cada posto de trabalho.

2.1.1.5 Perda por transporte

A perda por transporte ocorre quando há deslocamentos de produtos e peças que não geram valor à produção, apenas custos. Geralmente ocorre quando o arranjo físico não é otimizado em relação aos caminhos a serem percorridos durante o processo produtivo, podendo criar estoques temporários e ociosidade na produção. Dessa forma, para mitigar esse tipo de perda, deve-se discutir a redução máxima possível da movimentação dos materiais (SHINGO, 1996).

2.1.1.6 Perda por processamento

Perda gerada pela maneira inadequada de operação das máquinas e equipamentos, fazendo com que estes operem abaixo de sua capacidade total ou realizando atividades desnecessárias, gerando um custo de oportunidade do capital investido no equipamento. Para evitá-la, é necessário rever o quê está sendo produzido e de que forma, para formular portfólios e métodos mais eficientes.

2.1.1.7 Perda por defeitos

Resultado da manufatura de produtos e/ou peças disformes em relação ao especificado ou que não satisfazem os requisitos para o uso, ocasionando mais dois possíveis desperdícios: retrabalho ou descarte, ambos muito prejudiciais para a produção. Para reduzir a ocorrência de defeitos, pouco são úteis as inspeções de qualidade pós-fabricação comuns nos sistemas de produção em massa, pois elas não evitam a fabricação de peças defeituosas. Segundo Feigenbaum, 1961, apud Chonberger, 1983, p. 39, *“o que se realça é a prevenção dos defeitos, de forma a tornar dispensável a fiscalização rotineira em amplitude tão grande. O ônus da prova da qualidade recai não sobre a fiscalização, mas sobre aqueles que fabricam a peça: o operador, o encarregado da montagem, o vendedor, conforme o caso”*. Deve-se, portanto, investir em métodos preventivos, como a utilização de dispositivos *Poka Yoke*. As inspeções, Shingo (1996) afirma, devem ter a função de identificar em que etapa do processo estão sendo gerados defeitos, para assim corrigir o problema.

Segue na Figura 1 um resumo das definições das 7 Grande Perdas proposta por Ohno.



Figura 1: Definição das "7 Grandes Perdas" da Produção

Fonte: elaborado pelo autor

2.1.2 Os 5 princípios

Visando a redução e eliminação dos desperdícios e perdas da produção, Womack e Jones (1998) definiram 5 princípios que resumem o sistema de manufatura enxuta. Se embasando nesses princípios, organizações podem gerir seus processos, pessoas e produtos de maneira mais enxuta e eficiente, minimizando os desperdícios na produção e gerando mais valor para o cliente. Estes cinco princípios são descritos brevemente em cada subseção específica a seguir.

2.1.2.1 Valor

A definição de valor é o primeiro passo para implementar o pensamento enxuto, porém, essa definição não parte da visão interna da empresa. É o cliente que define o que gera valor na concepção dele. Sendo assim, o produto ou serviço oferecido deve estar conforme com as necessidades do cliente, buscando fornecer o que o cliente procura a um preço e prazo adequados. Toda característica e função do produto que não gere valor para o cliente é uma oportunidade para repensar o *design* e propósito do produto.

2.1.2.2 Fluxo de valor

O segundo passo é identificar o fluxo de valor do processo. O fluxo de valor é definido por Salgado e Mello (2009) como “atividades específicas necessárias para projetar, produzir e oferecer um produto específico, da concepção ao lançamento, do pedido à entrega, e da matéria-prima às mãos dos clientes”. Sendo assim, o fluxo de valor é composto somente por atividades que são, de fato, necessárias para entregar um produto em conformidade com as necessidades do cliente. Para identificar esse fluxo, é necessário separar as atividades em 3 categorias: atividades que geram valor, atividades que não geram valor mas são necessárias e atividades que não geram valor e não são necessárias. Feito isso, fica evidente que atividades que não geram valor e não são necessárias devem ser eliminadas para tornar o processo mais otimizado.

2.1.2.3 Fluxo contínuo

Filtradas as atividades que são realmente necessárias, o próximo passo é refinar e fluidizar o processo. Segundo Womack e Jones (1998) “uma vez que, para determinado produto o valor tenha sido especificado com precisão, o fluxo de valor mapeado, as etapas que não agregam valor eliminadas, é fundamental que o valor em processo flua, suave e continuamente, dentro de três tarefas gerenciais críticas: solução de problemas, gerenciamento da informação e transformação física”.

Sendo assim, é necessário que as funções e as áreas da empresa sejam redesenhadas para atender de melhor maneira possível a geração do valor em processo, possibilitando, como objetivo final, a entrega de mais valor para o cliente.

2.1.2.4 Produção puxada

O conceito de “produção puxada” gira em torno de produzir somente o necessário, baseado no que o cliente precisa num momento determinado. Womack e Jones (1998) reforçam para fabricar produtos somente quando necessário e que, se possível, fabrique-se rápida e precisamente.

O propósito desse princípio é a redução e eliminação de estoques finais e intermediários sem deixar de atender as necessidades do cliente. É dever da empresa saber quando o cliente vai “puxar” a produção para melhor prever a demanda e atender a este princípio. Fabrique somente o necessário, no momento necessário.

2.1.2.5 Perfeição

Como em todos outros casos, a perfeição nunca poderá ser alcançada. No entanto, sua busca incansável é algo que deve fazer parte de qualquer sistema de manufatura enxuta. Segundo Womack e Jones (1998), aplicando os quatro princípios vistos anteriormente: definição de valor, mapeamento do fluxo de valor, otimização e fluidez do fluxo contínuo e produção puxada, novas oportunidades de melhoria aparecerão e novas iterações de aplicação dos cinco princípios deverão ser utilizadas para a melhoria contínua do sistema.

Os princípios descritos acima funcionam como base para a redução dos sete desperdícios vistos anteriormente. Definir o que é valor para o cliente de maneira precisa, mapear o fluxo e eliminar atividades que não agregam valor, fluidizar o fluxo e adaptar a estrutura da empresa para melhor atender as necessidades do cliente, eliminar estoques e fabricar somente o que for “puxado” pelo cliente no momento certo e, por último, buscar a perfeição através da melhoria contínua são fundamentos que levam à otimização dos sistemas de produção enxuta, minimizando ao máximo as perdas que podem ocorrer.

2.1.3 Ferramentas de Apoio

Apesar dos princípios do *Lean Manufacturing* oferecerem muita clareza sobre “o quê” é para ser feito, eles não discorrem muito sobre “como” é para ser feito. Sendo assim, diversas ferramentas foram desenvolvidas para auxiliar na implementação e manutenção de um sistema de manufatura enxuta. Segue a definição, conforme encontrada na literatura, de algumas das ferramentas mais importantes do *Lean* e que foram utilizadas no caso que será descrito em seguida neste documento.

2.1.3.1 Mapa do Fluxo de Valor

Como visto no segundo princípio da manufatura enxuta, a definição e mapeamento do fluxo de valor é de extrema importância para separar as atividades que são necessárias e geram valor para o cliente daquelas que não são. Neste contexto, ROTHER e SHOOK (1998) desenvolveram uma ferramenta chamada de “Mapa de Fluxo de Valor”, a qual definiram como a representação visual do fluxo total da produção, da matéria-prima ao consumidor, esquematizando todas as etapas pelas quais o produto é submetido durante o processo de manufatura. O mapa ainda traz os fluxos de informação entre *stakeholders*, o planejamento da produção e detalhes de tempo e inventário em cada estação de trabalho.

Os autores descrevem a ferramenta como extremamente benéfica por conta de diversos fatores, entre eles: a possibilidade de visualizar o fluxo da produção como um todo, permitindo entender a interação entre as partes – o que é impraticável ao se analisar as etapas isoladamente; a maior facilidade de encontrar os desperdícios e suas principais fontes ao longo do processo; e a mensuração de indicadores de tempo, inventário e número de operadores, por exemplo, que favorece o cálculo dos *lead times* e da eficiência como um todo. O VSM é, portanto, considerado uma ferramenta tanto diagnóstica quanto analítica.

Rother e Shook (1998) definem algumas medidas de tempo de produção importantes trazidas pelo mapa são:

- **Lead Time:** tempo que a peça leva para mover-se ao longo de todo o processo de produção, desde a entrada como matéria-prima até a saída como produto acabado. Em outras palavras, é o tempo total de produção de uma unidade da peça.
- **Tempo de Ciclo (T/C):** frequência com que uma nova peça sai de um determinado posto de trabalho, ou seja, intervalo de tempo decorrido entre a saída de duas peças consecutivas de uma etapa do processo.
- **TAV (Tempo de agregação de valor):** período do processo em que se produz artifícios pelos quais o cliente está disposto a pagar.

O Mapa do Fluxo de Valor pode aparecer em dois formatos: desenho da situação atual e desenho da situação futura (ideal). É comum, em projetos de implementação de manufatura enxuta que sejam mapeados os dois cenários. O primeiro, numa etapa inicial de projeto, para facilitar a visualização total do processo e a identificação de seus principais gargalos, considerando a análise

dos níveis de inventário e os cálculos dos tempos de produção. Assim que encontrados e discutidos os principais pontos de melhoria, traça-se uma estratégia de implementação, na qual o Mapa da Situação Futura se mostra uma ferramenta muito útil para visualizar o fluxo a ser instalado e o impacto que as melhorias propostas provocarão quanto à redução de tempo, estoques e custos. Segue na Figura 2 um exemplo de Mapa de Fluxo de Valor da situação atual para clarificar a visualização da ferramenta.

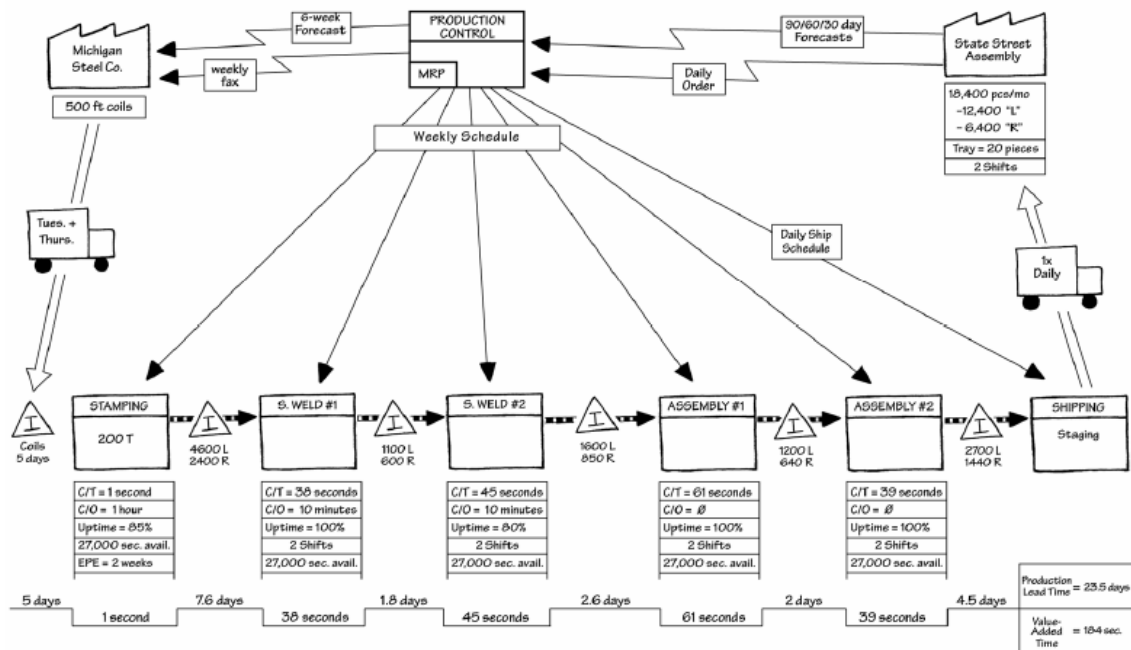


Figura 2: Exemplo de Mapa de Fluxo de Valor da situação atual.

Fonte: ROTHER e SHOOK, 1998

Antes de iniciar a esquematização do fluxo atual, é preciso ter conhecimento do processo de ponta a ponta, desde a colocação do pedido até a expedição para o cliente final. Também é importante saber informações sobre a demanda, volume e frequência de abastecimento, PCP e através de que sistema há a interação entre fornecedor, alta gerência, cliente e demais *stakeholders* que influenciem o processo de alguma forma. Quanto às etapas de transformação, é necessário reunir informações de tempo, eficiência, número de operadores, inventário resultante, entre outros. O mapeador, portanto, deve ser a princípio um grande pesquisador do processo em todas as suas minúcias.

Cada um dos fatores supracitados tem seu próprio ícone a ser utilizado para sua representação no VSM. As setas que representam fluxos de informações, materiais e comandos sistemáticos têm seu formato próprio, assim como os símbolos de transportes, clientes e *suppliers*. As estações de trabalho também têm padrão específico e devem ser desenhadas lado a lado, respeitando a sequência do processo de produção. Dessa forma, garante-se a universalidade do mapa, que poderá ser compreendido por qualquer indivíduo que a ele tenha acesso.

É importante ressaltar que, neste primeiro momento, todas as atividades devem ser mapeadas para identificar as que geram valor e as que não geram valor ao cliente. Estas últimas normalmente estão associadas a desperdícios e devem ser foco da formulação de melhorias. Ao reduzi-las, aproxima-se da melhor produtividade e eficiência do processo segundo o pensamento enxuto.

Womack e Jones (1996) definiram atividades agregadoras de valor e não agregadoras de valor conforme abaixo:

- **Atividades que agregam valor (AV):** Atividades realizadas durante o processo de produção que, aos olhos do cliente, tornam o produto mais proveitoso. Conhecendo as AV, pode-se calcular o TAV.
- **Atividades que não agregam valor (NAV):** Atividades realizadas durante o processo produtivo que, aos olhos do cliente, não incrementam benefícios à sua utilização. A identificação destas atividades pode ser feita através de um VSM e o objetivo principal da produção enxuta é atingir sua máxima redução.

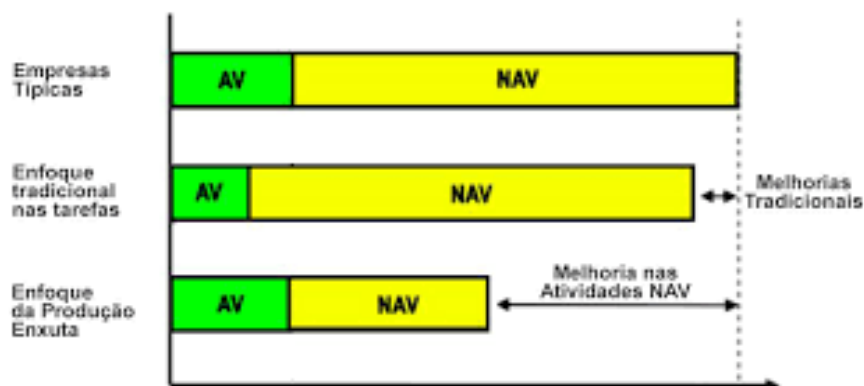


Figura 3: Enfoque da produção tradicional e enfoque da produção enxuta.

Fonte: Hines e Taylor (2000)

Como ilustrado na Figura 3, tradicionalmente as melhorias feitas são focadas nas atividades que agregam valor (AV) e não nas NAV que, em geral, apresentam um maior potencial de redução de tempo.

Com o fluxo atual em mãos, pode-se iniciar a análise das principais NAV e desperdícios e em que momento do processo eles ocorrem. Lista-se, em seguida, possibilidades de mitigação desses erros, que podem incluir a implantação de algumas das ferramentas *Lean* definidas mais a frente neste documento.

Após análise e decisão dos métodos a serem utilizados, traça-se o Mapa da Situação Futura, que ilustrará o mesmo fluxo com as mudanças propostas – permitindo, assim, verificar a eficácia do planejamento antes de implementá-lo de fato e visualizar o modelo de produção ideal para a empresa em análise. Conforme dito pelos próprios idealizadores, o processo de mapeamento do fluxo de valor:

“É seguir a trilha da produção de um produto, desde o consumidor até o fornecedor, e cuidadosamente desenhar uma representação visual de cada processo no fluxo de material e informação. Então, formula-se um conjunto de questões-chave e desenha-se um mapa do estado futuro de como o processo deveria fluir. Fazer isso repetidas vezes é o caminho mais simples para que se possa enxergar o valor e, especialmente, as fontes do desperdício” (ROTHER e SHOOK, 1998).

2.1.3.2 5S

Uma das ferramentas mais conhecidas e difundidas da manufatura enxuta, o 5S nasceu principalmente da necessidade de se organizar os postos de trabalho para eliminar desperdícios de movimentação, materiais e tempo para realizar uma atividade. Dessa forma, promove-se uma melhoria nas condições de trabalho que suscitem na redução de acidentes e maior motivação por parte dos trabalhadores (CORREA e CORREA, 2004)

O termo “5S” representa a reunião de cinco palavras de origem japonesa que começam com a letra S e, juntas, transmitem o conceito que esta metodologia pretende implementar às linhas de produção. De acordo com RIBEIRO (2006), estes 5 conceitos, que devem ser executados na ordem em que aparecem, como ilustrado na Figura 4, definem-se por:

2.1.3.2.1 Seiri

Utilização: diz respeito à eliminação de itens desnecessários a uma determinada estação de trabalho, mantendo apenas o que é essencial para a realização das atividades daquele local. Um método para identificar as ferramentas necessárias é marcá-las com uma etiqueta conforme são utilizadas e, ao final do turno, remover de cada posto as que não foram etiquetadas. Dessa forma, reduz-se também a quantidade de materiais, evitando confusões.

2.1.3.2.2 Seiton

Ordenação: após a seleção dos materiais, é necessário ordená-los de forma estratégica, visando aumento da produtividade. Pode-se, por exemplo, pensar na sequência de utilização de cada equipamento durante as tarefas e organizá-los dessa forma, facilitando a localização dos mesmos. Outra maneira é ordená-los por tamanhos – no caso de muitos materiais de mesma função –, que facilita a identificação do item a ser utilizado e a percepção caso algum deles não esteja no local correto.

2.1.3.2.3 Seiso

Limpeza: com os materiais selecionados e ordenados, deve-se promover a manutenção e limpeza dos mesmos, para garantir condições de trabalho adequadas. Deve-se também formular procedimentos que mantenham os postos limpos e organizados, como por exemplo a forma apropriada guardar a ferramenta após o uso e inspecionar possíveis danificações.

2.1.3.2.4 Seikets

Controle: para assegurar o cumprimento e manutenção dos três primeiros princípios, este penúltimo “S” determina que seja definida uma periodicidade de limpeza e auditoria das estações de trabalho, além de outros aspectos a serem controlados. O ideal é que essas definições sejam feitas por escrito e colocadas à disposição de todos os trabalhadores.

2.1.3.2.5 Shitsuke

Auto-disciplina: a última etapa deste método procura endossar a necessidade de manter os outros quatro aspectos funcionando de forma contínua. Para isso, é necessário medir a aderência dos funcionários – e da cultura da empresa em geral – a esse novo modelo através de comunicação direta e feedbacks. Empresas diferentes moldam-se ao 5S de formas diferentes, mas o objetivo é garantir que ele vire um hábito sustentável dentro das mesmas.



Figura 4: O programa 5S

Fonte: elaborado pelo autor

2.1.3.3 Trabalho padronizado (TP)

O Sistema Toyota de Produção (STP) introduziu também o conceito de Trabalho Padronizado, definido pela importância de haver padrões claramente definidos de produção, que descrevam todas as atividades em termos de conteúdo, sequência, tempo e resultados esperados. O objetivo das especificações detalhadas é fazer com que qualquer desvio seja imediatamente percebido para que suas causas sejam tratadas (SPEAR e BOWEN, 1999).

Liker e Meier (2007), afirmam que o TP consiste de uma especificação detalhada para as ações dos operários, de forma a produzir com um mínimo de perdas, em prazo adequado à demanda dos clientes e com baixo nível de estoque.

Em outras palavras, esta metodologia é centrada no estudo da otimização da movimentação do operador, de forma a reduzir perdas de movimento, tempo e estoque durante a realização das atividades. Deve-se, a princípio, definir os movimentos imprescindíveis para cada posto de trabalho

e pensar numa forma de torná-los os mais rápidos possível. Em seguida, analisando a movimentação atual de cada trabalhador, é preciso moldá-la ao cenário ideal formulado.

Baseando-se na repetição de movimentos, o Trabalho Padronizado atende aos princípios máximos do STP: *just-in-time* e *jidoka*, previamente descritos neste relatório. Portanto, para garantir a produção do necessário no tempo necessário, o TP foi formulado sobre três pilares:

- **Takt Time:** Define-se pelo tempo de trabalho disponível em um período sobre a demanda dos clientes a ser cumprida neste mesmo período. Em outras palavras, é o tempo de produção necessário para se produzir uma unidade do produto em análise (LIKER & MEIER, 2007). O objetivo é definir um ritmo de produção que não gere estoques
- **Sequência do trabalho:** Passo-a-passo detalhado de todas as micro atividades que devem ser realizadas para concluir determinada etapa do processo dentro to *takt time* (DENNIS, 2008).
- **Estoque padrão (*Work-in-Progress*):** Refere-se à quantidade específica de produtos semiacabados que se acumulam naturalmente ao longo da linha de produção e entre os postos de trabalho, garantindo a continuidade do processo (MONDEN, 1997). WHITMORE, 2008, ainda afirma que se há uma variação nessas quantidades, para mais ou para menos, algo está errado em algum ponto do processo produtivo.

2.1.3.4 Outras ferramentas e definições importantes

- **Diagrama de Pareto (curva ABC):** ferramenta idealizada pelo economista, sociólogo e engenheiro italiano Vilfredo Pareto para formalizar seu estudo sobre a distribuição de renda em diversos países da Europa no final do século XIX. Pareto observou que, nestes países, 80% da renda concentrava-se nas mãos de apenas 20% da população, independente da estrutura socio-econômica ou cultural de cada nação. Com isso, estabeleceu-se o chamado *Princípio 80-20* da distribuição de renda, que podia ser aplicado como uma lei universal à realidade de qualquer país da época.

A partir desta teoria, a *General Eletric* verificou que a utilização do princípio 80-20 poderia se estender para a administração de materiais e estoques, pois indicava a pequena parcela do portfólio de produtos (em torno de 20%) que demandava maior atenção por representar a maior parte (em torno de 80%) de fatores como custos, receita, produção ou ocupação de estoque. Com

isso, desenvolveu-se a curva ABC (ou Diagrama de Pareto, em referência ao idealizador do princípio), representação gráfica deste princípio que hoje, segundo Dias (2010, p. 77), já é empregada para priorização de produção, definição de políticas e demais tomadas de decisões dentro de grandes empresas.

Com a popularização da ferramenta, vários autores verificaram que as porcentagens de representação dos produtos observados podem variar de acordo com a natureza e a complexidade do sistema ao qual é aplicada. Viana (2010), define as classes da Curva ABC em:

- Classe A: representa aproximadamente 20% dos itens que são os mais importantes e requerem atenção especial;
- Classe B: aproximadamente 30% dos itens que devem ser tratados com importância intermediária;
- Classe C: os 50% de produtos restantes, que representam menor importância ao portfólio.

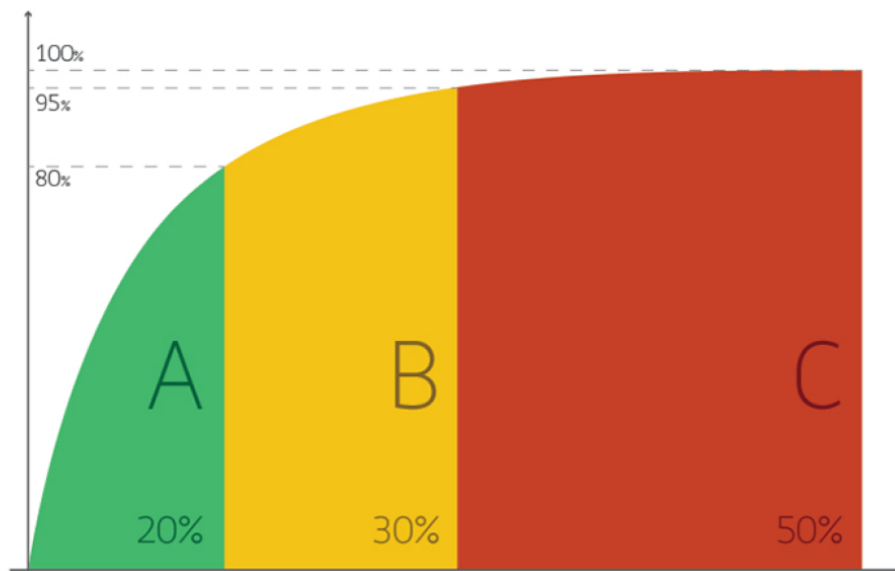


Figura 5: Representação da curva ABC.

Fonte: ENDEAVOR, disponível em: <www.endeavor.org.br>. Acesso em 20/08/2018

- **Make to Stock (MTS):** estratégia de produção em que a empresa produz itens padronizados em larga escala – por isso o nome de *Produção para Estoque* – com base em previsões de vendas (Pires, 2004). A influência do cliente neste modelo é indireta, através apenas de pesquisas de mercado que mensuram a performance e estimam a demanda do produto, mas sem interferência expressa na customização do mesmo.

- **Assembly to Order (ATO):** na *Montagem por Encomenda*, são produzidos inicialmente apenas os componentes dos produtos, que permanecem em estoques intermediários até que as vendas sejam realizadas (ROCHA, SCAVARDA & HAMACHER, 2005). Estas são feitas de maneira mais flexível, possibilitando ao cliente montar o produto usando módulos diferentes conforme suas preferências. A influência do consumidor final é, portanto, intermediária. Assim que determinadas as especificações das vendas, há um segundo ciclo produtivo em que as partes são manufaturadas juntas de acordo com a demanda diversa, produzindo um catálogo diferenciado de produtos.
- **Made to Order (MTO):** neste modelo estratégico, a produção só ocorre após a venda do produto, que é realizada segundo pedidos customizados dos clientes (*Produção sob Encomenda*). A interferência deste é, portanto, mais direta e determinará o que será manufaturado em chão de fábrica. A produção neste modelo poderá resultar em produtos inéditos e singulares (Pires, 2004).
- **Engineer to Order (ETO):** a *Engenharia sob Encomenda* é uma extensão do modelo MTO em que, além da etapa de produção, o projeto e engenharia do produto também são realizados segundo parâmetros do cliente (ROCHA, SCAVARDA e HAMACHER, 2005). O cliente tem, portanto, influência direta na customização e nas especificações técnicas do produto. Esse fator faz com que esta seja a estratégia de mais difícil controle, pois a linha de produção deve se adaptar aos diferentes pedidos e a previsão de demanda torna-se impraticável.

Pires classifica essas tipologias de produção segundo o nível de influência dos clientes na cadeia de suprimentos, que por sua vez é proporcional à variabilidade de customização do produto final. No entanto, conforme ilustrado pela Figura 6, há um *trade-off* em relação à personalização e o tempo de resposta aos pedidos, ou seja, existe uma relação direta entre o tempo de resposta e o nível de customização possível. Na Figura 6, por exemplo, nota-se que um tipo de produção Make to Stock (MTS) apresenta um baixo tempo de resposta e um baixo nível de customização, em contraste com um sistema Engineer to Order (ETO) que apresenta um alto nível de customização, e, em compensação, também apresenta um alto tempo de resposta.

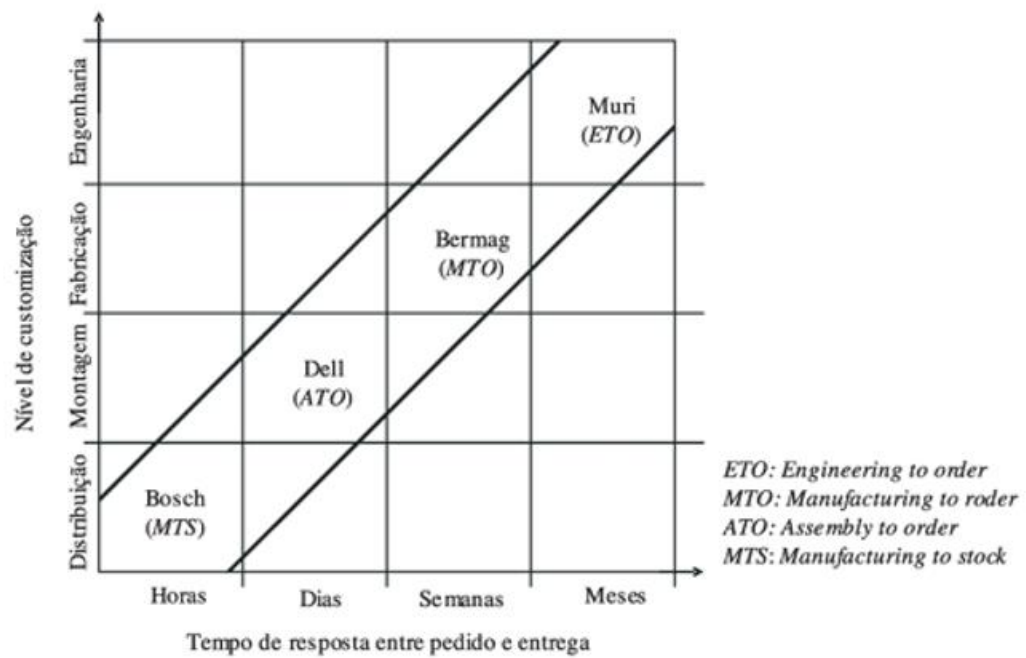


Figura 6: Matriz Tempo de Resposta x Customização

Fonte: PAIVA et al. (2004)

3 ESTUDO DE CASO

3.1 A Dynamic Air Brasil

Este estudo de caso foi realizado em uma empresa chamada Dynamic Air Brasil, localizada no interior de São Paulo, próximo a cidade de Nazaré Paulista. Durante julho de 2017, o autor fez um estágio na empresa em questão e ajudou na implementação do caso que será discutido a seguir. Os dados necessários para o estudo do caso foram disponibilizados pela própria empresa, mais especificamente, pelos setores de Gestão da Qualidade e Planejamento e Controle da Produção que deram muito apoio ao desenvolvimento do estudo.

A empresa será referenciada como D.A. Brasil ao longo do trabalho.

A D.A. Brasil é uma empresa de médio-grande porte, com aproximadamente 150 funcionários e atua, majoritariamente, no setor industrial metal-mecânico desenvolvendo sistemas de transporte pneumático de sólidos secos a granel. Segundo o site da empresa:

“A Dynamic Air Inc, é especialista em transporte pneumático de sólidos secos a granel para processamento industrial. Nós fabricamos equipamentos e sistemas para manuseio de uma grande quantidade de sólidos secos a granel, de sílica a açúcar, e contamos com mais de 15.000 sistemas instalados em todo o mundo”. (DYNAMICAIR, 2018)

A Figura 7 ilustra o conceito de um sistema de transporte pneumático:

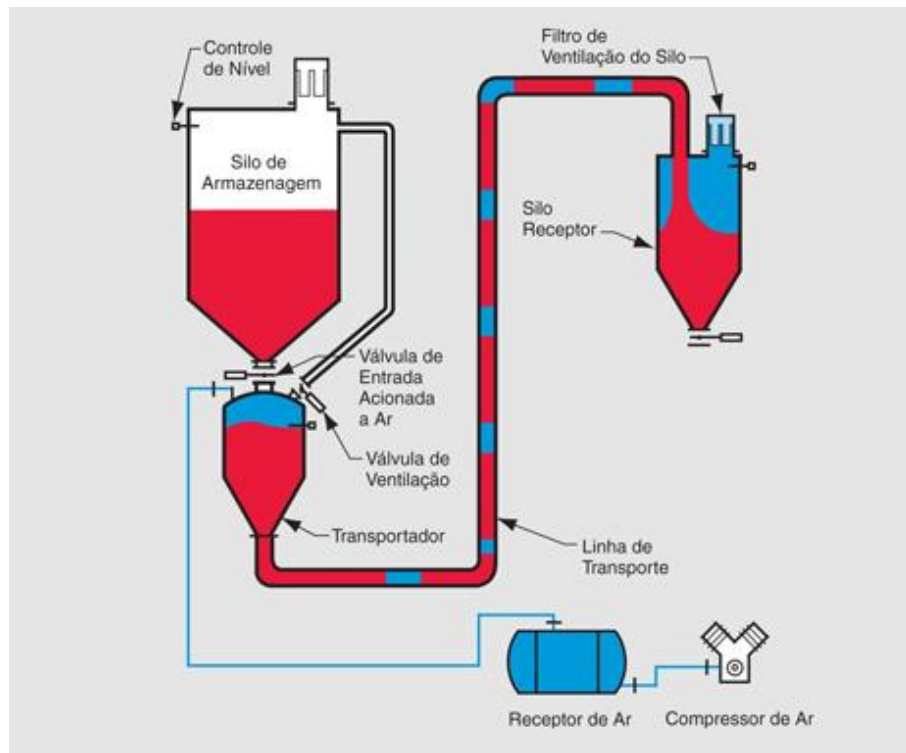


Figura 7: Esquema de transporte pneumático, conceito de Força Bruta HDP 1000 [1]

Fonte: DYNAMICAIR. Disponível em: <<http://www.dynamicair.com.br/>>. Acesso em: 20/08/2018.

O conceito básico de um sistema de transporte pneumático é a movimentação de sólidos secos a granel através de uma tubulação fechada para aonde quer que o material seja necessário. A Figura 7 deixa muito claro o conceito; o material está armazenado num silo e, através da gravidade, é inserido em um transportador juntamente com o ar comprimido que é provido pelo receptor e compressor de ar, após isso, o material é expelido pelo ar comprimido através da tubulação para chegar no destino final. Pode-se observar, ainda na Figura 7, a presença de um filtro de ventilação do silo (em cima e na direita da imagem), o propósito deste filtro é a coleta do pó do produto transportado para posterior recolocação no sistema, enquanto o ar filtrado pode sair novamente à atmosfera. Este estudo de caso será baseado na produção destes filtros, chamados internamente na empresa de ‘filtros cartucho’.

O transporte pneumático tem diversas vantagens em relação ao transporte mecânico convencional (onde um pistão/êmbolo empurra o material através de uma tubulação, conceito similar a uma seringa) entre elas:

- Economia de energia
- Limpeza mais fácil (sistema auto-limpante com o próprio ar comprimido)
- Menos estresse mecânico no material transportado
- Maior flexibilidade de uso (regulando parâmetros básicos do sistema, pode-se transportar diferentes materiais)

A empresa conta também com o fornecimento de peças de reposição, serviços de instalação e manutenção dos sistemas e serviços de processamentos de sólidos (especialmente moagem).

Apesar de haver diversos tipos de produção na D.A. Brasil, a empresa pode ser considerada, na maior parte, uma empresa de produção do tipo “*Engineer to Order*” (ETO), o que significa que a empresa desenvolve, projeta e fabrica os sistemas de forma customizada para cada cliente. Sendo assim, existe uma variabilidade infinita de possíveis sistemas a serem desenvolvidos e fabricados, dificultando a padronização dos processos de desenvolvimento e fabricação dos componentes, equipamentos e sistemas. O sistema ETO de produção também implica em tempo mais longos entre os pedidos dos clientes e as entregas dos sistemas pneumáticos, sendo que é necessário desenvolver a engenharia, fabricar, montar e distribuir o sistema.

3.2 História da Dynamic Air Brasil

A D.A. Brasil foi fundada nos anos 90 no estado de São Paulo com o objetivo de se tornar uma referência de transporte pneumático no Brasil. O site da empresa conta um pouco de sua história:

“A Dynamic Air Inc. foi fundada em 1969 em St. Paul, Minnesota, EUA, local de nossa sede. A Dynamic Air Inc. e suas subsidiárias no Brasil, na China e no Reino Unido oferecem fabricação local, vendas, engenharia e assistência técnica aos nossos clientes e representantes. Nossas instalações contam com uma planta-piloto para testes em escala industrial, que representa o “state-of-the-art” do transporte pneumático, onde seu material será analisado para determinar as exatas características de transporte”. (DYNAMICAIRS, 2018)

A D.A. Brasil nos anos 90 era uma empresa que fazia apenas a engenharia dos sistemas, toda fabricação, manutenção e instalação era terceirizada. Somente em 2001 que foi inaugurada a fábrica da D.A. Brasil em Nazaré Paulista, juntamente com um novo escritório no mesmo local. Em 2010 foi inaugurada a planta-piloto na fábrica, que é usada para testar diferentes tipos de materiais afim de determinar as melhores condições e características de transporte.

Desde então a empresa vem expandindo sua planta e adentrando em novos negócios, como prestação de serviços de moagem em 2016, mas seu negócio principal ainda é o transporte pneumático de sólidos à granel.

3.3 Brasil Mais Produtivo (B+P)

O caso que será estudado teve início através do programa ‘Brasil Mais Produtivo’, programa executado, majoritariamente, pelo SENAI.

Por meio de um contato da D.A. Brasil com o SENAI, foi realizada uma parceria entre as duas instituições a fim de melhorar a linha de filtros cartucho, o programa visa promover o crescimento industrial de pequenas e médias empresas atuando na gestão e otimização da produção. Segundo o site do programa B+P:

“O Brasil Mais Produtivo (B+P) é uma iniciativa do governo federal que visa elevar a produtividade das pequenas e médias empresas do Brasil, no sentido de enfrentar de maneira prática e assertiva um dos principais desafios para o desenvolvimento do país: o crescimento da produtividade industrial. A promoção desse crescimento passa por uma série de medidas, dentre elas, a melhoria da gestão e otimização da produção no chão-de-fábrica. Desse modo, o B+P Manufatura Enxuta visa difundir práticas consolidadas pela cultura de aperfeiçoamento contínuo como forma de aumentar a produtividade e reduzir perdas e desperdícios nos processos produtivos de empresas industriais.”¹

¹ BRASIL MAIS PRODUTIVO. Disponível em: <<http://www.brasilmaisprodutivo.gov.br/home.aspx>>. Acesso em: 06/08/2018.

3.4 O projeto

Em maio de 2017, após o SENAI firmar a parceria com a D.A. Brasil, foram identificadas algumas oportunidades de melhorias dentro da D.A. Brasil e as empresas optaram por realizar um projeto na linha de produção de filtros cartucho, sendo que havia lá uma grande oportunidade de melhoria e a linha de filtros é a única linha de produção do tipo *Make-to-Stock* (MTS) da D.A. Brasil e, portanto, é capaz de assimilar de maneira mais direta os conceitos do *Lean Manufacturing* em comparação a um tipo de produção *Engineering to Order* (ETO). Além disso, a escala do projeto era ótima para as limitações orçamentárias do programa.

O projeto foi executado de maio a agosto de 2017 contando com membros do SENAI e da DA. Brasil trabalhando em conjunto, para:

- Analisar a situação atual
- Propor quais seriam as melhorias realizadas
- Definir as ferramentas *Lean* que seriam utilizadas (que foram discutidas no capítulo 2 deste documento)
- Aplicar as ferramentas e melhorias
- Medir e documentar os resultados atingidos

3.4.1 Indicadores

Os principais indicadores que serão usados para medir o impacto do projeto são²:

- TAV
- Movimentação da operadora
- Produtividade

² *A definição de cada indicador se encontra no capítulo 2 deste documento

*Todos os cálculos relativos a produção dos filtros cartucho foram feitos com base em um lote de 4 filtros (sendo que este é o número máximo de peças que cabem no forno na etapa de aquecimento da resina).

3.5 Os filtros cartucho

3.5.1 Usabilidade:

Os filtros-cartucho da D.A. Brasil são componentes de alguns equipamentos que podem exercer funções variadas, mas, de maneira geral, os filtros separam o ar (fluido do sistema de transporte pneumático) do material (sólido a granel) que está sendo transportado no sistema, assim como qualquer filtro tradicional, porém, diferentemente da maioria dos filtros convencionais, o sólido retido precisa voltar ao sistema (sendo que o sólido é o produto transportado) e o ar é removido para a atmosfera.

Para clarificar o funcionamento do filtro, segue conceito do funcionamento de um coletor de pó Modu-Kleentm série 250, equipamento que usa os cartuchos filtro para a retenção de partículas. Segundo o site da D.A. Brasil:

“O Coletor de Pó/ Ventilação Modu-Kleen é projetado para silos ventilados, silos de estocagem, misturadores, sistemas de transporte pneumático de qualquer tipo, ou qualquer outro dispositivo que pode conter ou controlar partículas. Ele pode atender os códigos de poluição de ar mais restritos. O Coletor de Pó/ Ventilação Modu-Kleen é controlado eletronicamente e é auto limpante para mínima manutenção”³

³ DYNAMICAIR. Disponível em: <<http://www.dynamicair.com.br/>>. Acesso em: 06/08/2018.



Figura 8: Modu-Kleen™ Filtro 'Bin Vent' Tipo Mangas, série 250

Fonte: DYNAMICAIR. Disponível em: <<http://www.dynamicair.com.br/>>. Acesso em: 20/08/2018.

Typical application

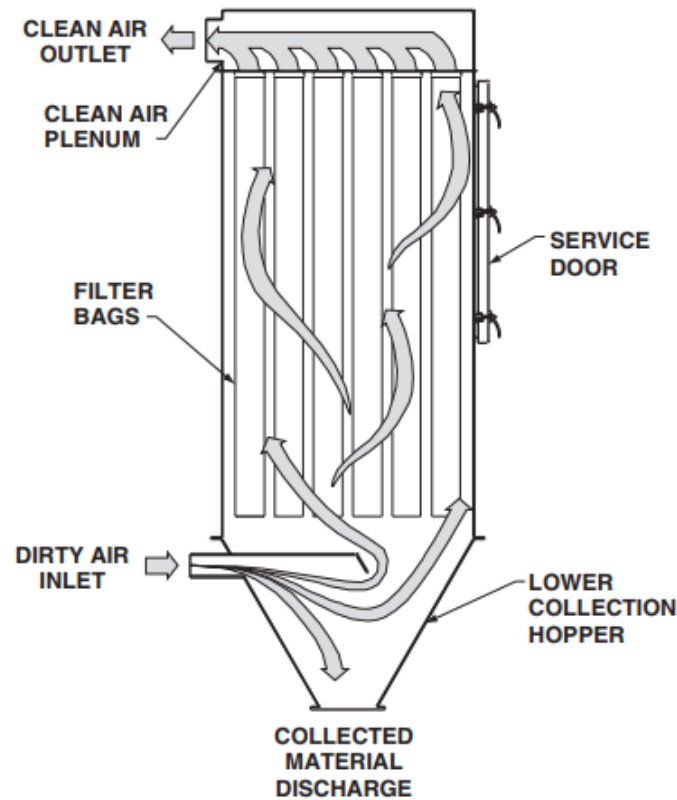


Figura 9: Aplicação do Modu-Kleen™ Filtro 'Bin Vent' Tipo Mangas, série 250

Fonte: DYNAMICAIR. Disponível em: <<http://www.dynamicaire.com.br/>>. Acesso em: 20/08/2018.

3.5.2 Descrição

Existem diversos modelos para os filtros-cartucho, porém este estudo foi feito considerando a produção do filtro cartucho 36", 76 pés 2, SB poliéster, AC, zincado, com selo BUNA-N-PTO (modelo 8061260) que representa, aproximadamente, 40% do consumo total de filtros.⁴

Este filtro é o mais utilizado nos sistemas de transporte pneumático por 2 principais motivos:

- Baixo custo: Devido ao material do elemento filtrante (SB poliéster) e das tampas (aço-carbono) este é um dos filtros mais acessíveis do portfólio da D.A. Brasil.

⁴ O consumo de filtros não é somente a vendas destes, também são considerados os filtros usados na planta-piloto e nos equipamentos de showroom na própria fábrica.

- Versatilidade: Por ser do tamanho mais comum nas indústrias e nos equipamentos fabricados na D.A. Brasil, além de apresentar a tampa de aço-carbono (as tampas de inox são usadas quase que exclusivamente para equipamentos que irão para a indústria alimentícia), este filtro satisfaz a maior parte das necessidades dos clientes.

Sendo que a produção de filtros é muito semelhante para todos os modelos, as mudanças, melhorias e adaptações que foram feitas considerando o modelo 8061260 são relevantes para todos os outros tipos de filtro.



Filtro Hypoly

Uma fina malha de tecido de poliéster como elemento filtrante renovável que combina alta eficiência, ótimo desprendimento e tolerância para um percentual de umidade elevado e vida útil prolongada.

Figura 10: modelo de filtros cartucho que será usado no estudo de caso –

Fonte: DYNAMICAIR. Disponível em: <<http://www.dynamicaire.com.br/>>. Acesso em: 20/08/2018.

Todos filtros apresentam 4 componentes principais:

- Corpo:

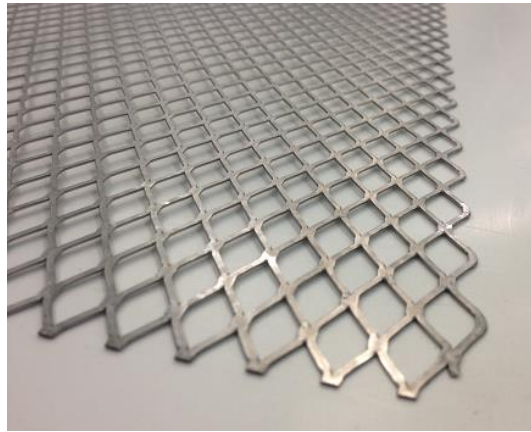


Figura 11: Tela de metal flexível que é a base para o corpo do filtro

O corpo do filtro é basicamente uma tela de metal que será calandrada e soldada para se manter em formato cilíndrico

- Elemento filtrante:



Figura 12: Elemento filtrante de poliéster do filtro cartucho

O elemento filtrante é o que, de fato, faz a filtragem no sistema. Existem diversos tipos de materiais que podem ser usados como elemento filtrante dependendo da aplicação necessária, porém, todos eles são não tecidos nos filtros da D.A. Brasil. Não tecidos são malhas de fibras que são orientados de maneira despadronizada, permitindo dobras plásticas no material, assim como um papel, porém, com uma resistência mecânica e potencial de reusabilidade muito maior.

Segundo a ABINT⁵ (Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos)

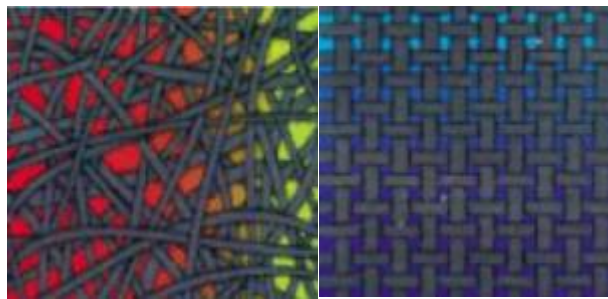


Figura 13: Comparação das malhas de Não tecido (a esquerda) e tecido (a direita)

Fonte: ABINT. Disponível em <<http://www.abint.org.br/naotecidos.html>>. Acesso em 10/07/2018.

- Tampas:



Figura 14: Tampas do filtro cartucho de aço-carbono após o jateamento

⁵ “Conforme a norma NBR-13370, Não tecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) e combinações destes.” Disponível em: <<http://www.abint.org.br/naotecidos.html>>. Acesso em: 06/08/2018.

As tampas dos filtros podem ser de aço carbono ou aço inox. As de aço carbono passam por uma etapa de jateamento da parte interna para aumentar sua aderência com a resina que será usada para fixar as tampas no corpo do filtro.

- Selo:



Figura 15: Selo usado para a fixação do filtro nos equipamentos

Os selos são posicionados em uma das extremidades dos filtros para a fixação destes nos equipamentos.

- Outros: Também é necessário para a produção dos filtros; resinas colantes (para fixar as tampas no corpo), cinta de não tecido com o logo da empresa (para fins meramente estéticos) e embalagem para transporte

3.5.3 Modelos e consumo

Atualmente existem 14 variedades, que se diferenciam por: material da tampa, material do elemento filtrante (não tecido), espessura do elemento filtrante e altura do cartucho. No gráfico de Pareto a seguir pode-se ver as vendas (consumo) dos filtros em 2017.

3.6 A linha de filtros

3.6.1 Descrição

Uma das únicas linhas contínuas da D.A. Brasil, a linha de filtros é essencial para a operação e manutenção de alguns equipamentos fornecidos pela D.A. Brasil. Sendo que a empresa trabalha primariamente com o sistema de *Enginner To Order* (ETO), fontes de receita contínuas, como o fornecimento de filtros para sistemas já instalados, são vitais para a boa performance da empresa.

Para entender melhor como os filtros são produzidos, segue o fluxograma da linha de produção dos filtros:

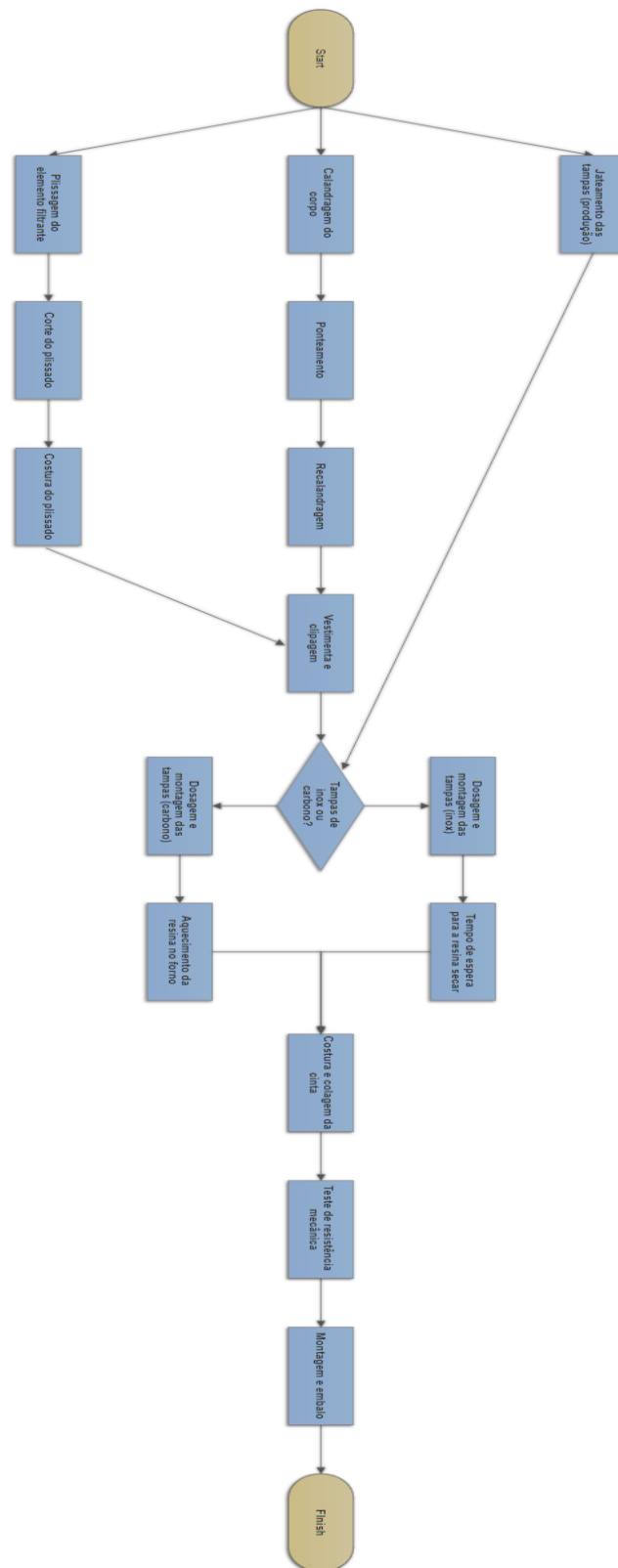


Figura 17: Fluxograma da situação pré-mudança da linha de filtros

A princípio, existem 3 atividades que podem ser feitas em paralelo, porém, devido a escala de produção, existe somente uma operadora na linha de filtros que executa todas as atividades com exceção do ‘jateamento das tampas’ que é realizado por outros funcionários que operam a máquina de jateamento. Sendo assim, o processo acaba sendo mais linear devido as limitações de operários.

No começo do processo, a operadora programa a máquina de contagem de plissas e corte do não tecido (o elemento filtrante) e enquanto a máquina funciona, a operadora segue para a calandragem do corpo do filtro, que é basicamente uma tela metálica com boa resistência mecânica, após a calandragem da tela, a operadora segue para realizar os ponteamientos de solda que mantém o formato circular da forma, porém, devido ao esforço que o corpo sofre durante o ponteamiento, o formato se torna levemente ovalado e então é necessária uma recalandragem do corpo para garantir o formato circular. Com o corpo do filtro calandrado e ponteadado, a operadora retorna a máquina de corte do não tecido e costura o elemento filtrante nele mesmo (resultando num formato cilíndrico do não tecido), a próxima atividade é a vestimenta e clipagem do elemento filtrante no corpo do filtro (até esta atividade todos os modelos de filtros seguem o mesmo processo). O único momento de decisão que afeta o processo é o material da tampa do filtro, que podem ser dois: aço inox ou aço-carbono. Caso o material for aço inox, só é necessário dosar a resina (cola que é usada para colar as tampas no filtro), posicionar a tampa de maneira adequada e esperar a resina secar. Caso o material for de aço-carbono, a resina de colagem é diferente e requer uma secagem a alta temperatura, sendo assim, é necessário o aquecimento do filtro em um forno. Aqui o processo volta a ser o mesmo para todos os modelos de filtros, o próximo passo é colar uma cinta de identificação da empresa D.A. Brasil no corpo do filtro (a cinta não exerce nenhuma aplicação prática) e realizar um teste de resistência mecânica (o filtro é fixado em uma das pontas e é submetido na outra a uma carga de 30 quilogramas). O filtro agora está pronto.

Para clarificar o processo, segue um detalhamento, com fotos, de cada etapa:

Jateamento das tampas



Figura 18: tampas dos filtros sendo jateadas

Nesta etapa, as tampas (superior e inferior) são jateadas na parte interna para aumentar a aderência com a resina que será usada para a alocação das tampas no corpo do filtro em uma outra etapa.

Calandragem e ponteamento do corpo

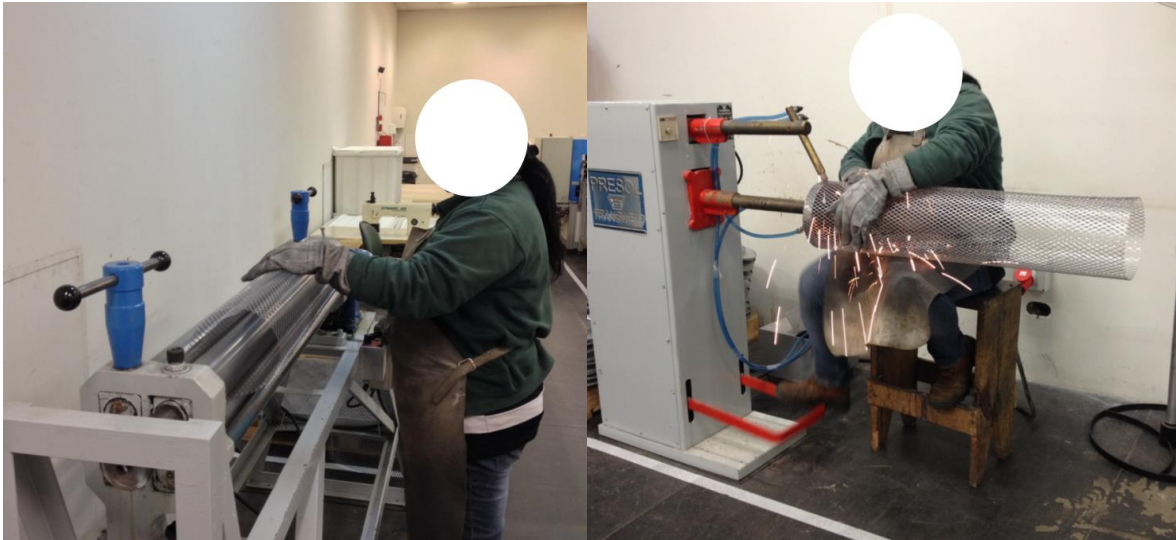


Figura 19: a esquerda, calandragem do corpo do filtro, a direita, ponteamento do corpo do filtro

A calandragem confere o formato cilíndrico do corpo do filtro e o ponteamento garante a estabilidade do corpo no formato desejado.

Plissagem do elemento filtrante

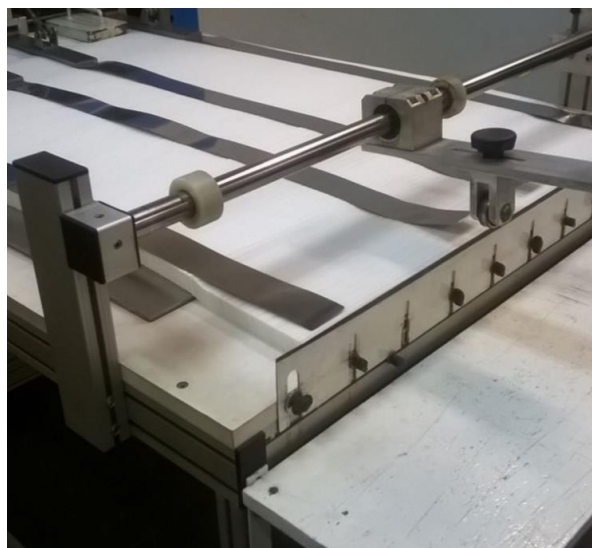


Figura 20: maquina fazendo a plissagem do nãotecido

Após o setup da máquina de plissas, a máquina começa a trabalhar automaticamente e marca a área de corte de até 3 elementos filtrantes (460 plissas).

Corte e costura do plissado



Figura 21: a esquerda, corte do elemento filtrante, a direita, costura do elemento filtrante

Depois que a máquina já fez as marcações e a plissagem, a operadora volta a máquina para fazer, manualmente, o corte. Em seguida, ela costura o elemento filtrante em si mesmo para conferir um formato cilíndrico para este também.

Vestimenta e clipagem



Figura 22: a esquerda, vestimenta do elemento filtrante no corpo, a direita, clipagem

A vestimenta é feita para juntar o elemento filtrante com o corpo do filtro e a clipagem para manter as plissas uniformemente distantes umas das outras.

Dosagem e alocação das tampas



Figura 23: a esquerda, dosagem da resina na tampa, a direita, alocação da tampa inferior

Assim que o corpo do filtro está alocado com o elemento filtrante, a operadora dosa a cola que vai fixar a tampa no cartucho, espalhando-a uniformemente. Após a dosagem, ocorre a alocação da tampa.

Aquecimento da resina no forno e colagem da cinta



Figura 24: a esquerda, filtro sendo alocado no forno, a direita, colagem da cinta

Para secar a resina, é necessário esquentá-la a uma temperatura de 186 graus Celsius por 25 minutos, sendo assim, a operadora posiciona o filtro no forno e, após 25 minutos, inverte o lado do filtro para esquentar a outra tampa por mais 25 minutos. Com a resina seca, o próximo passo é colar as cintas no filtro, para fins meramente estéticos.

Teste de resistência mecânica e embalo



Figura 25: a esquerda, teste de resistência mecânica, a direita, embalo do filtro

Com o filtro pronto, resta fazer o teste de resistência mecânica e embala-lo para o transporte.

3.6.2 Diagnóstico

Primeiramente, foi feita uma análise de movimentação da operadora durante um ciclo do processo (com base em um lote de 4 filtros) ilustrado pela figura 26:

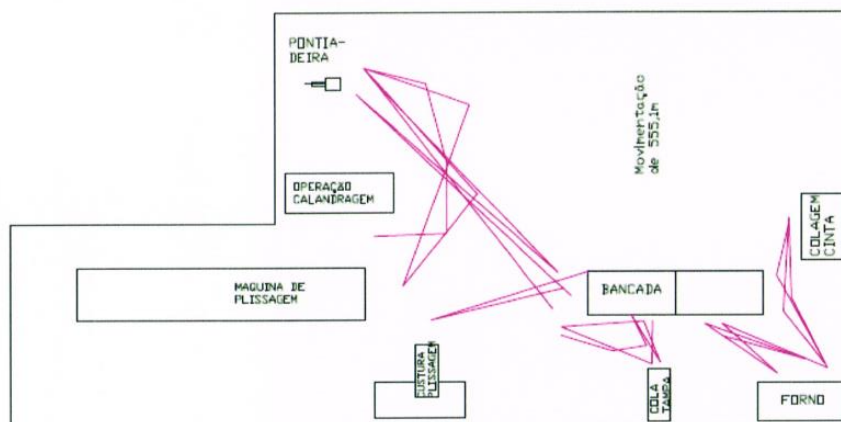


Figura 26: layout da situação pré-mudança com trajeto percorrido pela operária por ciclo (em rosa)

Fica claro na imagem que existe muita movimentação redundante de ida e volta em diversos momentos da produção. A operadora percorria, em média, cerca de 550 metros por ciclo de produção, o que parece demasiado considerando o processo e o tamanho da sala (foram feitas 4 medições em dias diferentes). Além disso, havia uma variação grande da movimentação necessária para produzir um lote (4 filtros) devido ao fato de que não existia áreas demarcadas para a alocação dos componentes e estoques dos materiais usados para a fabricação dos filtros cartucho, portanto, como não havia uma padronização, a operadora alocava os componentes de maneira inconsistente, mudando a localização dos componentes dependendo do dia.

Outra ferramenta que foi aplicada e que ajudou no diagnóstico da linha, foi o MFV, ilustrado pela figura 27:

Com o MFV, foram identificadas várias oportunidades de melhoria e traçado um plano de implementação que será discutido a seguir. Dentre as oportunidades identificadas encontram-se remoção de atividades NAV, redução dos tempos de atividades AV e maior uniformidade e diminuição do tempo de ciclo e *lead time*.

Analisando o MFV, pode-se notar rapidamente, que existem alguns estoques intermediários com uma quantidade que parece excessiva, como no primeiro processo (204,5 dias) em que estoque de tampas é muito grande devido ao fato que essas tampas são preparadas utilizando um equipamento de jateamento de limalha de ferro que requer um grande tempo de *setup*, na vestimenta (466,47 dias) pelo fato de que o elemento filtrante é importado da Ásia e, após feito o pedido, demora cerca de 6 meses para chegar ao Brasil e na calandragem (51,42 dias) pelo fato de que comprando lotes maiores de telas de metal o custo individual das telas diminui.

3.7 Principais Mudanças

Diagnosticada as principais oportunidades de melhoria na linha de filtros, foram traçadas as mudanças necessárias para melhoras os resultados com base nos indicadores vistos.

As principais mudanças foram:

- Diminuição do número de pontos de solda por peça
- Padronização da marcação da área de corte na plissagem
- Aumento da mesa da máquina de plissagem
- Uso de prendedor de folhas para auxiliar na vestimenta
- Isolamento do forno de aquecimento da cola
- Remoção da etapa de recalandragem
- Diminuição do movimento pela redefinição do layout

3.7.1 Diminuição do número de pontos de solda por peça

Durante a atividade de ponteamto de solda da chapa de metal (base para o elemento filtrante) a operadora realizava mais de 180 pontos de solda, demorando cerca de 2,32 minutos por

peça. Após uma análise de esforço mecânico, foi percebido que 20 pontos de solda eram suficientes para as exigências mecânicas do filtro, reduzindo o tempo de operação por peça em 1,82 minutos (tempo atual de 0,5 minutos por peça).

3.7.2 Padronização da marcação da área de corte na plissagem

Na atividade de corte do não-tecido, a contagem das plissas era extremamente irregular e causava uma grande quantidade de produtos não conformes: cerca de 16% das marcações estavam incorretas (com base em um rápido estudo que analisou 200 contagens e marcações), fazendo com que a operadora tivesse que contar manualmente o número de plissas para marcar a área certa de corte. Houve então um reparo no sistema de contagem e marcação da área de corte, gerando uma conformidade excelente (100%) na marcação das plissas. Reduzindo o tempo gasto para a atividade de corte das plissas de 1,28 minutos para 0,29 minutos.

3.7.3 Aumento da mesa na máquina de plissagem

Originalmente, a mesa de apoio da máquina de plissagem tinha somente capacidade para segurar 460 plissas (equivalente a 3 elementos filtrantes), com o aumento da mesa para uma capacidade de 1100 plissas (equivalente a 7 elementos filtrantes), a operadora ficava livre para outras atividades paralelas (calandragem e ponteamento, por exemplo), melhorando assim o TAV do processo.

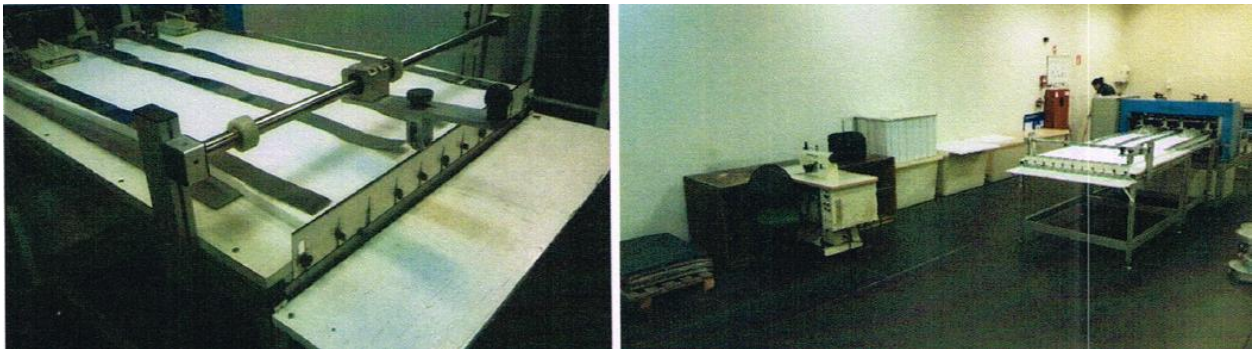


Figura 28: a esquerda temos a mesa antes do aumento, a direita depois do aumento.

3.7.4 Uso de prendedor de folhas para auxiliar na vestimenta

Na atividade de clipagem e vestimenta, clips de papel eram usados para fixar o elemento filtrante no corpo do filtro, esses clips foram substituídos por prendedores de folhas, que são muito maiores e firmes, fazendo com que menos tempo fosse gasto na fixação do elemento filtrante no corpo.



Figura 29: antes com clips de papel, depois com prendedores de folhas.

3.7.5 Isolamento do forno de aquecimento da cola

Havia um grande tempo de setup para o forno de aquecimento da cola chegar na temperatura ideal de 186 graus Celsius, assim como um grande gasto de energia elétrica. Após uma análise técnica do forno, foi percebido que havia uma grande perda de calor através das paredes de isolamento térmico, sendo assim, decidiu-se reforçar o isolamento térmico do forno com placas de metálicas produzidas na própria D.A. Brasil. Com o isolamento reforçado, o tempo de aquecimento do forno caiu de 100 minutos para 60 minuto (aproximadamente), resultando, por consequência, em uma economia na energia gasta no aquecimento. Também foi realizado um estudo do tempo de cura da cola e foi descoberto que eram necessários somente 15 minutos segundo as especificações do fabricante e não 25 minutos que era o tempo usado no procedimento.

3.7.6 Remoção da etapa de recalandragem

Por consequência da mudança realizada no procedimento de ponteamto (de 180 pontos de solda para 20, aproximadamente), o esforço causado no corpo do filtro diminuiu drasticamente e, portanto, não era mais necessário a recaladragem para garantir o formato cilíndrico do corpo.

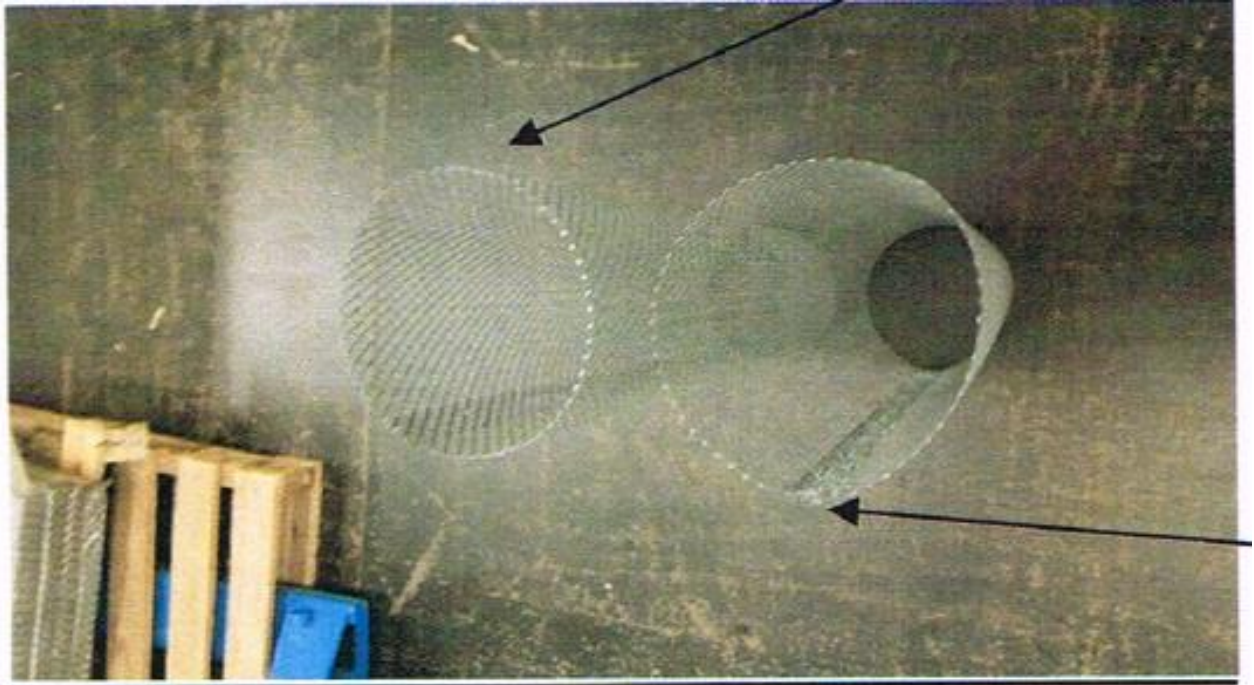


Figura 30: a esquerda, corpo após ponteamto de 20 pontos de solda, a direita, corpo ovalizado com 200 pontos de solda.

3.7.7 Diminuição do movimento pela redefinição do *layout* (5S)

Pela demarcação de áreas específicas para o armazenamento de cada componente do filtro, realocamento de equipamentos e otimização do trajeto de produção, conseguiu-se reduzir em, aproximadamente 82% a movimentação da operadora (de 555,1 metros para 99,4 metros), como podemos ver na Figura 31:

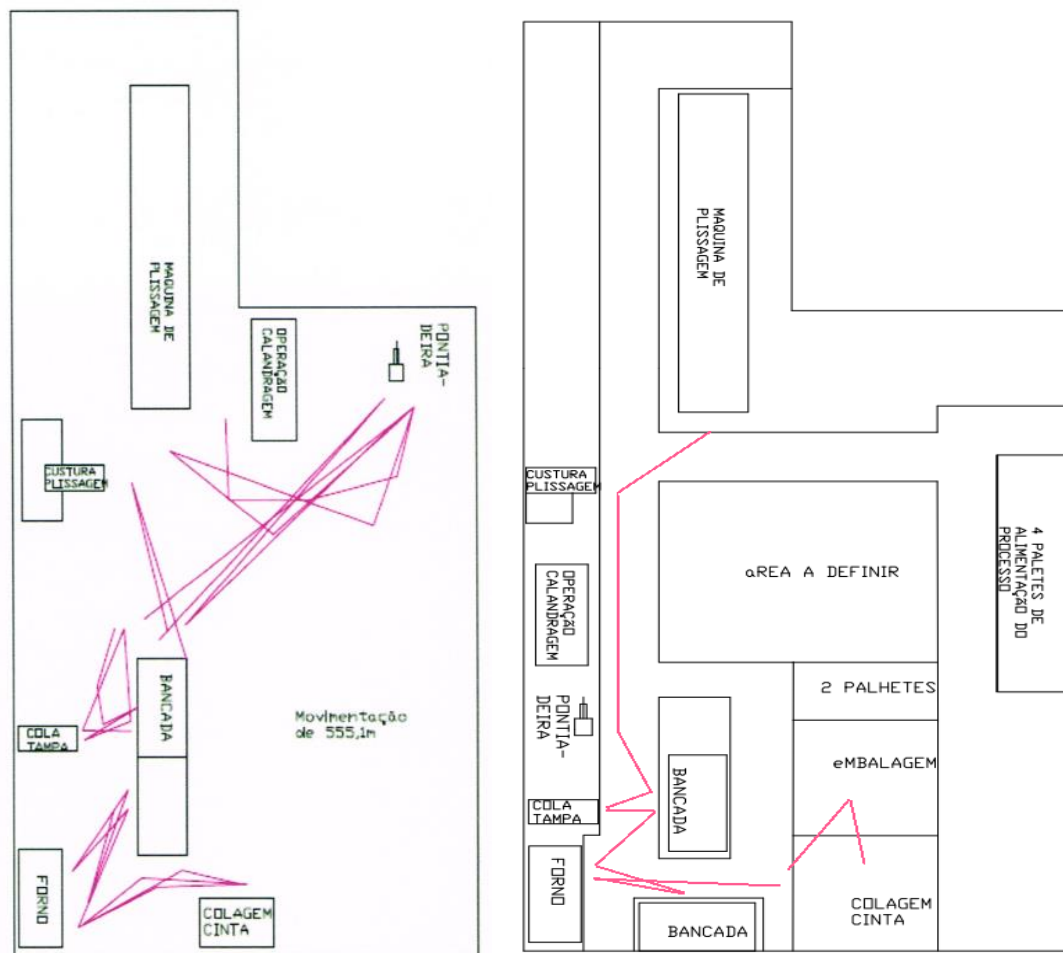


Figura 31: Comparativo entre a movimentação da operadora no *layout* inicial versus *layout* final

Não só foi reduzido o esforço físico necessário pela operadora, como foi também reduzido o tempo de atividades que não agregam valor no processo de 7,7 minutos para 1,38 minutos para a produção do mesmo lote de 4 filtros cartucho.

Outras mudanças de gestão visual e organização foram feitas também:



Figura 31: elementos de gestão visual aplicados na linha (demarcações no chão e placas indicadoras da sequência do processo)



Figura 32: comparativo entre o armazenamento dos plissados antes e depois do 5S

3.8 Resultados

Realizadas as mudanças nos processos e procedimentos da linha de filtros cartucho, os resultados foram extremamente satisfatórios sendo que a meta proposta pelo SENAI era de uma melhoria de apenas 20% de produtividade e redução de 20% de movimentação, especialmente quando considerado que houve pouco investimento monetário para realizar o projeto.

Jateamento	Calandragem	Ponteamento	Recalandragem	Plissagem	Corte Plissado	Costura Plissada	Vestimenta	Clipagem	Dosagem T.S	Montagem T.S	Forno T.S	Dosagem T.I	Montagem T.I	Forno T.I	Costura Cinta	Colagem Cinta	Teste Resist.	Mont. Caixa	Embalagem	Tempo de processo
0.82	0.91	2.32	0.72	2.84	1.28	0.66	0.21	0.74	0.55	1.10	6.75	0.55	1.71	6.75	0.36	3.62	2.20	0.62	1.09	34.98

Figura 33: TAV antes do projeto de melhoria

Jateamento	Calandragem	Ponteamento	Plissagem	Corte Plissado	Costura Plissado	Vestimenta	Clipagem	Dosagem T.S	Montagem T.S	Forno T.S	Dosagem T.I	Montagem T.I	Forno T.I	Costura Cinta	Colagem Cinta	Mont. Caixa	Embalagem	Tempo de processo
0.82	0.89	0.50	2.43	0.29	0.66	0.22	0.10	0.32		3.75	0.32		3.75	0.36	3.62	0.62	1.09	18.92

Figura 34: TAV depois do projeto de melhoria

Pode-se notar que o TAV foi reduzido em quase metade de seu valor original, uma mudança extremamente significativa.

Produção inicial = $\frac{\text{Tempo diário}}{\text{Tempo Inicial TAV} \times \text{numero funcionario}}$	12.33447684
Produção Final = $\frac{\text{Tempo Diário}}{\text{Tempo Final TAV} \times \text{numero funcionario}}$	22.80443975
Produtividade = $\frac{\text{Produção Final} - \text{Produção Inicial}}{\text{Produção Inicial}}$	84.9%

Figura 35: formulas e cálculo do incremento de produtividade

Indicadores de desempenho				
Indicador	Medição Inicial	Meta	Medição Final	Resultado
Produtividade	14,51 pçs/dia/op	20%	26,80 pçs/dia/op	84,7%
Movimentação	555,1m	20%	99,4m	498,45%

Figura 36: resultados obtidos em termos de produtividade e movimentação.

Como pode-se perceber pelas figuras, a produtividade diária foi aumentada em quase 85% e a movimentação foi reduzida em 82%, apesar de indicadores simples, fica muito evidente que houve uma melhoria significativa na produção de filtros cartucho. Vale lembrar que todos estes cálculos foram feitos com base em um só modelo de filtro, porém, as fabricações de todos os modelos são muito semelhantes e, portanto, as melhorias se traduzem de maneira similar para os outros modelos.

Apesar de que a demanda já era atendida antes das melhorias feitas (o Takt Time é de 41,6 minutos por peça e a produção era de 33,1 minutos por peça), agora que o ritmo de produção é de 17,9 minutos por peça, a operadora da linha pode ser alocada em outras linhas e áreas da empresa conforme a necessidade, fazendo com que a empresa aproveite de maneira mais efetiva seus recursos humanos. Além disso, a D.A. Brasil está mais preparada para um aumento significativo da demanda de filtros cartucho que pode ocorrer a qualquer momento devido à volatilidade da demanda e ao aumento da penetração de sistemas da D.A. Brasil no mercado.

3.9 Futuras oportunidades de melhoria

Durante a execução do projeto, outras oportunidades de melhoria foram encontradas e já estão sendo planejadas para serem implementadas nos próximos anos, algumas das melhorias que serão mais impactantes, são:

- **Mudança de resina usada na alocação das tampas dos filtros de inox e expansão do forno:**

Está sendo desenvolvido, juntamente com o fornecedor, um plastisol atóxico específico para este tipo de aplicação. Comparando o plastisol com a resina utilizada hoje, o plastisol é mais barato e demanda menos tempo para secar, o único ônus é que o plastisol precisa de calor para secar (assim como a resina usada na fabricação dos filtros com tampa de aço carbono), porém o tempo de secagem passará de 8 horas para 30 minutos. Esta melhoria será especialmente interessante quando o forno for expandido, passando de 4 para 12 filtros sendo aquecidos simultaneamente, outra melhoria que está prevista para o segundo semestre de 2018.

- **Redução dos estoques intermediários e finais:**

Pelo fato de que a linha de filtros ainda não representa uma grande fonte de receita para a D.A. Brasil, ainda não foram feitos estudos sobre a redução de estoques intermediários e finais na produção, resultando, muitas vezes, em estoques excessivos de componentes intermediários dos filtros e estoque sobressalentes de produtos prontos.

Existe um cálculo e acompanhamento de um estoque de segurança pelo departamento de controle e planejamento de produção, porém, devido à falta de comunicação com a operadora, muitas vezes o estoque de filtros fica muito acima ou muito abaixo do estoque de segurança, como podemos perceber na imagem a seguir:

BALANÇO DE ESTOQUE - ACUMULADO 2018								
ITEM	DESCRIÇÃO	RESINA UTILIZADA	CONSUMO	MÉDIA / MÊS	TEMPO DE	FILTROS	ESTOQUE	ESTOQUE
			ACUMUL. (unidades)	HISTÓRICO (unidades)	ESTOQUE (meses)	ACUMUL. (unidades)	SEGURANÇA (unidades)	TOTAL (unidades)
8061260	CARTUCHO 36",76 PÉS 2,SB POLIÉSTER,AC,ZINCO		405	84.5	2	339	125	158
8067394	CARTUCHO 36",76 PÉS 2,SB POLIÉSTER, AI 304, C		340	23.9	2	403	65	53
8061264	CARTUCHO 36",76 PÉS 2,SB POLIÉS.,HW L2270A		50	6.0	13	130	32	80
9014491	CARTUCHO 36",115 PÉS²,PLISSA 2",SB POLIÉSTER		35	2.1	13	48	11	27
8061261	CARTUCHO 18",38 PÉS 2,SB POLIÉSTER;AC,ZINCO		74	7.8	19	103	16	152
8060555	CARTUCHO 18",38 PÉS 2,SB POLIÉSTER, AI304; S		141	18.3	4	204	46	71
8061250	CARTUCHO 36",114 PLUS,2",SB POLIÉSTER,RESI		28	14.5	2	56	35	28
9005010	Cartucho 18", 38 pés², Plissa 1", SB Polyester A		8	9.2	2	24	36	16
9007300	CARTUCHO 8",5 FT²,SB POLIÉSTER,INOX		4	0.7		4	3	0
8061270	CARTUCHO 36",76 PÉS 2,SB POLIÉSTER,ALTA EF			0.9	57		8	52
8067396	CARTUCHO 36",76 PÉS 2,SB POLIÉSTER, AI 316L		6	2.8	16		9	44

Figura 37: balanço do estoque de filtros em 2018

Portanto, um estudo de planejamento de estoques seria muito importante para a empresa alocar seus recursos de forma mais efetiva.

4 CONCLUSÃO

Mesmo com a filosofia do *Lean Manufacturing* presente em diversas empresas no Brasil e no mundo, ainda há muito espaço para a implementação de conceitos e ferramentas do *Lean* na indústria.

No presente estudo, pode-se ver que princípios simples da manufatura enxuta são capazes de fazer uma grande diferença nos resultados de produção se aplicados de maneira correta. Mesmo com os conceitos teóricos da manufatura enxuta muito difundidos, as adaptações necessárias para a aplicação na prática podem limitar, em muitos casos, o potencial de resultados que o *Lean* traz.

Neste caso, algumas das limitações do projeto foram: um orçamento restrito, poucas pessoas envolvidas no projeto e um curto espaço de tempo para planejar e implementar as melhorias. Apesar destas limitações restringirem a profundidade de aplicação da manufatura enxuta, elas representam de forma precisa a situação de muitos projetos no Brasil. Descobrir maneiras de superar estas limitações e barreiras é parte fundamental da aplicação do *Lean* em quase todos os projetos de melhoria e implementação, sendo assim, espera-se que este estudo de caso possa servir como base para outras aplicações práticas de ferramentas e conceitos enxutos nos mais diversos ambientes produtivos.

A D.A. Brasil e o SENAI ficaram satisfeitos e impressionados pelos resultados atingidos no projeto. Com pouco tempo e recursos limitados para a aplicação das ferramentas, houve um aumento de, aproximadamente, 85% do potencial produtivo da linha e uma redução perto de 80% na movimentação da operadora quando produzindo um lote de quatro filtros cartucho. Sendo estes os principais indicadores do projeto e a meta proposta pelo SENAI era de um incremento/redução de 20% respectivamente, pode-se dizer que o projeto foi bem-sucedido. Porém ainda existem muitas oportunidades de melhoria na linha de filtros da D.A. Brasil, este caso foi só o primeiro passo para transformar a linha em uma linha de produção realmente enxuta. Os próximos passos incluem um estudo de redução de estoques e a busca de outras possíveis aplicações para os filtros cartucho afim de aumentar o consumo destes e diversificar ainda mais as fontes de receita da empresa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, Ricardo. **Adeus ao trabalho? Ensaio sobre as metamorfoses ea centralidade do mundo do trabalho**. São Paulo: Cortez, 1995.

BRASIL MAIS PRODUTIVO. Disponível em:
<<http://www.brasilmaisprodutivo.gov.br/home.aspx>>. Acesso em: 06/08/2018.

CARDOZA, Edwin; CARPINETTI, Luiz. Indicadores de desempenho para o sistema de produção enxuto. **Revista Produção Online**, v. 5, n. 2, 2005.

DENNIS, Pascal. **Produção Lean simplificada**: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo (pp. 01-43). 2008.

DOS REIS, Antonio Carlos Coutinho. **Implementação da Manufatura Enxuta na General Motors do Brasil**: Avaliação do Desdobramento do Plano de Negócios na Planta S-10. 2004.

DYNAMICAIR. Disponível em: <<http://www.dynamicair.com.br/>>. Acesso em: 06/08/2018.

GHINATO, P. **Publicado como 2º. cap. do Livro Produção & Competitividade**: Aplicações e Inovações, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Edit. da UFPE, Recife, 2000.

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

MACHADO, Ricardo L.; HEINECK, Luiz Fernando M. **Estratégias de produção para a construção enxuta**. Acesso em, v. 30, 2015.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção – além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PIRES, António Ramos. **Qualidade: sistemas de gestão da qualidade**. 2004.

RIBEIRO, Haroldo. A bíblia do 5S, da implantação à excelência. **Salvador: Casa da qualidade**, 2006.

ROCHA, EVM; SCAVARDA, L. F.; HAMACHER, S. Considerações sobre a produção sob encomenda e customização em massa aplicadas à indústria automotiva. **XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre**, v. 29, 2005.

ROOS, Daniel; WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **A máquina que mudou o mundo**. São Paulo, 1992.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Learning to See - Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda**, The Lean Enterprise Institute, MA, USA, 1998.

SALGADO, Eduardo Gomes et al. Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos. **Gestão e Produção**, v. 16, n. 3, p. 344-356, 2009.

SCHONBERGER, Richard J.; GILBERT, James P. Just-in-time purchasing: a challenge for US industry. **California Management Review**, v. 26, n. 1, p. 54-68, 1983.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção**. Bookman Editora, 1996.

SPEAR, Steven; BOWEN, H. Kent. Decodificando o DNA do Sistema Toyota de Produção. **Harvard Business Review**, p. 97-106, 1999.

VIANA, Daniela D. et al. A survey on the last planner system: Impacts and difficulties for implementation in Brazilian companies. In: **ANNUAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION**. 2010.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma: Introdução Às Ferramentas Do Lean Manufacturing**. Elsevier, 2ªed. Rio de Janeiro, p. 70-95, 2011.

WOMACK, James P.; JONES, Daniel T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. 4a Edição. Rio de Janeiro, 1998.

THIOLLENT, Michel. **Pesquisa-ação nas organizações**, Atlas Editora, 2008.