

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Janamilton Medeiros Oliveira

**TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA COM AUXÍLIO
DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA EM
PROCESSO DE EXTRUSÃO DE COMPOSTOS**

Taubaté-SP

2013

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Janamilton Medeiros Oliveira

**TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA COM AUXILIO
DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL APLICADA EM
PROCESSO DE EXTRUSÃO DE COMPOSTOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre no curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes

Taubaté-SP

2013

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas – UNITAU - Biblioteca de Engenharia Mecânica**

O482t Oliveira, Janamilton Medeiros
Troca rápida de ferramenta com auxílio de simulação
computacional aplicada em processo de extrusão de
compostos. / Janamilton Medeiros Oliveira - 2012.

47f. : il; 30 cm.

Dissertação(Mestrado em Engenharia Mecânica na
área de Produção Mecânica) – Universidade de Taubaté.
Departamento de Engenharia Mecânica, 2012

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do
Patrocínio Nunes, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. SMED. 2. Setup. 3. Simulação. 4. Extrusão de
compostos. I. Título.

JANAMILTON MEDEIROS OLIVEIRA

**TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTA COM AUXILIO DE SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL APLICADA EM PROCESSO DE EXTRUSÃO DE
COMPOSTOS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre no curso de pós-graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes

Data: 29 de janeiro de 2013

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes

Instituição _____

Presidente da banca – Orientador

Assinatura _____

Profa. Dra. Valesca Alves Correa

Instituição _____

Assinatura _____

Prof. Dr. Francisco Antonio Lotufo

Instituição _____

Assinatura _____

Dedico este trabalho a minha filha Milena e a minha esposa Adriana pelos bons momentos que estamos passando juntos, e aos meus pais que sempre empenharam na minha educação.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes, pela condução, paciência e auxílio na elaboração desta dissertação.

Aos professores do curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica, ao qual participei, pelos conhecimentos passados.

À Universidade de Taubaté pela oportunidade da realização do Curso de Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica, na área de concentração Produção Mecânica.

Às secretárias da pós-graduação pela dedicação e atendimento.

À empresa que foi objeto de trabalho desta dissertação.

Aos funcionários da empresa pelo trabalho e dedicação colocados na desafiante meta para redução dos tempos de setup.

Aos colegas que diretamente ou indiretamente participaram desta dissertação.

Aos colegas do curso pelo incentivo e companheirismo.

RESUMO

A competitividade vem transformando os ambientes de manufatura, onde as empresas com processos cada vez mais complexos procuram reduzir os desperdícios gerados no ambiente fabril que não agregam valor ao produto e desse modo o *setup* de máquina engloba tempo ocioso. A metodologia de troca rápida de ferramenta é utilizada para reduzir os tempos de *setup* aumentando a produtividade da linha onde é implantado. Esta dissertação tem como objetivo principal implantar a técnica de troca rápida de ferramenta em uma linha de extrusão de compostos poliméricos com auxílio de simulação computacional. A empresa produtora de compostos poliméricos tem como meta ser referência mundial em tempo de *setup* com relação a outras plantas e dessa forma justifica-se a implantação da troca rápida de ferramenta em sua linha de produção. Esta dissertação utiliza uma abordagem quantitativa com diagnóstico da situação atual, por meio de documentos e métodos utilizados, e experimentação com intervenção das variáveis com simulação computacional e modificação da situação atual sugerida pela simulação. Os resultados obtidos após a implantação das melhorias foram expressivos e, seguindo as etapas proposta pela literatura, conseguiu-se chegar, em determinados casos de *setup*, à troca de ferramenta em um toque e dessa forma, utilizando a metodologia de troca rápida de ferramenta como ferramenta de melhoria contínua, foi possível atingir a meta na redução do tempo de *setup*.

Palavras-chave: SMED; *Setup*; Simulação; Extrusão de compostos.

ABSTRACT

The competitiveness has transformed manufacturing environments, where the company's processes with increasingly complex seeking to reduce waste generated in manufacturing environment that not add value to the product and thus the *setup* machine downtime includes wasting time. The methodology for rapid exchange tool is used to reduce the time *setup* increasing productivity line where is implanted. This work must a main goal is implement as a technique for quick change tool in a line of extrusion of polymeric compounds with aid of computer simulation. Company producing polymeric compounds have as goal to be world in reference time *setup* with respect to other plants and accordingly justified the implementation of rapid exchange tool in your production line. This work have a approach quantitative diagnosis with the current situation, by means of documents and methods used, and trial with intervention of variables with computer simulation of the current situation and changes suggested by simulation. The results obtained after the implementation of expressive and improvements have been following the steps for proposal literature, got to get up, in certain cases of *setup*, the "one touch exchange of die" and thus using the rapid exchange tool methodology as a tool for continuous improvement, attained the goal in reducing *setup*.

Keywords: SMED; *Setup*; Simulation; Compound extrusion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Linha de extrusão	15
Figura 02 – Unidade repetidora do polipropileno	18
Figura 03 – Conceito de materiais compostos	19
Figura 04 – Processo de extrusão	20
Figura 05 – Componentes básicos de uma extrusora	21
Figura 06 – Conceito do tempo de setup	24
Figura 07 – Estágios conceituais para a melhoria e setup	25
Figura 08 – Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação	29
Figura 09 – Grânulo de polipropileno	31
Figura 10 – Esquema gráfico de uma linha de extrusão	31
Figura 11 – Rosca helicoidal de dosador gravimétrico	32
Figura 12 – Extrusora dupla-rosca	32
Figura 13 – Distribuição do tempo ocioso de máquina	33
Figura 14 – Simulação da situação atual	36
Figura 15 – Simulação com sugestões de melhoria	37
Figura 16 – Terceira modificação (fixadores)	38
Figura 17 – Simulação com sugestões de melhoria – SMED/OTED	40
Figura 18 – Tempo de setup – OTED	42
Figura 19 – Evolução da redução do tempo de setup	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Atividades executadas pelos operadores	35
Tabela 02 – Comparação dos resultados	41

LISTA DE ABREVIATURAS

JIT	– <i>Just In Time</i>
NOTED	– <i>Non touch exchange of die</i>
OTED	– <i>One touch exchange of die</i>
PCP	– Planejamento e controle da produção
PLC	– <i>Programmable Logic Controller</i>
SMED	– <i>Single Minute Exchange of Die</i>
STP	– Sistema Toyota de produção
TPE	– Tempo de preparação externo
TPI	– Tempo de preparação interno
TRF	– Troca rápida de ferramenta

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 DELIMITAÇÃO	15
1.5 METODO DE PESQUISA	16
1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	16
2.0 REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 POLIPROPILENO	18
2.2 COMPOSTOS POLIMÉRICOS	19
2.3 EXTRUSÃO	19
2.3.1 COMPONENTES DE UMA EXTRUSORA	20
2.4 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	21
2.5 TÉCNICA DA TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTAS	23
2.5.1 ESTÁGIOS CONCEITUAIS E TÉCNICAS PARA APLICAÇÃO DA TRF	24
2.5.2 ESTÁGIO 0: <i>SETUP</i> INTERNO E EXTERNO NÃO SE DISTINGUEM	25
2.5.3 ESTÁGIO 1: SEPARANDO <i>SETUP</i> INTERNO E EXTERNO	26
2.5.4. ESTÁGIO 2: CONVERSÃO DO <i>SETUP</i> INTERNO EM <i>SETUP</i> EXTERNO	27
2.5.5 ESTÁGIO 3: MELHORIA SISTEMÁTICA DE CADA OPERAÇÃO DO <i>SETUP</i> INTERNO E EXTERNO	27
2.6 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	28
3.0 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	30
3.1 PROCESSO DE EXTRUSÃO	31
3.2 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO	33
3.3 COLETA DE DADOS E SIMULAÇÃO	34
3.4 IDENTIFICAÇÃO DAS OPERAÇÕES	36
3.5 CONVERTENDO AS OPERAÇÕES	38
3.6 MELHORIA CONTÍNUA	39
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.0 CONCLUSÃO	44
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	45
5.2 COMENTÁRIOS FINAIS	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em virtude da abertura internacional dos mercados e, conseqüentemente com o aumento da concorrência, as organizações passaram a ter desafios com o intuito de reduzir seus custos internos e elevar a qualidade do produto devido a exigências cada vez mais altas dos consumidores. Uma das alternativas utilizadas na tentativa de se manterem vivas no mercado, cada vez mais exigente, é a implantação de sistemas de melhorias que, bem implantados, conduzem a resultados positivamente expressivos. Essas melhorias precisam ser abordadas do ponto de vista do processo produtivo, com foco na redução dos desperdícios existentes na manufatura. A manufatura é o principal setor de uma indústria, é a razão da sua existência, simplesmente por fabricar aquilo que a empresa pode vender e se manter ativa no mercado. Se máquinas não produzirem determinados produtos a fábrica não vende e, dessa forma, coloca em risco a saúde da empresa como um todo.

No processo produtivo, diversas técnicas são empregadas com o intuito de melhor administrar as atividades de produção, identificando melhorias para a redução de desperdícios e reduzindo custos desnecessários.

Diante desse cenário, o *Lean Manufacturing* é uma filosofia que busca identificar e eliminar os diversos tipos de desperdícios e atividades que não agregam valor ao produto final, desde o ponto de vista do cliente externo como interno. Essa filosofia faz com que todos os níveis da organização se envolvam para alcançar de forma conjunta os resultados esperados para a produção enxuta.

Slack, Chambers, Johnston (2002), define *Lean Manufacturing* como uma abordagem disciplinada, que visa aprimorar a produtividade global e eliminar os desperdícios e possibilita a produção eficaz em termos de custo. É alcançada por meio da aplicação de elementos que requerem um envolvimento total dos funcionários e trabalho em equipe. Uma filosofia chave é a simplificação.

Inicialmente essa filosofia teve início no Oriente por volta de 1950 na Toyota Motors e é conhecido também como Sistema Toyota de Produção (STP). O STP, de forma geral, constitui técnicas e princípios que visa eliminar os sete pontos de desperdícios de um processo; perdas por superprodução, perda por transporte, perda por espera, perdas por fabricação de produtos não conformes, perdas no processamento, perdas de estoque e perdas nas movimentações (SHINGO, 2002).

Raposo (2011) menciona que a manufatura enxuta deve maximizar a utilização dos equipamentos explorando suas potencialidades evitando ao máximo paradas de produção que causam perdas irrecuperáveis ao processo.

Os tempos de espera em um processo produtivo, seja para concluir um processo seguinte ou para preparação de máquina para um novo lote de produto, são considerados como desperdícios e esses tempos precisam ser eliminados ou reduzidos a um nível mínimo aceitável do ponto de vista da filosofia de produção enxuta. O desperdício é qualquer coisa, além dos mínimos recursos de materiais, máquinas e mão-de-obra, necessária para agregar valor aos produtos. O desperdício pode ser definido também como qualquer atividade que não contribui para as operações, tais como, espera, acumulação de peças, recarregamentos, passagem de materiais, etc. (SHINGO, 2002) e (MOURA e BANZATO, 1996).

Especificamente para a atividade de preparação de máquina para produção de um novo produto, existe uma técnica que auxilia na redução do tempo de *setup* e é uma das ferramentas do Sistema Toyota de Produção, conhecida como Troca Rápida de Ferramenta e foi originalmente desenvolvida por Shingo em 1985 na *Toyota Motor Company* e denominada *Single Minute Exchange of Die* (SMED). O SMED consiste em uma técnica utilizada para reduzir o tempo gasto para preparação de máquina durante uma troca de produto com o objetivo de reduzir esse tempo para patamares inferiores a 10 minutos, chegando a um dígito do minuto.

O SMED propõe mudanças no processo produtivo, tanto organizacional quanto mudanças em equipamentos e metodologia de trabalho. Essas mudanças, principalmente em equipamentos, demandam uma atenção especial, pois na maioria dos casos são mudanças que acabam envolvendo investimento financeiro. As mudanças precisam ser planejadas de tal forma que esses custos gerados sejam bem empregados, uma vez que modificações em linhas de produção complexas nem sempre são fáceis de serem aplicadas, viáveis ou até mesmo se tenha a certeza de que os benefícios propostos sejam alcançados. Para que modificações sejam feitas de modo que assegurem a integridade dos equipamentos, que sejam viáveis ao processo produtivo e tenham o retorno financeiro esperado, a simulação computacional é uma ferramenta que garante esses pontos citados. Ela vem sendo utilizada largamente, devido aos avanços tecnológicos, para auxílio de tomada de decisão e permite avaliar e analisar sistemas reais a partir da construção de modelos computacionais. Dessa forma, toda modificação pode ser explorada ao máximo por meio de simulações ou cenários antes da implantação no processo produtivo.

1.2 OBJETIVOS

Esta dissertação aborda como tema principal o sistema de troca rápida de ferramenta (TRF) e modelagem computacional.

O objetivo principal deste trabalho é a implantação da metodologia de troca rápida de ferramenta (TRF) em um processo de extrusão de compostos poliméricos para redução do tempo de *setup*. A consolidação dessa metodologia será a base para a entrada do conceito de produção enxuta na empresa, abrindo horizontes para a implantação de outras ferramentas visando a eliminação de desperdícios no processo fabril.

Como objetivos secundários têm-se:

- Identificar as situações que causam aumento do tempo de troca de ferramentas de *setup* das linhas de extrusão;
- Utilizar a simulação computacional como objeto de auxílio na tomada de decisão para modificação das atividades de *setup* e alterações em equipamentos periféricos da linha de extrusão.
- Padronizar as atividades destinadas ao *setup*;

1.3 JUSTIFICATIVA

A principal justificativa para o estudo e aplicação deste trabalho está na necessidade da empresa estudada procurar reduzir seus tempos de *setup* a fim de ser referência mundial entre as outras empresas do grupo, neste ponto considerado como indicador de desempenho. Com base em dados atuais, 32% do tempo ocioso de máquina está sendo ocupado por atividades destinadas a preparação dos equipamentos para o *setup*. Para ser *benchmarking*, o tempo de *setup* a ser atingido deve ser menor que 35 min, sendo que atualmente tempo médio gasto para a execução do *setup* está em torno de 1 h 18 min.

Outro ponto a ser levantado é que pouco se tem disponível em literatura a implantação da troca rápida de ferramentas em processos contínuos como o processo de extrusão. Na sua maioria encontram-se trabalhos destinados a células de fabricação com montagem de peças e componentes de forma única como nas indústrias de calçados, auto-peças, siderúrgicas, moveleira, embalagem e peças em geral. Em processos contínuos, as trocas de matérias-primas tornam-se difíceis, uma vez que se esgotada tem-se a parada da linha para a retirada do excesso.

O tempo de *setup* sendo analisado juntamente com os demais problemas de parada de linha da empresa, é o que demanda maior tempo de todo o processo fabril e dessa forma caracterizando um problema para a empresa.

1.4 DELIMITAÇÃO

Esta dissertação tem como foco e limita-se ao tratamento das operações de uma linha de extrusão de compostos de polipropileno. Neste contexto incluem-se seus equipamentos periféricos, sendo dosadores, matrizes, sistema de granulação e sistema de classificação como mostra a figura 01.

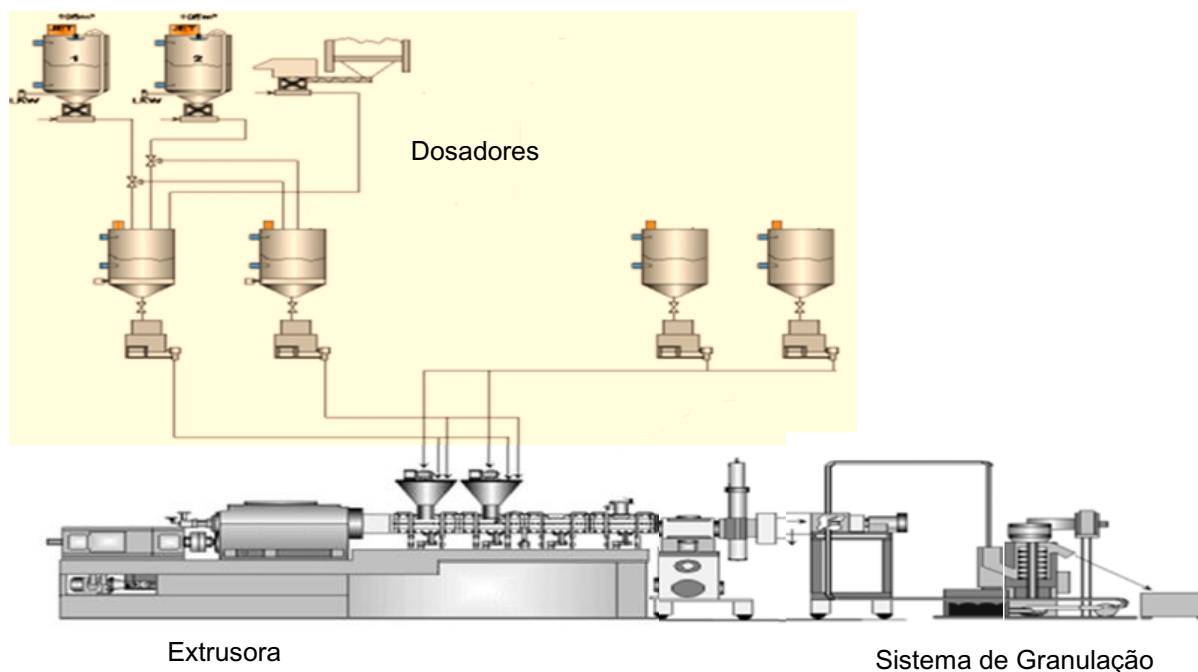


Figura 01: Linha de Extrusão
Fonte: Autor (2011)

1.5 METODO DE PESQUISA

A metodologia de pesquisa utilizou uma abordagem quantitativa, com experimento de campo, caracterizado pela intervenção nas variáveis do processo estudado. Os testes e observações sistemáticas foram utilizados como fontes de dados e foram analisados por meio de ferramentas estatísticas.

O método de pesquisa adotado neste trabalho envolveu a pesquisa e revisão da bibliografia referente aos temas: Troca Rápida de Ferramentas, Simulação Computacional e Gestão de Produção. Posteriormente foi feito um levantamento dos indicadores dos tempos de *setup* na empresa. Diante dos dados obtidos verificou-se que os tempos de *setup* eram os mais danosos ao sistema, contribuindo para o aumento dos custos industriais.

A metodologia de Shingo (2008) foi adotada para a coleta de dados seguindo os passos dos estágios conceituais para a implantação da troca rápida de ferramenta.

As intervenções de campo foram anteriormente simuladas no *software* Arena antes de suas implementações.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está composta por cinco capítulos, sendo:

Capítulo 01 – Introdução: faz uma abordagem dos conceitos introdutórios sobre o tema da dissertação com os objetivos da pesquisa, justificativa, delimitação do estudo e a metodologia utilizada no trabalho.

Capítulo 02 – Revisão da literatura: são apresentadas definições sobre polipropileno, compostos poliméricos, processos de extrusão com os componentes básicos de uma extrusora. O capítulo apresenta também os conceitos do sistema Toyota de produção com a metodologia de troca rápida de ferramentas e seus estágios conceituais. Ao final apresenta os conceitos da simulação computacional que é utilizada como ferramenta na implantação da metodologia de troca rápida de ferramenta.

Capítulo 03 – Procedimentos metodológicos: neste capítulo é apresentado o método de pesquisa, a proposta de implantação da troca rápida de ferramenta, coleta de dados e simulações com o *software* Arena e as etapas proposta por Shingo para identificação e definição do *setup* com as melhorias para redução do tempo de *setup*.

Capítulo 04 – Resultados e discussão: neste capítulo são mostrados os resultados obtidos com as intervenções para alcançar a redução do tempo de *setup* e esses resultados discutidos confrontando com o simulado. Aborda também a padronização de praticas obtidas durante as intervenções e a aplicação da metodologia de Shingo em programação de produção.

Capítulo 05 – Conclusão: o capítulo apresenta conclusões sobre o problema, objetivo e hipótese, considerações sobre o método de pesquisa, sugestões para trabalhos futuros e conclusão final abordando as dificuldades encontradas na implantação da troca rápida de ferramentas e a metodologia de Shingo.

2.0 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 POLIPROPILENO

Os polímeros são compostos sólidos, não-metálico, normalmente orgânico, de alto peso molecular, cuja estrutura é composta por pequenas unidades de repetição, também chamada de mero (CALLISTER, 2002). O polipropileno é um polímero fabricado a partir do gás propeno, que é um subproduto da refinação do petróleo. A excepcional resistência a rupturas por flexão e fadiga, resistência química, propriedades elétricas excelentes, boa resistência a impactos acima de 15 °C; boa estabilidade térmica; baixo peso e custo reduzido (ALBUQUERQUE, 1990) fazem do polipropileno um dos termoplásticos mais utilizados no mercado e além das propriedades já mencionadas ele é um polímero de fácil processamento podendo ser conformado por diversos processos de transformação. Abaixo na figura 02, temos a unidade repetidora do polipropileno.

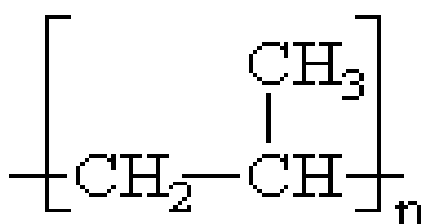


Figura 02 – Unidade repetidora do polipropileno
Fonte: Callister (2002)

Os polipropilenos são utilizados para confecção de peças de diversos segmentos, como utensílios domésticos, filmes, peças automotivas, peças estruturais, brinquedos e outras mais, ou seja, é um polímero que atende a várias solicitações devido as suas excelentes propriedades. Este vasto ramo de aplicações se dá por causa do polipropileno aceitar diversos aditivos e reforços para compensar alguma propriedade deficiente. Na indústria automotiva é o polímero mais utilizado devido a sua fácil processabilidade e capacidade de atendimento a requisitos normativos.

2.2 COMPOSTOS POLIMÉRICOS

Muitas aplicações tecnológicas exigem materiais com combinações incomuns de propriedades que não podem ser alcançadas por um único material, ou este é economicamente inviável. Dessa forma, modifica-se um material existente por meio de incorporação de outros para se alcançar as propriedades desejadas.

Os compostos são produtos originários de dois ou mais materiais distintos figura 03. Muitos materiais compostos são formados por apenas duas fases; uma é chamada de matriz, que é contínua e envolve a outra fase, chamada frequentemente de fase dispersa. As propriedades resultantes são uma função das propriedades constituintes, das duas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa. A geometria da fase dispersa entende-se a forma das partículas, e seu tamanho, sua distribuição e sua orientação (CALLISTER, 2002).

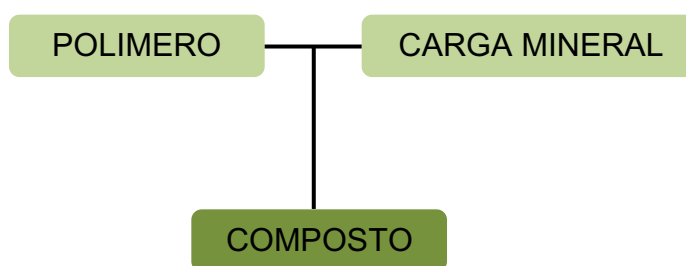


Figura 03: Conceito materiais compostos
Fonte: Autor (2012)

2.3 EXTRUSÃO

A extrusão de materiais poliméricos é um processo contínuo pelo qual uma matéria-prima (resina) é fundida através do calor e cisalhamento e transportada mecanicamente por uma rosca sem fim que propõe o material, o qual é sucessivamente compactado e conformado na forma de uma carga contínua de fluido viscoso. A extrusão tem lugar à medida que essa massa fundida é forçada através de um orifício de uma matriz para se obter a forma final desejada do produto conforme esquematiza a figura 04. A solidificação do segmento extrudado é acelerada por sopradores ou água imediatamente a sua saída pela matriz (CALLISTER, 2002).

A técnica está especialmente adaptada para produzir comprimentos contínuos que possuem geometrias de seção reta constantes, por exemplo, bastões, tubos, laminados, perfis, filmes e grânulos.

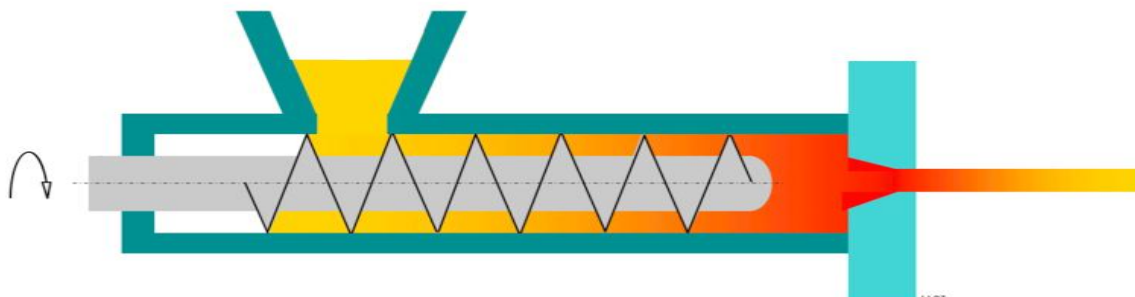


Figura 04: Processo de extrusão
Fonte: Autor (2012)

2.3.1 COMPONENTES DE UMA EXTRUSORA

A extrusão é utilizada para se obter uma infinidade de produto de modo contínuo e cada produto possui uma característica que deve ser respeitada para sua concepção. Devido a estas particularidades, as extrusoras agregam equipamentos periféricos que são necessários para a produção de determinado produto.

Abaixo estão listados os componentes básicos de uma extrusora:

→ **Silo de Alimentação:** Recebe o material para a extrusão, polímeros, aditivos e cargas. A alimentação pode ser direta ou por balanças dosadoras.

→ **Sistema de aquecimento:** Faz o aquecimento por termo elementos para fornecer energia às matérias-primas que entram na extrusora. O aquecimento é diferenciado por zonas. Normalmente são utilizadas resistências elétricas, mas também podem ser utilizados sistemas por serpentinas para líquidos.

→ **Rosca:** Transporta, cisalha, mistura e impulsiona o material fundido até a saída pela matriz.

→ **Barril:** Acomoda a rosca da extrusora e recebe as resistências do sistema de aquecimento.

→ **Motor:** Aciona a rosca e é acoplado a um sistema de engrenagem para fazer o controle da velocidade.

→ **Redutor:** Controla a transmissão do motor para a rosca e faz o acoplamento do mesmo à rosca.

→ **Sistema de resfriamento:** Faz o controle da temperatura em conjunto com o sistema de aquecimento. Geralmente usa-se água, ou ar para promover o resfriamento. Externo a extrusora há o sistema de resfriamento do produto que promove o congelamento do objeto.

→ **Matriz:** Promove a moldagem do polímero, definindo a forma do produto.

Abaixo temos a figura 05 que mostra esquematicamente os principais componentes de uma extrusora.

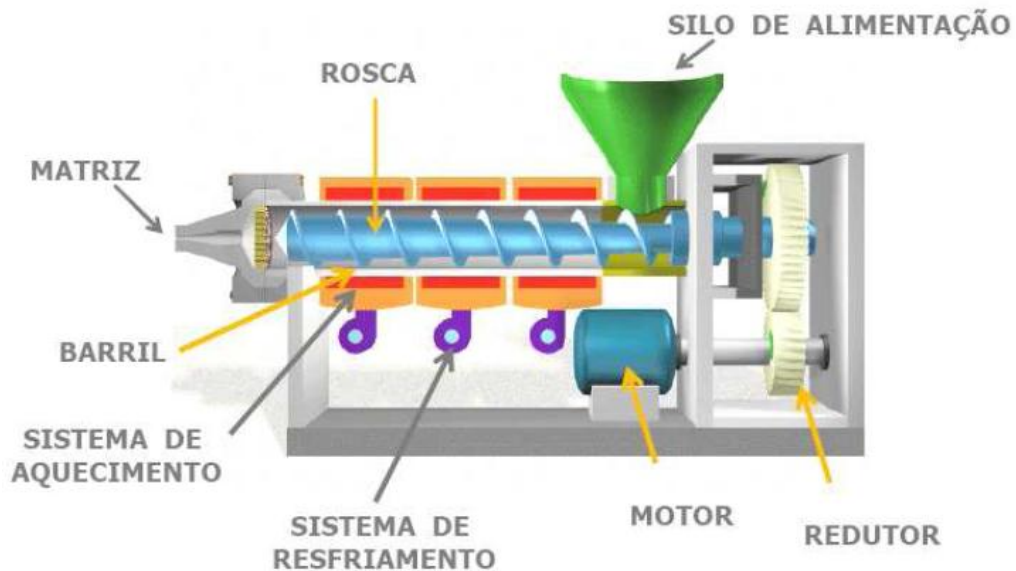


Figura 05: Componentes básicos de uma extrusora
Fonte: Autor (2012)

2.4 SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

O sistema Toyota de produção foi criado por Taiichi Ohno e Eiji Toyoda por volta de 1950 no Japão é conhecido também como *Just In Time (JIT)*, *Lean Manufacturing* e produção enxuta. O sistema é embasado pelo princípio da busca contínua pela maximização de ganhos por meio da total eliminação de desperdícios visando eliminar atividades como inspeção, retrabalho de produtos não conformes, troca de ferramentas demoradas, estoque, movimentações excessivas.

Segundo Ohno (1997), o passo preliminar para a aplicação do Sistema Toyota de Produção (STP) é identificar completamente os desperdícios.

Abaixo temos os sete desperdícios da manufatura abordados por Ohno (1997):

→ **Desperdício de superprodução:** é a perda pela produção excessiva. As peças podem ficar no estoque aguardando serem consumidas ou simplesmente ficarem paradas. É a perda mais danosa.

→ **Desperdício de tempo disponível:** é caracterizado pela capacidade ociosa. As máquinas ficam paradas aguardando produção e aumentando os custos. As esperas podem ser afetadas por elevado tempo de preparação, falta de sincronismo e falhas não previstas no processo.

→ **Desperdício em transporte:** é caracterizado por atividades de movimentação que não agregam valor ao produto. São movimentações desnecessárias e feitas sem planejamento.

→ **Desperdício no processamento:** é caracterizado por atividades não planejadas destinadas ao processo produtivo que não agregam valor ao produto. Neste ponto faz-se necessário uma análise de valor para identificação dos pontos de melhorias.

→ **Desperdício de estoque disponível:** é caracterizado por excesso de produtos no estoque que geram custos e ocupação de espaço e acabam ocultando outros desperdícios. Estoques altos também prejudicam os investimentos devido ao capital parado.

→ **Desperdício de movimento:** é caracterizado por movimentações desnecessárias, ou movimentações para locais longos por falta de um fluxo inteligente. As movimentações excessivas podem ser identificadas por uma análise de fluxo de valor e estudos de tempos e movimentos.

→ **Desperdício por produzir produtos defeituosos:** é caracterizado por produção de itens fora dos níveis aceitáveis de qualidade. É a perda mais comum e visível do processo. Produzir produtos com defeitos significa perda de material, disponibilidade de equipamentos, movimentação e estocagem de materiais defeituosos, inspeção extra de produtos, além de poder ser passado aos clientes.

A eliminação completa destes desperdícios pode aumentar a eficiência de operação por uma ampla margem. Para conseguir deve-se produzir exatamente o que se precisa no tempo certo e na quantidade exata, liberando a força de trabalho extra para outros pontos de maior

necessidade. Muitas das atividades improdutivas que existem em uma empresa foram criadas devido à ineficiência ou incapacidade das funções gerenciais que não possuem uma mentalidade enxuta.

A fábrica é a principal fonte de informação da manufatura. Ela fornece as informações mais diretas, atualizadas e estimulantes sobre sua gerência. Cabe aos gerentes enxergar os desperdícios e dimensionar sua célula de trabalho utilizando efetivamente a força de trabalho (OHNO, 1997).

O STP possui diversas técnicas que foram desenvolvidas dentro da Toyota Motor, porém a troca rápida de ferramentas foi desenvolvida fora pelo consultor Shigeo Shingo.

2.5. TÉCNICA DA TROCA RÁPIDA DE FERRAMENTAS

O objetivo do SMED é a redução do tempo de *setup* juntamente com a simplificação das operações de sua execução. Na prática, o SMED é desdobrado em teoria e técnicas para realizar operações de *setup* em um número de minutos expresso em um único dígito. A análise parte da metodologia proposta por Shingo (2008) designada *Single Minute Exchange of Die*, ou simplesmente Troca Rápida de Ferramenta (TRF). O conceito de *setup* pode ser definido como o tempo necessário para mudar de uma operação para a outra, considerando a última peça produzida em conformidade do produto A até a primeira peça em conformidade produzida do produto B (SHINGO, 2008).

O tempo de *setup* compreende o momento em que há a desaceleração da produção do produto A, o tempo de máquina parada para a execução das tarefas de *setup*, início e a aceleração da produção do produto B, terminando somente quando a qualidade do produto B é alcançada (SUGAI, MCINTOSH, NOVASKI, 2007). Na figura 06 podemos verificar o conceito de *setup* graficamente.

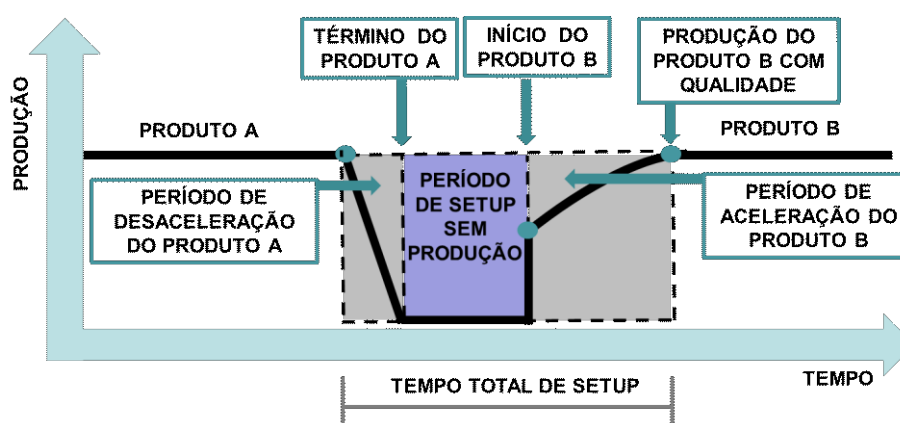


Figura 06 - Conceito do tempo de *setup*
 Fonte: Adaptado de Reik, *et al* (2005).

A execução do SMED ocorre por meio de dois estágios de implementação, sendo estratégias para implementação e técnicas para aplicação (SHINGO, 2008). Os detalhes dos conceitos de implementação serão tratados abaixo.

De acordo com Mondem (1983), o SMED não pode ser considerado como só uma técnica, e sim um conceito que abrange mudança de atitudes de todas as pessoas envolvidas com o processo industrial. A aplicação das estratégias e técnicas ocorre com a participação de todos aqueles que atuam na operação em estudo. Os estágios que compõem o SMED têm como ênfase a abordagem de três estágios e um preliminar (SHINGO 2008).

2.5.1 ESTÁGIOS CONCEITUAIS E TÉCNICAS PARA APLICAÇÃO DA TRF

A implantação da TRF aborda quatro estágios conceituais e técnicas para sua aplicação. Cada passo deve ser seguido conscientemente com a visão na eliminação de desperdícios e agregando valor as atividades necessárias ao *setup*.

Na figura 07 pode-se perceber que o tempo de *setup* sofre reduções significativas durante o andamento dos estágios.

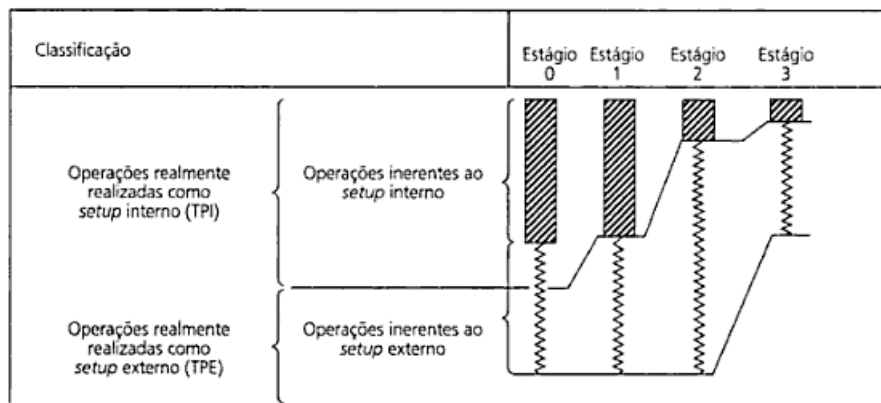


Figura 07: Estágios conceituais para a melhoria de *setup*
 Fonte: Shingo (2008)

2.5.2 ESTÁGIO 0: *SETUP* INTERNO E EXTERNO NÃO SE DISTINGUEM

Existem dois conceitos para atividade de *setup*. Algumas atividades podem ser executadas com a máquina parada e outras com a máquina em operação e cada atividade de *setup* pode ser denominada de tal forma.

→ **Setup Interno:** denominado Tempo de Preparação Interno (TPI). São as atividades destinadas ao *setup* que são executadas com a máquina parada, tais como a montagem ou remoção de matrizes, que podem ser realizadas somente quando a máquina estiver parada.

→ **Setup Externo:** denominado Tempo de Preparação Externo (TPE). São as atividades destinadas ao *setup* que são executadas com a máquina em operação, tais como transportes das matrizes já utilizadas para o almoxarifado ou o transporte das novas para a máquina.

Nas operações de *setup* tradicionais, o *setup* interno (ocorre com a máquina parada) e o externo (ocorre com máquina operando) são confundidos; o que poderia ser realizado externamente é realizado internamente e com isso o tempo de *setup* aumenta. Geralmente todas as atividades do *setup* são executadas com a máquina parada, transportes de peças para o estoque, busca de ferramentas, preparação de matrizes, decisão das atividades a serem executadas pelos operadores, preparação de matérias-primas, etc. (SHINGO, 2008).

Na sua obra Shingo (2008) relata que normalmente gerentes e engenheiros de manufatura não conseguem aplicar sua capacidade à análise de operações de *setup*. Muito frequentemente, eles delegam essa tarefa aos operadores e dão como certo, por serem eles os responsáveis, farão o melhor para conseguir o *setup* no menor tempo possível. Em outras palavras, deixam a solução do problema para o chão-de-fábrica. Uma atitude que constitui

certamente uma das principais razões pelas quais, não se consegue progressos na redução dos tempos de *setup*.

O estágio 0 oferece somente dados dos parâmetros de tempo inicial das atividades realizadas no *setup* e para obter os tempos das atividades, Shingo (2008) indica a possibilidade do uso do cronômetro, do estudo do método, de entrevista com operadores ou da análise da filmagem da operação. Outro autor também indica que observações e discussões informais com os trabalhadores geralmente são suficientes (SUGAI, MCINTOSH, NOVASKI, 2007).

Moura e Banzato (1996) enfatizam bastante o uso de filmagens com auxílio de listas para registro dos dados e documentação para futura análise dos tempos. As imagens devem ser analisadas de forma a encontrar soluções para minimizar o tempo gasto em cada operação, a análise deve ser conduzida do ponto de vista da produção enxuta.

2.5.3 ESTÁGIO 1: SEPARANDO *SETUP* INTERNO E EXTERNO

O passo mais importante à implementação do SMED é distinguir entre *setup* interno e externo. Qualquer atividade de preparação, manutenção e assim por diante, não devem ser realizadas quando a máquina estiver parada. Esta fase corresponde à organização e identificação das atividades, classificando-as e separando-as como *setup* interno e *setup* externo por meio das documentações e registros levantados no estágio 0 com questionamentos como: esta tarefa poderia ser feita com a máquina operando? Segundo Shingo (2008), se for feito um esforço científico para realizar o máximo possível da operação de *setup* como *setup* externo, então, o tempo necessário para o interno pode ser reduzido de 30 a 50%.

Segundo Costa, Lima e Gomes (2012) as melhorias obtidas não requerem grandes investimentos financeiros por parte da empresa, pois apenas através da alteração na ordem de execução de operações e padronização de periféricos de equipamentos e atividades, pode-se atingir e obter importantes resultados.

Tarefas como a utilização de um *check-list*, verificações das condições de funcionamento dos equipamentos e melhorias em transportes de matrizes e outros componentes são exemplos de atividades que podem ser executadas externamente ao *setup*.

2.5.4. ESTÁGIO 2: CONVERSÃO DO *SETUP* INTERNO EM *SETUP* EXTERNO

Nesta fase é feita uma reavaliação minuciosa do estágio 1 para verificar se alguma operação tenha sido erroneamente alocada e para fazer um esforço para converter estas atividades em *setup* externo. Essa avaliação começa pelas atividades que demandam maior tempo de execução. Segundo Shingo (2008), nesta fase devem-se encontrar meios para converter as atividades executadas internamente para serem executadas externamente como aquecimento antecipado de matrizes, incorporação de atividades paralelas e equipamentos duplos que ficam em espera até o momento do *setup*. Encontrar meios de centralizar matrizes sem necessitar de ajustes excessivos, utilizar armazenadores temporários, padronizar as dimensões das matrizes para eliminar ajustes nos fixadores, padronizar ferramentas e parafusos, utilizar moldes de cavidades múltiplas, etc.

2.5.5 ESTÁGIO 3: MELHORIA SISTEMÁTICA DE CADA OPERAÇÃO BÁSICA DO *SETUP* INTERNO E EXTERNO

Segundo Shingo (2008), nesta fase é feita uma melhoria sistemática de cada operação básica do *setup* interno e externo com o objetivo de eliminar ajustes e atividades. O *setup* precisa ser analisado e melhorado constantemente, ou seja, o SMED é utilizado como ferramenta para melhoria contínua. A melhoria do *setup* faz-se necessária para alcançar o *single-minute* (dígito único) que pode não ser atingido nos outros estágios, sendo necessária a melhoria contínua de cada elemento das atividades executadas, tanto do *setup* interno como externo.

No trabalho de Leão e Santos (2009) a melhoria contínua para a implantação do SMED é tratada utilizando o ciclo PDCA (P-*plan*, D-*do*, C-*check*, A-*action*), onde ao término de um ciclo, outro recomeça com o intuito de melhorar os resultados anteriores.

Shingo (2008) estabelece técnicas tanto para o *setup* externo como para o interno como o uso de *kits* para *setup*, matrizes com múltiplas cavidades, guias, engates rápidos, etc.

Os benefícios completos da TRF somente podem ser atingidos depois da realização de uma análise das operações de *setup* e da identificação dos seus quatro estágios conceituais. Entretanto, técnicas efetivas podem ser aplicadas a cada estágio, levando a reduções

impressionantes do tempo de *setup* e a melhorias drásticas na produtividade, mesmo nos estágios iniciais da aplicação do método.

Com o acúmulo de conhecimento e experiências por meio das análises e implementação contínua das melhorias no *setup*, e este pode ser reduzido abaixo de um minuto, o SMED é chamado de *One Touch Exchange of Die* (OTED), ou seja, (troca de ferramentas em um toque). Por fim, foi desenvolvida a ideia da troca de ferramentas sem o toque, *Non Touch Exchange of Die* (NOTED). No NOTED, a troca de ferramentas é realizada automaticamente, como em um centro de usinagem com sistemas automáticos de troca de ferramentas e de peças (BLACK, 1998).

2.6 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional vem sendo utilizada largamente como ferramenta de planejamento para auxílio de tomada de decisões, ela permite explorar possibilidades antes da aplicação no ambiente real.

Segundo Slack, Chambers, Johnston (2002), a simulação explora as consequências da tomada de decisão, em vez de aconselhar diretamente sobre a decisão em si – é uma técnica preditiva em vez de otimizadora.

Segundo Banks (1998), a simulação é a imitação de um processo do mundo real ou um sistema por meio do tempo. A simulação envolve a geração de uma história artificial de um sistema e a observação desta história, para o desenvolvimento de interferências a respeito das características operacionais do sistema real que será representado. A simulação é uma metodologia indispensável para a solução de problemas provenientes de situações reais.

De acordo com Chwif e Medina (2006), devido ao comportamento dinâmico e aleatório, os sistemas reais geralmente apresentam uma complexidade maior e os modelos virtuais de simulação conseguem obter com maior fidelidade essas características, procurando repetir virtualmente o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições.

Segundo Freitas Filho (2008) e Leal (2011), a simulação tem sido cada vez mais aceita e empregada como uma técnica que permite aos analistas verificarem ou encaminharem soluções aos problemas com os quais lidam diariamente. A simulação permite ao analista realizar estudos sobre os sistemas reais, ou sistemas ainda não existentes e a partir daí propor alterações que não intervirão ou gerarão distúrbios no sistema investigado. Dessa forma,

poupam-se investimentos financeiros em pontos desnecessários garantindo a integridade do ambiente em investigação antes da melhor solução proposta para alteração.

De acordo com a proposta de Freitas Filho (2008) a simulação de sistemas segue algumas etapas para formulação de um estudo como se pode ver na Figura 08. Tais passos foram abordados por autores como Banks (1998), Law e Kelton (2000) e Pontes (2008).

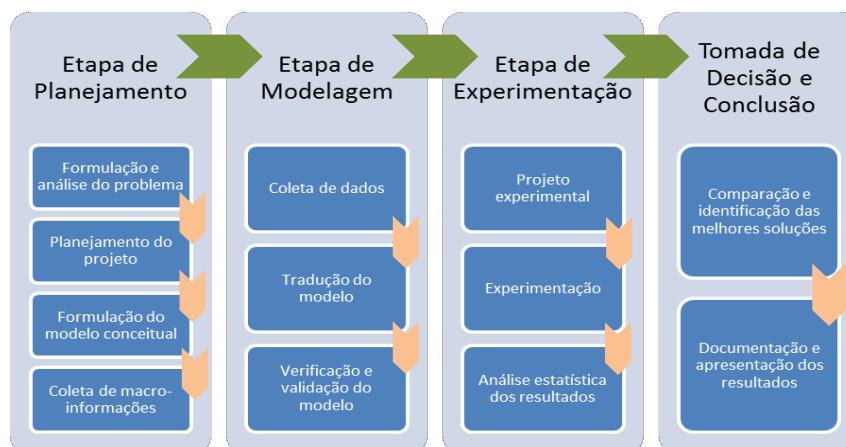


Figura 08 - Passos em um estudo envolvendo modelagem e simulação
Fonte: Freitas Filho (2008)

3.0 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Segundo Lakatos e Marconi (2001), para realizar uma pesquisa é preciso promover um confronto entre os dados, as evidências, as informações coletadas sobre determinado assunto e o conhecimento teórico acumulado a respeito dele. Trata-se de construir uma porção do saber. Esse conhecimento não é só fruto da curiosidade, da inquietação, da inteligência e da atividade investigativa do pesquisador, mas também da continuação do que foi elaborado e sistematizado pelos que já trabalharam o assunto anteriormente.

Para atender aos objetivos propostos neste trabalho, será adotada uma abordagem quantitativa, onde primeiramente será feita uma pesquisa diagnóstica para obter o retrato da situação real e atual. Tal diagnóstico partirá de estudos em documentos da empresa, como procedimentos, *check-lists* para execução de tarefas, instruções de trabalho, indicadores de desempenho do processo e filmagens das atividades de *setup* e dessa forma há elementos de pesquisa qualitativa. O autor intervirá nas variáveis do processo estudado para a implantação das técnicas propostas na literatura, caracterizando e classificando o trabalho como uma pesquisa-ação (LAKATOS e MARCONI, 2001).

Para a implantação do SMED foi utilizado o *software* Arena para simulação computacional. Todos os pontos de melhorias encontrados por meio da metodologia sugerida por Shingo (2008) foram simulados para estudos antes de sua implementação. Após a simulação computacional os pontos de melhorias serão implantados em ambiente real. Por fim os resultados foram coletados e estudados por meio de ferramentas estatísticas e confrontados com os resultados encontrados pela simulação. As diferenças ou semelhanças encontradas foram discutidas.

O ramo de atividade da empresa estudada é a produção e comercialização de compostos poliméricos. O processo de fabricação utilizado para a produção dos compostos é a extrusão de grânulos, e dessa forma, delimitando o estudo deste trabalho a uma linha de produção de extrusão de compostos poliméricos, abrangendo seus equipamentos periféricos. A empresa estudada possui 3 linhas de produção, sendo A, B e C e, para o estudo proposto, foi escolhida a linha C, devido a sua dedicação à produção de cores escuras, tendo uma menor complexidade para a execução do *setup*.

3.1 PROCESSO DE EXTRUSÃO

A extrusão é um processo pelo qual um produto tem sua passagem forçada por uma determinada matriz, que confere seu formato final. As máquinas de extrusão são denominadas extrusoras e podem ter em sua configuração uma única rosca “monorosca” ou duas roscas “dupla-rosca”.

O processo de extrusão estudado fabrica compostos poliméricos em formato de grânulos, conforme mostra a figura 09.



Figura 09 – Grânulo de polipropileno
Fonte: Autor (2012)

A linha de produção é composta por dosadores de matérias-primas, a extrusora, sistema de granulação e classificação e ensacamento. Podemos obter uma ideia no esquema gráfico da figura 10.

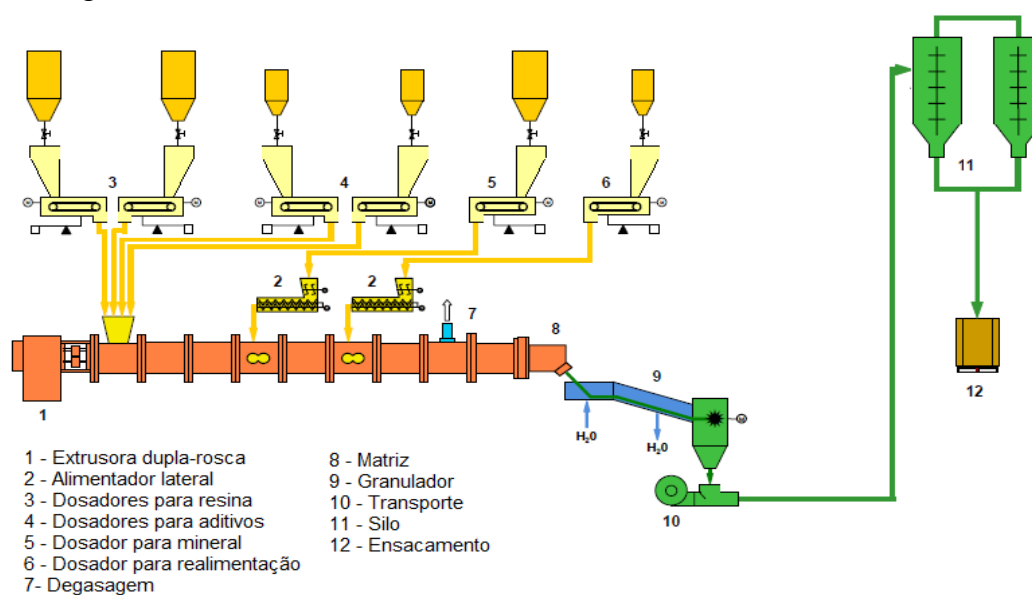


Figura 10 – Esquema gráfico de uma linha de extrusão
Fonte: Autor (2012)

Os 06 dosadores operam simultaneamente, cada um com uma matéria-prima diferente, em modo gravimétrico. O controle da dosagem das matérias-primas é feita por meio da formulação do produto, onde o sistema de dosagem ajusta a velocidade das roscas dos dosadores por meio da perda de peso registrado pela célula de carga. Um exemplo típico de uma rosca de dosador é mostrado na figura 11.



Figura 11 – Rosca helicoidal de dosador gravimétrico
Fonte: Autor (2012)

As matérias-primas dosadas abastecem a extrusora de forma contínua, onde, por sua vez a extrusora executa a homogeneização das mesmas por meio de uma rosca, conforme mostra a figura 12. A homogeneização é facilitada pela fusão das matérias-primas no interior da extrusora que por sua vez é dispersa e conduzida até a matriz para dar o formato final ao produto.



Figura 12 – Extrusora dupla-rosca
Fonte: Catálogo ADL Automação (2012)

O produto é forçado a sair da matriz e em seguida granulado em formato de *pellets* pelo sistema de granulação e em seguida ensacado. Após o término do lote tem-se a parada da

linha de extrusão para a execução do *setup*. O controle da quantidade de matéria-prima dos dosadores é muito importante para não haver excesso de produto após o termino do lote.

A linha de extrusão opera com equipamentos periféricos como bomba de vácuo para extração do excesso de voláteis e sistemas de transporte pneumático, além de sistemas de aquecimento e bombas d'água para resfriamento do produto.

3.2 APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO

Primeiramente, antes de qualquer tomada de ação junto ao processo produtivo com relação a intervenções na rotina normal de trabalho, foi necessário apresentar a proposta da implantação da metodologia da obra de Shingo (2008) aos gestores do processo de produção que possuem um maior grau de influência nas decisões que necessitam mudanças e investimentos no processo produtivo.

Após a apresentação da metodologia aos gerentes e engenheiros do processo, a proposta metodológica foi apresentada também a área de manutenção, qualidade, supervisores de produção e aos operadores de máquina. Essa apresentação foi feita com o objetivo de equalizar as informações e os resultados esperados com a aplicação do SMED às pessoas envolvidas diretamente ou indiretamente no processo produtivo. Como o tempo total para a execução do *setup* ocupava uma margem de 32% do tempo de ociosidade (figura 13), a proposta de implantação da metodologia de Shingo (2008) foi bem aceita pelos departamentos envolvidos.

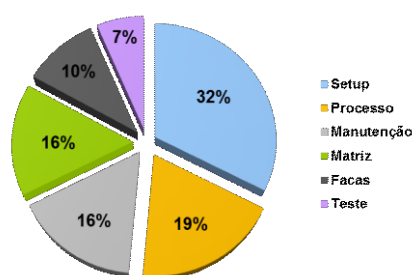


Figura 13 - Distribuição do tempo ocioso de máquina
Fonte: Autor (2011)

3.3 COLETA DE DADOS E SIMULAÇÃO

Para a coleta de dados foram executadas observações em campo durante a execução das atividades de *setup* conforme estágio 0, apresentado na obra de Shingo (2008). Durante esses acompanhamentos informais, foram observadas e registradas as etapas e atividades executadas pelos operadores, bem como o número de pessoas envolvidas em cada tarefa, conforme sugerido por Shingo (2008).

Após os acompanhamentos informais, foram observados pontos deficientes no processo de execução de *setup* como:

- Não havia tarefas executadas antes da parada da linha de produção;
- Existia um “*check-list*” chamado “troca de grade” das atividades, porém, não contemplava todas as atividades necessárias à execução do *setup*;
- A equipe de *setup* não ficava a postos antes da parada da linha de produção, os operadores iniciavam as atividades após um longo tempo da máquina ter parado;
- Não havia instruções de trabalho para as atividades de *setup*;
- Os operadores não dedicavam suas ações exclusivamente às atividades de *setup* e;
- Os operadores, após a conclusão das suas tarefas, voltavam para suas atividades normais e muitas vezes, ficava um operador para terminar o *setup*;

Para compor a análise das atividades de *setup* foram feitas filmagens de todas as atividades que os operadores executavam. As filmagens foram feitas com foco nas tarefas do operador, registrando todos os movimentos dados por ele durante o *setup*, conforme sugerido por Moura e Banzato (1996). Os filmes foram analisados e os tempos de execução das atividades foram registrados para verificação e estudo de futura melhoria na movimentação dos operadores. As filmagens foram feitas com o consentimento dos operadores e enfatizando a execução da tarefa com naturalidade. Dessa forma o filme ficaria com as ações de forma espontânea e os operadores não sofreriam uma pressão para executar as tarefas de forma diferente da habitual.

Diante dos dados obtidos nas atividades, partiu-se para a elaboração da simulação computacional para simular a situação real atual. Para auxílio, foi utilizado o *software* Arena versão estudante 13.5 para simulação e análise de eventos.

O Arena é um *software* de simulação que utiliza uma interface gráfica por meio de blocos caracterizados por entidades que podem ser representados por estações de trabalho, operadores, objetos ou maquinários (PRADO, 2010).

Os dados coletados por meio das observações e filmagens foram tabulados para serem simulados no Arena. A Tabela 01 mostra as atividades executadas pelos operadores tendo 1 h 18 min de média para a execução do *setup* e 19 *setups* por mês. A coleta de dados estendeu por dois meses totalizando 50 observações de cada atividade.

Os registros foram divididos por operador sendo denominados como A,B,C e D e cada um responsável por um grupo de atividades.

Tabela 01 – Atividades executadas pelos operadores

Nº	Atividades para <i>Setup</i>	Operador	Tempo
01	Finalizar lote	A	10 min 19 s
02	Circular água no granulador	A	7 min 35 s
03	Limpar secador	A	30 min 43 s
04	Limpar filtros de água	A	11 min 15 s
05	Limpar coletor de grânulos	A	7 min 37 s
06	Limpar coletor de aglomerados	A	3 min 54 s
07	Verificar silo	A	1 min 45 s
08	Partir extrusora	A	5 min 19 s
		Total	1 h 18 min 27 s
01	Limpar funil de alimentação	B	5 min 52 s
02	Limpar vent's	B	6 min 28 s
03	Limpar bomba de vácuo	B	7 min 8 s
04	Limpar dosador de premix	B	10 min 22 s
		Total	29 min 50 s
01	Drenar estações	C	15 min 48 s
02	Drenar silo	C	16 min 34 s
03	Trocar roscas	C	5 min 25 s
04	Limpar coletor de alimentação	C	2 min 11 s
		Total	39 min 58 s
01	Limpar mangote classificador	D	7 min 31 s
02	Limpar válvula diversora	D	5 min 23 s
03	Limpar classificador	D	25 min 3 s
04	Limpar grade magnética	D	4 min 21 s
05	Limpar válvula rotativa	D	9 min 47 s
		Total	52 min 5 s
	Tempo total de <i>Setup</i>		1 h 18 min 27 s

Fonte: Autor (2011)

Na operação de *setup*, cada operador era responsável por um grupo de atividades. A tomada de tempo foi executada acompanhando o operador na execução de suas atividades e, como o conjunto de tarefas era fixo para todos os turnos de trabalho, foram feitos registros por

auditoria executadas pelos supervisores coletando os tempos de cada tarefa. Os cinquenta dados de cada tomada de tempo das atividades foram colocados no “*Input Analyzer*” do Arena para obter a melhor distribuição do tempo do atendimento de cada operador na estação de trabalho. Na Figura 14 pode-se observar a tela do Arena com os resultados da simulação.

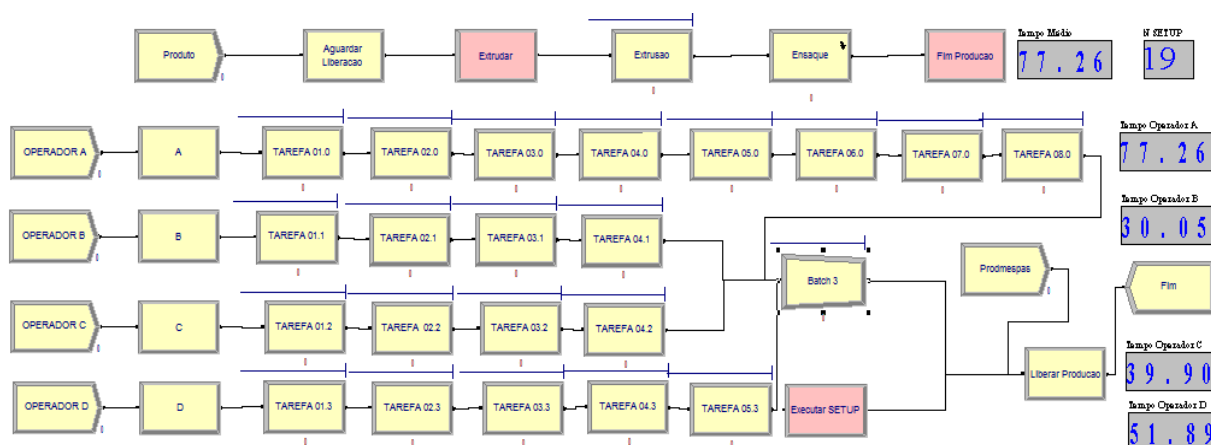


Figura 14 – Simulação da situação atual
Fonte: Autor (2011)

O tempo total da simulação foi programado para 01 mês e de acordo com as horas disponíveis de trabalho. Os resultados da simulação foram verificados com os dados reais tendo o tempo médio de *setup* 1 h 17 min 15 s com 19 *setups* executados sendo que tínhamos 1 h 18 min 27 s para a execução das tarefas e com média de 19 *setups*. Dessa forma pode-se validar o modelo elaborado.

3.4 IDENTIFICAÇÃO DAS OPERAÇÕES

Nesta etapa foi feita a classificação das atividades executadas durante o *setup*, seja interna ou externa. Na etapa anterior foram levantadas todas as atividades do *setup* sem distinção, sendo que todas são praticadas internamente, com a máquina parada.

Analisando as operações foi possível identificar as atividades abaixo como externa:

- Atividade 01 do operador A – Finalizar lote;
- Atividade 04 do operador A – Limpar filtros de água;
- Atividade 02 do operador B – Limpar vent's e;
- Atividade 03 do operador B – Limpar bomba de vácuo.

Durante esta análise houve a participação da operação, observando as atividades praticadas por eles próprios por meio das filmagens executadas anteriormente. Aproveitando o engajamento das pessoas envolvidas, foi feita uma análise crítica das atividades com o intuito de eliminar as operações executadas durante a operação da máquina e, também, encontrar meios de melhorar a execução daquelas atividades que eram executadas com a máquina parada. A participação dos operadores foi fundamental para a melhoria das atividades, onde foi sugerida a modificação de duas atividades que demandavam maior tempo para sua execução eram elas:

→ Atividade 03 do operador A (limpar secador); onde foi sugerida a modificação da sequência de enchimento da água do tanque. O tanque era cheio após a limpeza do secador e com a alteração sugerida seria cheio durante a limpeza e dessa forma reduzindo o tempo da atividade;

→ Atividade 03 do operador D (limpar classificador); a sugestão foi modificar o sistema de fixação das peneiras com o intuito de eliminar os parafusos devido a dificuldades para soltá-los. Na obra de Shingo (2008), ele sugere modificar sistemas de fixação, que demandam tempo para sua execução, alterando para engates rápidos, parafusos fendidos, arruelas em U, etc.

Segundo Moura e Banzato (1996), os parafusos devem ser eliminados. Eles são o vilão da troca rápida de ferramenta. Conforme sugestões de melhorias, as informações e alterações foram simuladas com o intuito de verificar o ponto certo de modificação como mostra a figura 15.

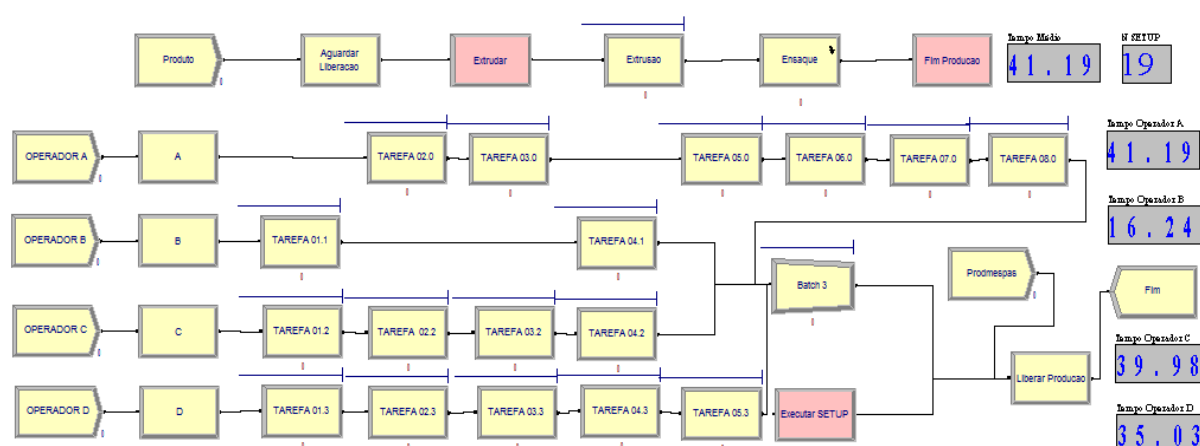


Figura 15 – Simulação com sugestões de melhoria
Fonte: Autor (2012).

A simulação foi efetuada eliminando as tarefas, agora identificadas como *setup* externo, dos operadores. A simulação mostrou uma redução no tempo de *setup* de 36 min 04

s, 46,68 % do tempo total, com isso o *setup* atingiu o patamar de 41 min 11 s. Conforme as sugestões de melhorias e diante dos resultados mostrados na simulação, iniciaram-se as alterações. Nesta fase a simulação computacional mostrou que as modificações teriam efeito direto no tempo de *setup*.

3.5 CONVERTENDO AS OPERAÇÕES

Primeiramente, as atividades consideradas como externa foram incluídas no “*check-list*” de troca de grade e identificadas como “pré-troca”. Esse documento começou a ser preparado antecipadamente à parada da máquina para o *setup* e passou a ser nomeado como “planejamento de troca de grade”. O planejamento das tarefas antecipadas compreende melhoria na execução das tarefas e evitam imprevistos durante a execução. Com o planejamento pode-se antever a falta de ferramentas, falta de matérias-primas e perdas de tempos para locomover periféricos de máquinas.

A segunda modificação executada ocorreu na sequência do enchimento da água do tanque, onde a limpeza começou a ser executada junto com o enchimento do tanque reduzindo a operação aproximadamente pela metade do tempo.

A terceira modificação executada ocorreu nos fixadores das peneiras na atividade 03 do operador D. Os parafusos foram retirados e foi incluído um sistema pneumático de fixação, onde as peneiras passaram a ser retiradas apenas com um toque conforme mostra a Figura 16. O conceito de utilização de engates e sistemas rápidos de fixação está descrito na obra de Shingo (2008).

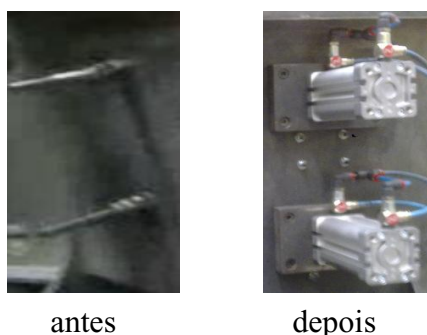


Figura 16 – Terceira modificação (fixadores)
Fonte: Autor (2012)

Diante das modificações executadas, e pela identificação das deficiências observadas na coleta de dados, foi necessária a criação e implantação de procedimentos para cada

atividade executada pelos operadores, durante o *setup*, com o objetivo de padronizar as tarefas independentemente do operador envolvido.

Como não havia procedimentos para as atividades de *setup* foram criadas instruções de trabalho para o sistema de granulação e o sistema de classificação com treinamentos para todos os envolvidos nas atividades de *setup*.

3.6 MELHORIA CONTÍNUA

Nesta fase, Shingo (2008) declara que não precisa ser executada sequencialmente a etapa anterior; podem ser praticamente simultâneas e a define como “racionalizando todos os aspectos da operação de *setup*”, contudo, foi separada neste trabalho devido a sua ocorrência ter sido posterior às melhorias anteriores implantadas nas atividades. Baseando-se na filosofia de melhoria continua, o SMED deve ser considerado como ferramenta de melhoria continua como observado no trabalho de Sugai, McIntosh e Novaski (2007).

Após algumas análises foi possível fazer interferências no sequenciamento de programação e conduzir a um sequenciamento de produtos com características similares de cores idênticas que eram programados entre as 3 extrusoras existentes. Dessa forma, uma linha de produção, a linha C, ficou dedicada a produtos com características similares facilitando a etapa de *setup*. Os produtos eram programados pelo departamento de Planejamento e Controle da produção (PCP) sem considerar as suas similaridades.

Com essa alteração percebeu-se, por uma análise de valor, que um produto não causava interferência nas características de outro produto por ter formulações similares e, dessa forma, foi estudado uma forma de executar o *setup* sem a parada da linha de produção.

Anteriormente, para toda troca de produto era feita uma parada da linha para finalização do produto anterior e ajustes para o próximo produto. Em alguns casos percebia-se que produtos idênticos, apenas com nomenclatura diferente devido a razões comerciais, sofriam *setup* e essas peculiaridades não eram analisadas pela manufatura com o intuito de reduzir o tempo de troca de produto. As paradas sempre existiam de qualquer forma, era um conceito totalmente sólido. Era um paradigma que deveria ser quebrado.

Considerando um produto A, próximo ao término de sua produção, foram feitos acompanhamentos dos níveis dos dosadores de matéria-prima, com o intuito de fazer a alimentação da próxima antes de chegar o fim da atual. Com essa operação foi necessário gerar um produto de transição que posteriormente foi realimentado ao processo.

Foi feita uma simulação considerando tempo de *setup* zero para os itens de formulações similares em conjunto com *setups* executados com a máquina parada, executando as paradas normais. Na Figura 17 pode-se verificar que o tempo médio do *setup* foi reduzido para 25 min 28 s.

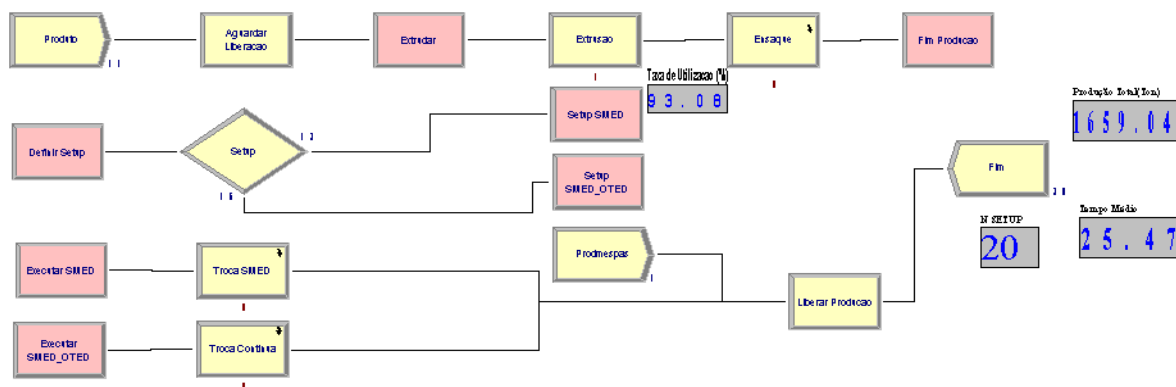


Figura 17 – Simulação com sugestões de melhoria-SMED/OTED
Fonte: Autor (2012)

A troca de produto com a máquina em operação foi intitulada como “troca contínua” e passou a ser organizada pelo supervisor de turno com seu acompanhamento no local. Esse tipo de *setup* passou a requerer uma maior responsabilidade dos operadores onde o ponto de corte do material de transição era crucial para não gerar produto fora de especificação. Após diversos testes e treinamentos a nova metodologia foi implantada.

No início houve dificuldades no momento da inserção da formulação do produto, onde havia a parada da linha por excesso de torque devido a formulações cadastradas de forma errônea. O problema foi contornado por meio de alterações no modo de inserção da formulação no sistema operacional da máquina, onde a formulação passou a ser inserida no PLC manualmente e não sendo baixada conforme procedimento anterior.

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho foram confrontados com as simulações executadas no Arena e, para iniciar a melhoria nas modificações das tarefas executadas internamente ao *setup*, que passaram a ser executadas com a máquina operando (externamente), e as alterações em equipamentos foram simuladas tendo como resultados um tempo médio de *setup* igual a 41 min 11 s. Após a implantação, foram coletados os dados reais resultando em tempo de *setup* igual a 43 min 00 s e dessa forma coerentes com o tempo da simulação e 45,23 % abaixo do tempo antes da implantação do SMED. Na Tabela 2 podem-se comparar os resultados.

Tabela 02 – Comparação dos resultados

Nº	Atividades para <i>Setup</i>	Operador	Tempo	Tempo SMED
01	Finalizar lote	A	10 min 19 s	0
02	Circular água no granulador	A	7 min 35 s	7 min 30 s
03	Limpar secador	A	30 min 43 s	15 min 6 s
04	Limpar filtros de água	A	11 min 15 s	0
05	Limpar coletor de grânulos	A	7 min 37 s	8 min 33 s
06	Limpar coletor de aglomerados	A	3 min 54 s	4 min 13 s
07	Verificar silo	A	1 min 45 s	1 min 32 s
08	Partir extrusora	A	5 min 19 s	6 min 6 s
		Total	1 h 18 min 27 s	43 min 0 s
01	Limpar funil de alimentação	B	5 min 52 s	5 min 20 s
02	Limpar vent's	B	6 min 28 s	0
03	Limpar bomba de vácuo	B	7 min 8 s	0
04	Limpar dosador de premix	B	10 min 22 s	11 min 40 s
		Total	29 min 50 s	17 min 0 s
01	Drenar estações	C	15 min 48 s	15 min 59 s
02	Drenar silo	C	16 min 34 s	15 min 23 s
03	Trocar roscas	C	5 min 25 s	6 min 46 s
04	Limpar coletor de alimentação	C	2 min 11 s	3 min 44 s
		Total	39 min 58 s	41 min 52 s
01	Limpar mangote classificador	D	7 min 31 s	8 min 5 s
02	Limpar válvula diversora	D	5 min 23 s	4 min 51 s
03	Limpar classificador	D	25 min 3 s	8 min 0 s
04	Limpar grade magnética	D	4 min 21 s	5 min 27 s
05	Limpar válvula rotativa	D	9 min 47 s	8 min 38 s
		Total	52 min 5 s	35 min 01 s
	Tempo total de <i>Setup</i>		1 h 18 min 27 s	43 min 0 s

Esses resultados foram considerados antes da alteração do sistema de programação de produção, após a mudança no sequenciamento dos produtos, o tempo médio de *setup* foi reduzido em 48,03%. Contudo, não foi possível aplicar a execução do *setup* sem a parada da linha de produção para todos os produtos e, considerando essa aplicação nos produtos de formulações similares e a intervenção dos operadores, seja alterando a configuração dos equipamentos ou executando a troca das matérias-primas, pode-se classificar o *setup* em OTED (*One Touch Exchange of Die*) como definido por Black (1998). Nesses produtos a linha de produção não parava, contudo era gerado um produto de transição.

Para a execução do *setup* sem a parada da linha, tem-se uma queda de produtividade devido à diminuição da vazão da extrusora para um melhor controle dos níveis de matéria-prima, como pode ser descrito na Figura 18.

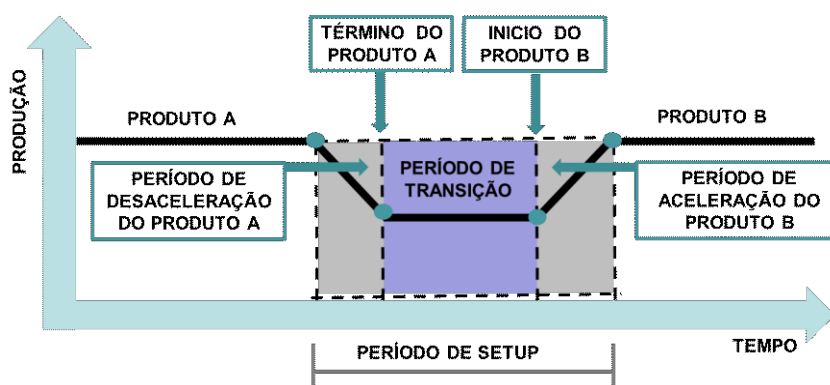


Figura 18- Tempo de *setup* – OTED
Fonte: Autor (2012)

O tempo de parada de máquina para a execução do *setup* não existe, contudo, há uma redução da produtividade no final da produção do produto A até que o mesmo comece a entrar em transição, quando o produto A tem o término de sua produção. Durante o período de transição ocorre a troca do produto e quando se tem unicamente o produto B em máquina, a partir daí tem-se a elevação da produtividade até o produto B atingir os requisitos de qualidade encerrando o período de *setup*.

Na figura 19 são comparados os resultados reais das implementações executadas. A simulação mostrou um valor do tempo médio de *setup* próximo do valor real, sendo 25 min 28 s contra 22 min 20 s no sistema real.

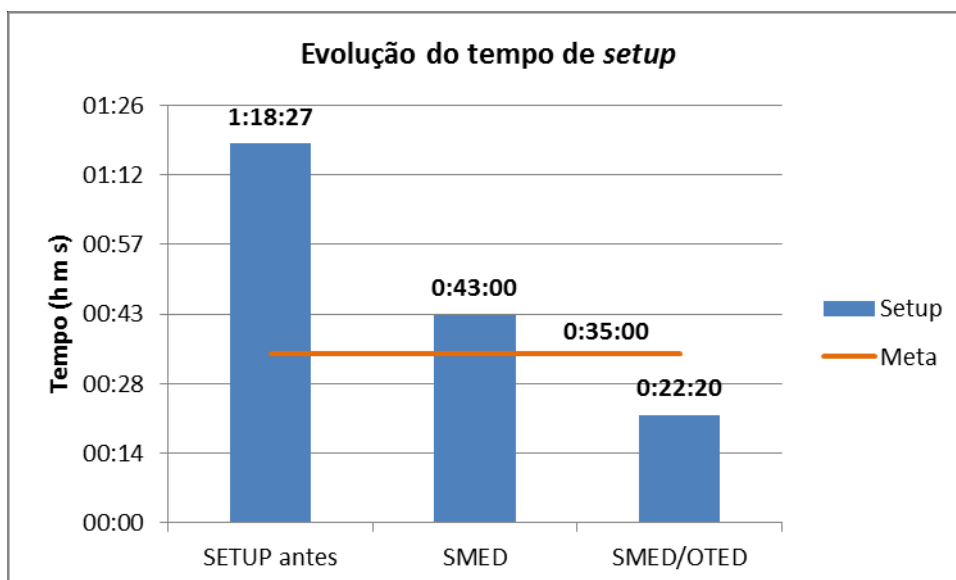


Figura 19 – Evolução da redução do tempo de *setup*
 Fonte: Autor (2012)

O resultado esperado para a empresa ser referência em *setup* de máquina foi atingido, sendo que o proposto antes da implantação da técnica era atingir níveis de *setup* menores que 35 min 00 s e após foi conseguido um tempo igual a 22 min 20 s, ou seja, bem abaixo do esperado 71,53% de redução. Os resultados foram obtidos apenas na linha denominada C de produção.

5.0 CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos na implantação do SMED, pode-se concluir que é uma ferramenta eficiente que utiliza trabalho em equipe, o uso da criatividade, técnicas mecânicas e mudança da mentalidade das pessoas envolvidas. A mentalidade enxuta precisa estar disseminada para o sucesso da implantação do SMED. E a TRF é uma forma expressiva de conseguir que as pessoas comecem a absorver a mentalidade de produção enxuta devido aos resultados expressivos conseguidos pela técnica de Shingo, ou seja, é a base para uma produção enxuta e tem o objetivo de reduzir desperdícios e aumentar a produtividade dos processos.

As dificuldades encontradas na implantação da proposta deste trabalho foram geralmente ligadas às pessoas, onde foi necessário treinamentos e acompanhamentos ao longo de todo o processo e vencer resistências demonstradas por aqueles com mentalidade mais fechada. Outra dificuldade encontrada foi pelo manuseio da interface de simulação, onde foi necessário dedicação para simular o processo fabril com suas peculiaridades. A utilização do software Arena necessita de conhecimentos prévios e treinamento para manuseio da ferramenta.

A metodologia aplicada na empresa estudada mostrou ganhos expressivos na redução do tempo de *setup* chegando a um total de 71,53% de redução no tempo médio para a execução das atividades.

Neste trabalho também foi observado que alterações no sequenciamento de produção dos produtos contribuiriam muito para a aplicação do SMED, podendo ser atingido o OTED conforme vimos, contudo Shingo (2008) não menciona sobre a similaridade de produtos com produção dedicada para isso, ele comenta sobre sequenciamento de cores para uma injetora e comenta que para melhorar as trocas de cores seria necessário mais estudos. Um planejamento eficiente do programa de produção foi crucial para se obter uma redução acentuada no tempo médio de *setup*.

As simulações do software Arena foram de grande auxílio, pois por meio delas, pôde-se ter uma noção dos resultados esperados, principalmente se determinada alteração poderia ter efeito satisfatório ou não. Como a operação de *setup* era executada por 04 pessoas, e o tempo total do *setup* era função do tempo total do operador, a simulação mostrou a possibilidade de uma redução se fossem feitas modificações, principalmente nas atividades do operador, que demandava maior tempo para término das atividades. Não foram explorados

todos os pontos possíveis para aproveitamento da mão-de-obra, pois cada operador executava uma tarefa específica não interferindo nas atividades dos outros.

Como resultado final, obteve-se um nível de *setup* muito menor do que foi proposto como meta, contudo, este resultado foi conseguido por meio da aplicação da técnica em uma única linha de produção.

Este trabalho não explorou todos os pontos para alcançar o *setup* menor que um dígito do minuto, como é a proposta da técnica. Contudo, deve-se ter em mente que o SMED é um conceito de melhoria contínua e merece ser praticado após toda melhoria encontrada para a redução do *setup*, seguindo um ciclo contínuo que se inicia com o término do anterior.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O trabalho aqui apresentado não explorou aspectos financeiros envolvidos nas intervenções dos equipamentos, sendo que qualquer alteração que venha a ocorrer geram custos e este deve ser confrontado com os ganhos futuros para verificar se tais modificações são viáveis ao processo. Também não foi explorado alterações no grupo dos operadores que executavam o *setup*, como por exemplo, a execução das tarefas por mais de um operador.

5.2 COMENTÁRIOS FINAIS

Por meio da utilização da ferramenta da TRF e da metodologia aplicada pode atingir os objetivos propostos no início deste trabalho;

→ A técnica de troca rápida de ferramentas foi implantada com resultados satisfatórios;

→ Foi feita a identificação das operações que mais oneravam o *setup* com a atuação direta por meio de melhorias e separação do tipo de *setup*;

→ Por meio da simulação computacional pode-se verificar antecipadamente os ganhos que seriam obtidos com as modificações propostas;

→ Todas as operações foram padronizadas por meio de procedimentos que foram documentados e consolidados por meio de treinamentos junto aos operadores que participavam do *setup*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE J.A.C. **O Plástico na Prática**, São Paulo: Editora Sagma, 1990.

BANKS, J. **Handbook of simulation**: principles, methodology, advances, application, and practice. Ed John Wiley, 1998.

BLACK, J. T. **O projeto da fábrica com futuro**, Porto Alegre: Bookman, 1998.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**: Uma introdução, Rio de Janeiro: LTC Editora, 5. Ed., 2002.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C.; **Modelagem e simulação de eventos discretos**: teoria e aplicações. São Paulo, 2006.

COSTA, A. E.; LIMA, J. F. G.; GOMES, M. L.B. Redução do tempo de *setup* na produção de botas de pvc através da técnica TRF. **Revista Produção Online**, v.12, n.1, março de 2012.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena**. 2ª Edição, Florianópolis: Visual Books, 2008.

LAKATOS E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**: procedimentos básicos, São Paulo: Editora Atlas, 2001.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**, third edition. New York: McGrawHill, 2000.

LEAL, L. R.; OLIVEIRA, M. J. F. Simulação aplicada ao gerenciamento de projetos: uma revisão. **Revista Produção Online**, v.11, n.2, abril de 2011.

LEÃO, SILVIA R. D.; SANTOS, M. J. Aplicação da troca rápida de ferramentas (TRF) em intervenções de manutenção preventiva. **Revista Produção Online**, v.9, n.1, março de 2009.

MONDEM, Y. **O sistema Toyota de produção**. São Paulo: IMAM, 1983.

MOURA A. R.; BANZATO E. **Redução do tempo de setup**: Troca rápida de ferramentas e Ajustes de máquinas, São Paulo: IMAM, 1996.

OHNO, TAIICHI. **O sistema Toyota de Produção**: Além da produção em larga escala, Porto Alegre: Bookman, 1997.

PONTES, H. L. J.; PALMA, J. G.; PORTO, A. J. V. SIMULINVE: um simulador de inventário para um centro de distribuição de peças. **Revista Produção Online**, v.8, n.3, 2008.

PRADO, D. **Usando o Arena em Simulação**, Minas Gerais: INDG, 2010.

RAPOSO, C.F.C. Overall equipment effectiveness: aplicação em uma empresa do setor de bebidas do polo industrial de Manaus. **Revista Produção Online**, v.11, n 3, setembro de 2011.

REIK, M. P.; MCINTOSH, R. I.; OWEN, G. W.; MILEHAM, A. R.; CULLEY, S. J. **Design for Changeover**: Enabling the design of highly flexible, highly responsive manufacturing processes, University of Bath, Innovative Manufacturing Research Centre (IMRC), 2005.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**: do ponto de vista da engenharia de produção, Porto Alegre: Bookman, 2002.

SHINGO, S. **Sistema de Troca Rápida de Ferramenta**: Uma revolução nos sistemas produtivos, Porto Alegre: Bookman, 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**, São Paulo: Editora Atlas, 2002.

SUGAI, M.; MCINTOSH, R. I.; NOVASKI, O. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos: v.14, n.2, p. 323-335, maio de 2007.