

**Universidade Estadual de Maringá**  
**Centro de Tecnologia**  
**Departamento de Engenharia de Produção**

**Simulação Dinâmica da Produção em uma indústria de  
peças agrícolas utilizando o ambiente Arena: Estudo de  
Caso**

*Arion Nickolas Sgobero*

**TCC-EP-09-2010**

**Maringá - Paraná**  
**Brasil**

Universidade Estadual de Maringá  
Centro de Tecnologia  
Departamento de Engenharia de Produção

**Simulação Dinâmica da Produção em uma indústria de  
peças agrícolas utilizando o ambiente Arena: Estudo de  
Caso**

*Arion Nickolas Sgobero*

**TCC-EP-09-2009**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como  
requisito de avaliação no curso de graduação em  
Engenharia de Produção na Universidade Estadual de  
Maringá – UEM.

Orientador: Prof.: Dr. Gilberto Clóvis Antonelli

**Maringá - Paraná  
2010**

## DEDICATÓRIA

À Deus,

À meus pais, Jenny e Antonio Marcos, pelo amor incondicional e apoio,

À toda turma 31 do ano de 2010 do curso de Engenharia de Produção,

E à todos os meus amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Dr. Gilberto Clóvis Antonelli, pela ajuda e orientação para o desenvolvimento deste trabalho.

À todo o corpo docente do departamento do curso de Engenharia de Produção, que direta ou indiretamente contribuíram com seus conhecimentos para a realização deste trabalho.

## RESUMO

Através da ferramenta da simulação é possível elaborar modelos que irão auxiliar na tomada de decisão, facilitando o planejamento e programação da produção bem como auxiliar no dimensionamento de recursos como mão-de-obra e equipamentos. Com o intuito de fazer o estoque absorver uma demanda extremamente sazonal, elaborou-se um modelo que pudesse levantar estes recursos, bem como analisar o processo produtivo atual da empresa, então realizou-se propostas de melhorias para economia de tempo e redução de custos no processo. O tipo de produção a ser simulada é por lote de peças. Para chegar ao modelo foram utilizadas ferramentas como a curva ABC, e mapeamento de processos, e também levantadas minuciosamente todas as operações e processos pelos quais passam um lote de peças. No resultado do estudo verificou-se uma necessidade de melhor distribuição de recursos a fim de evitar a sobrecarga de mão-de-obra e equipamentos bem como paradas indesejáveis no meio do processo. O trabalho atingiu seus objetivos pois conseguiu demonstrar quais os recursos deverão estar disponíveis para a fabricação dos itens.

**Palavras-chave:** Simulação. Arena. Dimensionamento de recursos. Demanda sazonalidade.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	1
1.1.	Justificativa .....	1
1.2.	Definição e delimitação do problema .....	1
1.3.	Objetivos .....	2
1.3.1.	Objetivo geral .....	2
1.3.2.	Objetivos específicos .....	2
2.	REVISÃO LITERÁRIA .....	3
2.1.	Gestão da Demanda .....	3
2.1.1.	Processo de previsão de vendas .....	3
2.1.2.	Sistema de previsão de vendas .....	3
2.2.	Planejamento da Capacidade .....	4
2.2.1.	Mapeamento de processos .....	4
2.2.1.1.	Relação modelagem x mapeamento de processos .....	4
2.2.1.2.	Mapas de processos .....	5
2.2.2.	Medidas de capacidade .....	5
2.2.2.1.	Capacidade Efetiva .....	5
2.2.2.2.	Aumento da capacidade máxima .....	6
2.3.	Ferramentas Para o Planejamento da Capacidade .....	6
2.3.1.	Teoremas de fila de espera .....	6
2.4.	Modelagem e Simulação de Sistemas .....	7
2.4.1.	Definindo simulação .....	7
2.4.2.	Aplicações de simulação nas linhas de produção .....	8
2.4.3.	Modelos .....	8
2.4.3.1.	Classificação de modelos de simulação .....	9
2.4.4.	Vantagens e desvantagens da simulação .....	9
2.4.5.	Metodologia da simulação .....	11
2.4.6.	O Arena .....	11
3.	Metodologia .....	13
4.	ESTUDO DE CASO .....	14
4.1.	Curva ABC dos Produtos .....	14
4.2.	Os Produtos .....	17
4.3.	Descrição dos Processos .....	19
4.4.	Fluxograma do processo .....	24
4.5.	A Simulação .....	25
4.5.1.	Modelo: Cubo da boca de milho .....	25
4.5.1.1.	Elaboração do modelo: Situação atual .....	25
4.5.1.2.	Análise do modelo: Situação atual .....	29
4.5.1.3.	Elaboração do modelo: Proposta de melhoria .....	31
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	33
6.	CONCLUSÃO .....	34
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Símbolos padronizados para o gráfico de fluxo de processos.....	05
Figura 2: Fases em estudo da simulação.....	11
Figura 3: Curva ABC das famílias dos produtos.....	16
Figura 4: Engrenagem Z62 Asa50.....	17
Figura 5: Cubo da boca de milho.....	18
Figura 6: Fluxograma do processo de produção do cubo da boca de milho.....	24
Figura 7: Processo de torneamento do Cubo da boca de milho.....	25
Figura 8: Processo de furação e escareamento do Cubo da boca de milho.....	26
Figura 9: Processo de pintura, embalagem e etiquetagem do cubo da boca de milho.....	26
Figura 10: Taxa de utilização dos recursos do modelo.....	30
Figura 11: Taxa de utilização de recursos do modelo após sugestão de melhorias.....	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das famílias de produtos e volume de vendas dos últimos 4 anos.....	14
Tabela 2: Relação faturamento e percentagem em vendas das famílias dos produtos.....	15
Tabela 3: Tempos de processos (em minutos).....	27
Tabela 4: Distribuição do tempo de processamento das peças.....	28
Tabela 5: Tempo de espera das peças em cada processo.....	28
Tabela 6: Taxa de utilização dos recursos do modelo.....	29
Tabela 7: Tempo de espera no processo após melhoria.....	31
Tabela 8: Taxa de utilização de recursos do modelo após sugestão de melhorias.....	32

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Ficha Técnica da Engrenagem Z62 ASA 50.....	17
Quadro 2: Ficha Técnica do Cubo da Boca de Milho.....	18

# **1. INTRODUÇÃO**

As empresas, de uma maneira geral, direcionam suas atividades para o rumo em que acreditam que seu negócio terá sucesso. O rumo é normalmente traçado com base em previsões, sendo a previsão da demanda a principal delas.

Em muitas organizações, o planejamento e controle de capacidade está preocupado em lidar com as flutuações sazonais da demanda. Logo as empresas devem fazer uma programação eficiente de sua produção para que essa sazonalidade não venha a ser um problema no atendimento eficiente dos pedidos gerados ao longo do exercício. Para tal são necessárias ferramentas de apoio que permitam trazer informações gerenciais quanto que e como produzir, no caso da empresa em questão, uma empresa do ramo metal mecânica especializada na produção de peças para colheitadeiras e tratores, essa abordagem é feita baseado no volume de vendas de determinados produtos nos últimos quatro anos.

Para se realizar uma eficiente programação da produção necessitamos de ferramentas que nos ajudem nesse processo. Uma das ferramentas é a Simulação Dinâmica.

O trabalho a ser apresentado tem a intenção de simular a produção da indústria em questão para idealizar qual o tempo necessário para produzir determinada demanda para então realizar um estudo quanto a capacidade atual da indústria, se ela é eficiente e se não, quanto seria necessário mexer nos fatores de produção como mão-de-obra e equipamentos para que essa demanda seja atendida no prazo ideal.

## **1.1. Justificativa**

Este trabalho surgiu devido ao fato de que a empresa não consegue homogeneizar sua produção durante o ano, isso ocorre porque em época de safra a demanda é extremamente alta, ao contrário da entre safra. Por isso existe a necessidade de criar estoque na empresa para que toda a demanda seja atendida sem maiores problemas.

No ambiente de simulação existe a possibilidade de se criar modelos computacionais que vão auxiliar a tomada de decisão de o que produzir, quanto produzir, qual será a mão de obra necessária para produzir, e como será distribuída essa produção ao longo do exercício do ano.

## **1.2. Definição e delimitação do problema**

O tipo de pesquisa a ser desenvolvida é de natureza explicativa pois o objetivo aqui é testar hipóteses, a partir de um projeto experimental com o propósito de captar relações de

causa e efeito e eliminar contradições e hipóteses alternativas que possam prejudicar os resultados.

Como local de estudo temos uma empresa do ramo metal-mecânica fabricante de peças de máquinas agrícolas (colheitadeiras e tratores). Nesta empresa a demanda de produtos é extremamente sazonal, isso se dá porque uma grande quantidade de pedidos são gerados durante a época da safra, ou seja, no início do mês de Outubro até o fim do mês de Março (Moreira, 2010). Logo, no período de entre safra a empresa produz uma quantidade de estoque que consiga atender à grande demanda na época da safra (*make-to-stock*).

O principal problema a ser respondido é: como distribuir de forma eficiente a produção em uma empresa onde existe uma demanda de grande sazonalidade? Como o ambiente de simulação pode contribuir para que seja feito um planejamento de produção eficiente? Como utilizar e manipular as ferramentas disponíveis para melhor atingir os objetivos? Esses serão os maiores desafios do trabalho em questão.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo geral**

O objetivo geral desse trabalho é, a partir de uma demanda previamente estabelecida, dimensionar os fatores produtivos da empresa. Para tal será utilizado um ambiente de simulação, mais especificamente o software Arena.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Estudar a sazonalidade da empresa e a distribuição da produção da empresa;
- Separar a minuta de produtos da empresa em famílias, para que seja levantada a demanda dos últimos quatro anos da empresa;
- Selecionar dois produtos das famílias com maior volume de vendas na empresa;
- Mapear os processos de produção de cada produto escolhido assim como os tempos de produção;
- Realizar a Simulação, utilizando o software Arena.

## 2. REVISÃO LITERÁRIA

Tubino (2006, pg.63) cita que “a previsão da demanda é a base para o planejamento estratégico da produção, vendas e financeiro de qualquer empresa”.

Partindo deste ponto, as empresas podem desenvolver os planos de capacidade, fluxo de caixa, vendas, produção, estoque, mão-de-obra, etc.

### 2.1. Gestão da Demanda

A gestão da demanda é de muita importância dentro de uma organização visto que poucas empresas têm flexibilidade para alterar o volume de produção ou o *mix* de produtos produzidos de um dia para o outro para atender às variações da demanda, principalmente no curto prazo.

Segundo Corrêa, Gianesi e Caon (1997), entre as funções da gestão da demanda, um dos principais quesitos é a habilidade para prever esta demanda, isso é possível através de ferramentas como base de dados históricos de vendas, explicitando suas variações e comportamento no passado.

#### 2.1.1. Processo de previsão de vendas

O processo de previsão de vendas é possivelmente o mais importante dentro da gestão da demanda. Um problema que pode ser encontrado é que é praticamente impossível prever uma demanda 100% correta, ainda mais em empresas que possuem um *mix* muito grande de produtos

Os eventos que mais podem comprometer a previsão da demanda são o próprio mercado que pode ser bastante instável e de baixa previsibilidade, e também o fato de os dados coletados para se fazer uma previsão estejam errados ou ultrapassados, logo se necessita qualidade no sistema de previsão de vendas. Apesar de todas as possíveis variações, uma empresa nunca deve deixar de arriscar uma previsão, já que parte das incertezas são inevitáveis.

#### 2.1.2. Sistema de previsão de vendas

Um sistema de previsão de vendas é o conjunto de procedimentos de coleta, tratamento e análise de observações que visa gerar uma estimativa das vendas futuras, medida em unidade de produtos (ou famílias de produtos) em cada unidade de tempo. (WANKE, 1998).

Algumas informações devem ser levadas em questão como dados históricos de venda, informações que revelem comportamento fora do padrão das vendas passadas, conhecimento

sobre a situação econômica do mercado atualmente e no futuro, informações sobre a atuação dos concorrentes, entre outras.

Todas essas informações devem ser coletadas e para isso, procedimentos específicos devem ser estabelecidos e sistemas de informação adequados devem ser desenvolvidos.

O tratamento de todas essas informações e sua combinação com os dados históricos deve ser feito com a participação dos representantes das principais áreas envolvidas no processo de planejamento, ou seja, de planejamento de produção, financeira, engenharia de produtos, entre outros. Isso confere mais qualidade ao processo de previsão e legitima os resultados.

## **2.2. Planejamento da Capacidade**

O planejamento da capacidade é importante para o sucesso de uma organização a longo prazo. Ao optar por uma estratégia de capacidade, os gerentes devem considerar questões como:

- Que proteção é necessária para lidar com a demanda variável e incerta?
- Devemos ampliar a capacidade antes que exista a demanda, aguardar até que exista a demanda ou aguardar até que a demanda seja mais certa?

Uma abordagem é necessária para responder a essas e outras questões similares e desenvolver uma estratégia de capacidade apropriada para cada situação.

### **2.2.1. Mapeamento de processos**

Um processo, é uma ordenação específica das atividades de trabalho no tempo e no espaço, com um começo, um fim, *inputs* e *outputs* claramente identificados, enfim, uma estrutura para ação.

O mapeamento de processos envolve simplesmente a descrição de processos em termos de como as atividades relacionam-se umas com as outras dentro do processo. Existem muitas técnicas que podem ser usadas para mapeamento de processos como o *process blueprinting* ou **análise de processo**.

#### **2.2.1.1. Relação modelagem x mapeamento de processos**

A modelagem é uma técnica muito importante que pode ser complementar ao mapeamento de processos. Para Pid (1998), faz sentido modelar o processo para descobrir os componentes essenciais e sensíveis em que as melhorias farão diferença, já que as mudanças tecnológicas permitem que o mesmo seja mudado no espaço ou no tempo, capacitando a organização a operar mudanças rapidamente, auxiliadas por modelos simulados em

computador e pela engenharia dos processos de negócio.

Logo não devemos confundir modelagem com mapeamento de processos. Na modelagem, a meta é entender as ligações entre os conjuntos de dados, onde aqueles podem estar presentes, enquanto que o mapeamento de processos busca entender os processos de negócios existentes e futuros, para criar melhor satisfação do cliente e melhor desempenho dos negócios.

### 2.2.1.2. Mapas de processos

Em um mapa de processos consideram-se atividades, informações e restrições de interface de forma simultânea. A sua representação inicia-se do sistema inteiro de processos como uma única unidade modular, que será expandida em diversas outras unidades mais detalhadas, que, conectadas por setas e linhas, serão decompostas em maiores detalhes de forma sucessiva (Villela,2000 *apud*. Hunt, 1996).

Segundo Slack (2009, pg. 102) a simbologia utilizada em mapas de processos são as seguintes:

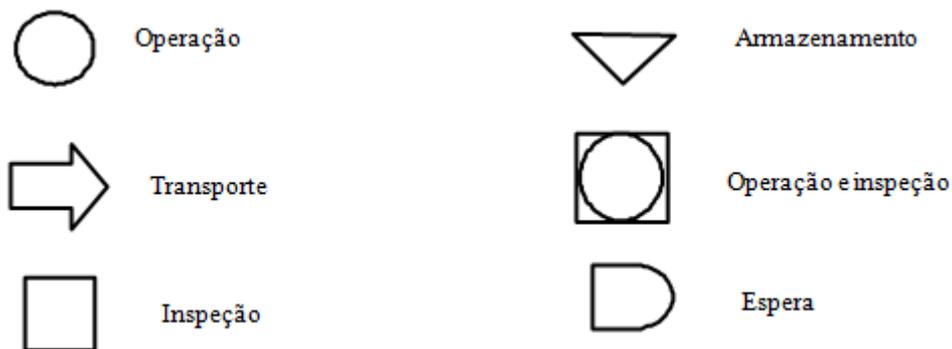


Figura 1: Símbolos padronizados para o gráfico de fluxo de processos.

### 2.2.2. Medidas de capacidade

A produção máxima que um processo ou uma instalação pode conseguir em condições ideais se chama **pico de capacidade**. Um processo o atinge utilizando métodos marginais de produção como horas extras excessivas, turnos extras, excesso de pessoal ou subcontratação.

#### 2.2.2.1. Capacidade Efetiva

A produção máxima que uma empresa ou processo pode manter economicamente sob condições normais é sua **capacidade efetiva**. Em algumas organizações, a capacidade efetiva implica uma operação em um turno; em outras, implica as operações em três turnos. Por essa razão, o *Census Bureau* define capacidade como o maior nível de produção que uma empresa

pode manter razoavelmente empregando horários de trabalho realistas dos funcionários e o equipamento atualmente instalado (FEIJÓ, 2006 apud MARRIS, 1964).

Quando operando no pico de capacidade, uma empresa pode obter lucro mínimo ou até mesmo perder dinheiro, apesar do elevado volume de vendas.

#### **2.2.2.2. Aumento da capacidade máxima**

A maioria dos processos e Produtos envolvem múltiplas operações e muitas vezes suas capacidades efetivas não são idênticas. Aqui podem aparecer os gargalos.

Para Goldratt e Fox (1997) os gargalos representam restrições à saída dos sistemas de produção.

Segundo Ritzman e Krajewski (2004). A capacidade a longo prazo das operações com gargalo podem ser ampliadas de várias maneiras. Investimentos podem ser feitos em equipamentos novos e na expansão nas instalações. A capacidade do gargalo também pode ser ampliada operando um maior número de horas por semana.

### **2.3. Ferramentas Para o Planejamento da Capacidade**

O planejamento da capacidade a longo prazo requer previsões de demanda para um período de tempo prolongado. Porém, a precisão da previsão diminui à medida que aumenta o horizonte de previsão. Logo, a demanda durante qualquer período de tempo não se encontra distribuída igualmente. Algumas ferramentas são de grande emprego onde ocorre incerteza e variabilidade de demanda como modelos de fila de espera, simulação e árvores de decisão.

#### **2.3.1. Teoremas de fila de espera**

Conforme Andrade (1998,p.377), um sistema de filas é caracterizado por seis componentes:

a) Modelo de chegada dos usuários ao serviço: o modelo de chegada é usualmente especificado pelo tempo entre as chegadas dos usuários/serviços. Pode ser determinístico, isto é, as chegadas ocorrem em intervalos de tempo exatamente iguais (tempo entre as chegadas é constante), ou ser uma variável aleatória, quando o tempo entre as chegadas é variável e segue uma distribuição de probabilidades presumivelmente conhecida. A taxa de chegada é um fator que também deve ser considerado.

b) Distribuição do tempo de serviço: A distribuição de probabilidade de tempo de serviço também é um fator importante. O estado pode ser dependente ou independente. No estado independente o processo de atendimento não depende do número de clientes esperando pelo serviço. Já no caso dependente o processo de atendimento irá variar de acordo com o

numero de clientes presentes na fila. Por exemplo, um servidor pode trabalhar mais rápido quando a fila aumenta ou, ao contrário, ficar confuso e então mais lento.

c) Número de servidores: quantidade de pontos de atendimento do sistema.

d) Capacidade do sistema: é o número de usuários que o sistema é capaz de atender. Deve-se levar em consideração os usuários que estão sendo atendidos e os que aguardam na fila. O sistema pode ser considerado finito ou infinito. Caso seja finito, e o sistema estiver sobrecarregado, nenhum cliente pode entrar na fila sem que outro seja atendido.

e) Tamanho da população: número potencial de clientes que podem chegar a um sistema. Pode ser finito ou infinito.

f) Disciplina da fila: é a forma como os servidores atendem aos clientes. Pode se dividir em:

- ❖ FIFO (first in, first out): primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido;
- ❖ LIFO (last in, first out): último a chegar é o primeiro a ser atendido;
- ❖ ALEATÓRIO, isto é, os atendimentos são feitos sem qualquer preocupação com a ordem de chegada;
- ❖ FILA COM PRIORIDADE: a cada cliente é atribuída uma prioridade; clientes com maior prioridade têm preferência no atendimento. Se a disciplina da fila não for informada, é considerada de acordo com o modelo FIFO.

## 2.4. Modelagem e Simulação de Sistemas

### 2.4.1. Definindo simulação

Segundo Freitas Filho (1999) “A simulação computacional de sistemas, ou simplesmente *simulação*, consiste na utilização de determinadas técnicas matemáticas, empregadas em computadores digitais, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente, qualquer tipo de operação ou processo (sistemas) do mundo real”.

Para Mello (2001) apud Law (1982) “ A simulação pode ser vista como o estudo de comportamento de sistemas reais através do exercício de modelos. Um modelo incorpora características que permitem representar o comportamento do sistema real”.

Simulação é o processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação. (PEDGEN, 1990 apud FREITAS FILHO, P.J, 1999, pg.03.).

Exemplos típicos de simulação são os sistemas de manufatura, o “hardware” de um computador, e em outro nível de abstração, as redes de comunicação. Dois aspectos

são de grande importância no estudo da dinâmica de simulação: os problemas de conflito e os problemas de sincronização. Os sistemas de manufatura oferecem exemplos desses dois aspectos. Um conflito ocorre num sistema de manufatura quando, por exemplo, duas peças devem ser processadas na mesma máquina, devendo haver uma decisão sobre qual delas será processada em primeiro lugar.

O aspecto de sincronização fica evidente, por exemplo, quando a montagem de uma peça depende de duas ou mais partes, cujo processamento por sua vez pode obedecer às mesmas restrições. Nesse caso, obviamente a parte com processamento mais tardio determinará o início da montagem da peça final.

Os fatores inseridos num processo de produção evidenciam um sistema complexo, de difícil tratamento analítico, justificando-se, portanto, a aplicação de simulação computacional para estudar o tamanho das filas, bem como o comportamento característico do sistema em relação a demanda.

#### **2.4.2. Aplicações de simulação nas linhas de produção**

A simulação tem inúmeras aplicações no mundo atual, nas áreas mais diversas, que vão desde produção em uma manufatura até o movimento de papéis em um escritório. Costuma-se dizer que “tudo que pode ser descrito pode ser simulado”, a linha de produção é a área que apresenta maior quantidade de aplicações de modelagem, podem ser analisados casos como:

- modificações em sistemas já existentes devido à expansão da produção, inserção de novos produtos ou equipamentos. Realizando a simulação pode-se antecipar onde ocorrerão gargalos.
- Pode se planejar um novo setor produtivo, realizando distribuição de máquinas e mão-de-obra obtendo-se o melhor fluxo dentro dele.
- Política de estoques.

Além da linha de produção podemos ainda aplicar simulação em áreas como logística de transporte e movimentação, comunicações, bancos, supermercados, processamento de dados, *call centers*, entre outros.

#### **2.4.3. Modelos**

No encaminhamento de um estudo de simulação, uma das principais etapas consiste na modelagem do sistema sob estudo, para que se possa observar seu comportamento sob determinadas condições que devem ser estudados e entendidos.

A modelagem de um sistema dependerá fundamentalmente do propósito e da complexidade do sistema sob investigação. São vários os tipos de modelos que podem ser empregados, tais como modelos matemáticos, descritivos, estatísticos e modelos tipo entrada-saída.

A decisão quanto a qual tipo de modelo usar depende da complexidade do problema e de como as variáveis desse problema se organizam. Em alguns casos, os modelos matemáticos e de teoria das filas podem trazer resultados aceitáveis. Em outros casos já existe a necessidade de utilizar a simulação.

#### **2.4.3.1. Classificação de modelos de simulação**

Os tipos de modelos descritos a seguir possuem características próprias e devem ser empregados de acordo com o tipo de processo decisório envolvido. Pode-se classificar os modelos de simulação de acordo com os seguintes propósitos:

- Modelos voltados à previsão: utilizada para prever o estado de um sistema em algum ponto do futuro, levando em consideração suas variações e mudanças;
- Modelos voltados à investigação: utilizados para desenvolver hipóteses quanto ao funcionamento de um sistema, através dos dados que este sistema possui;
- Modelos voltados à comparação: uma comparação de diferentes rodadas de simulação pode ser usada para avaliar os efeitos das mudanças nas variáveis de controle. Os efeitos podem ser medidos sobre as variáveis de resposta e relacionados aos objetivos traçados, se estes forem bem específicos.

#### **2.4.4. Vantagens e desvantagens da simulação**

A Simulação traz algumas vantagens e desvantagens a quem quer testar um modelo, como exemplo de vantagens temos:

- Um estudo simulado admite aos analistas considerarem níveis de detalhes jamais imaginados há pouco tempo atrás, permitindo que diferenças de comportamento, às vezes sutis, venham a ser notadas.
- A possibilidade do emprego de animações permitindo que se visualize o comportamento dos sistemas durante as simulações;
- A simulação não atrapalha as atividades contínuas de um sistema real;
- A simulação é muito mais geral do que os modelos matemáticos e pode ser usada onde as condições não são adequadas para a análise matemática padrão;
- A simulação pode ser usada como jogo para treinar experiências;

- A simulação responde as perguntas “e se”;
- Um estudo simulado pode economizar tempo e recursos financeiros no desenvolvimento de projetos, trazendo ganhos de produtividade e qualidade. Os custos de tais análises são, em geral, insignificantes se comparados aos seus benefícios;
- A percepção de que o comportamento do modelo simulado é muito semelhante ao sistema real.

Como desvantagens temos:

- Embora se gaste muito tempo e esforço para desenvolver um modelo para simulação, não há garantias que de fato o modelo irá fornecer boas respostas;
- Não há um meio de provar que o desempenho de modelo de simulação seja completamente confiável, pois a simulação envolve inúmeras repetições de seqüências que são baseadas em ocorrências aleatoriamente geradas. Um sistema aparentemente estável pode, com a combinação certa de eventos –embora isso seja improvável- explodir;
- Poderá ser necessária uma quantidade significativa de tempo computacional para operar os modelos mais complexos;
- A técnica de simulação, embora esteja progredindo, não possui uma abordagem padronizada. Assim, os modelos de um mesmo sistema, desenvolvidos por indivíduos diferentes, pode diferir amplamente.

### 2.4.5. Metodologia da simulação

O fluxograma a seguir representa as principais fases em estudo da simulação:

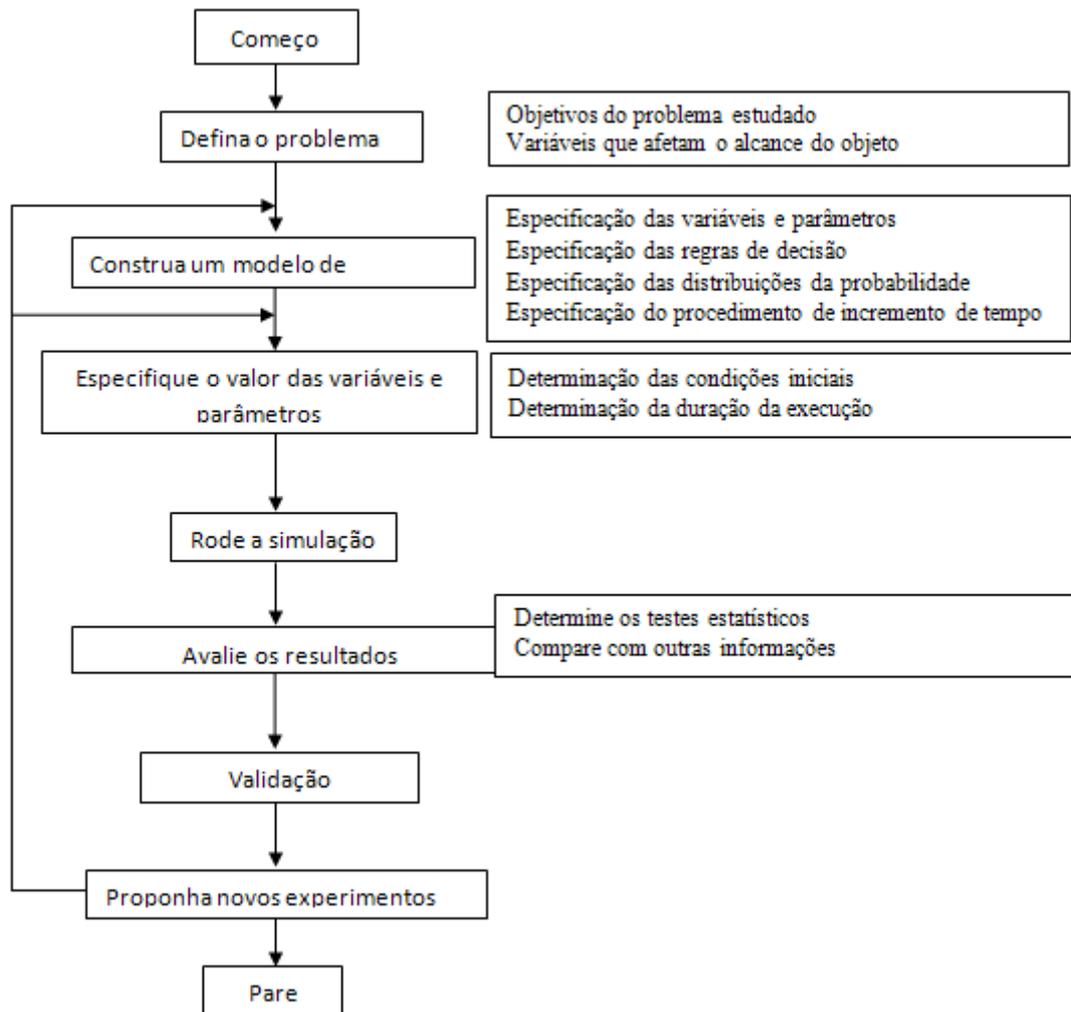


Figura 2: Fases em estudo da simulação.

### 2.4.6. O Arena

Segundo Chase, Jacobs e Aquilano (2004), existe a necessidade de aprender a utilizar um software de simulação. O software de simulação deve:

- Ser capaz de ser utilizado interativamente, assim como permitir execuções completas;
- Ser fácil de se utilizar e entender;
- Permitir que sejam desenvolvidos módulos que se conectam, possibilitando o trabalho nos módulos separadamente sem que se afete todo o sistema;
- Permitir que os usuários desenvolvam e incorporem suas próprias rotinas: nenhum programa de simulação consegue atender todas as necessidades.

O software ARENA é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho & animação, análise estatística e análise de resultados. Ele foi desenvolvido pela empresa Rockwell Automation. A versão utilizada para realizar o trabalho foi a 12.0.

O software ARENA contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho & animação, análise estatística e análise de resultados. Utilizando templates (cartuchos de customização), o software ARENA pode ser transformado facilmente em um simulador, específico para reengenharia, transporte de gás natural, manufatura etc. (Prado, 2004).

Ele é muito utilizado para a análise de filas, de linhas de produção e também de processos industriais contínuos. Como qualquer software de simulação, ele permite prever o comportamento de algo que não existe no mundo real. Por exemplo, se uma indústria pretende fazer alguma mudança, a utilização do software Arena para modelar e simular a nova situação, prevendo o comportamento futuro da indústria, permitindo à validação ou mudança do projeto de modificação.

### **3. Metodologia**

#### **1. Metodologia**

Para realizar a coleta dos dados e fazer o cálculo de capacidade e dimensionamento dos fatores produtivos foi recolhida uma amostra de cinco produtos da empresa, visto que o mix de produtos é extremamente grande, foram coletados os dados sobre suas respectivas demandas durante os últimos quatro anos para se ter uma idéia da variação dessa demanda e fazer uma previsão de quanto será produzido no intervalo de tempo a ser estudado. Os produtos foram selecionados com base no volume de vendas, logo esses são os produtos de maior destaque da empresa.

Para realizar a alimentação do modelo a ser desenvolvido foi feito um mapeamento dos processos de produção de cada item. Assim, foram cronometrados os tempos de processamento de cada etapa, essas análises foram feitas por observação direta no chão de fábrica e com auxílio de ferramentas como o cronômetro e planilhas eletrônicas de cálculos. Para realizar a Simulação, foi utilizado o software Arena, nele foram introduzidas as informações coletadas e foi proposto um modelo que atenda da forma mais real possível o processo e com os resultados obtidos prever a necessidade de fatores como mão-de-obra, equipamentos e capacidade.

A análise dos dados foi realizada com base nos relatórios gerados pelo Arena.

## 4. ESTUDO DE CASO

A empresa onde foi realizado o estudo de caso é uma indústria metal-mecânica produtora de peças para máquinas agrícolas, mais especificamente colheitadeiras e tratores. A atua no ramo há 31 anos atendendo o mercado nacional e internacional.

### 4.1. Curva ABC dos Produtos

Para avaliação dos fatores produtivos da produção que será realizado por simulação, foram selecionados dois produtos de grande apelo comercial para a organização em estudo. Para chegar a esses dois produtos em questão foram levantadas todas as famílias de produtos que compõem o setor de usinagem da empresa, que é o objeto de estudo deste trabalho.

Além de levantar as famílias, também foi levantada a quantidade de produtos que foram vendidos no exercício 2006 a 2009 da empresa.

O objetivo desses dados é realizar uma curva ABC para que assim seja possível eleger quais as duas famílias de maior representatividade nas vendas da empresa e a partir destas, selecionar os dois itens que serão o objeto de estudo da simulação.

DESCRIÇÃO	2006	2007	2008	2009	TOTAL	Preço de Venda
ÁRVORES	186	256	203	191	836	R\$ 78,00
BIELA	0	63	0	253	316	R\$ 65,00
BRAÇOS	321	589	425	463	1798	R\$ 16,00
BRAÇOS FUNDIDOS	963	621	852	751	3187	R\$ 39,00
CUBOS	1083	1622	1258	1091	5054	R\$ 28,00
CUBOS FUNDIDOS	2063	2856	2213	2309	9441	R\$ 80,00
DEDOS	20563	28396	22606	21119	92684	R\$ 6,00
DISCOS	396	602	458	421	1877	R\$ 23,00
DISCOS FUNDIDOS	506	701	698	552	2457	R\$ 38,00
EIXOS/PONTAS DE EIXO	109	174	139	118	540	R\$ 430,00
EMBOLO	36	118	52	221	427	R\$ 56,00
ENGRENAGENS	2586	3158	2736	2828	11308	R\$ 65,00
ENGRENAGENS FUNDIDAS	85	118	90	68	361	R\$ 38,00
ESPAÇADOR	6096	10083	7989	8960	33128	R\$ 14,00
MANCAIS	0	216	83	393	692	R\$ 78,00
PARAFUSOS	14319	18321	15218	15696	63554	R\$ 11,00
POLIAS	1896	3097	2563	2294	9850	R\$ 65,00
PONTEIRAS	424	2854	1044	3247	7569	R\$ 12,00
PORCAS	1030	1876	1253	1321	5480	R\$ 11,00
TUBOS	3056	5229	3634	3995	15914	R\$ 9,00

Tabela 1: Descrição das famílias de produtos e volume de vendas dos últimos 4 anos.

A tabela 1 relaciona as famílias de produtos em ordem alfabética e com as respectivas vendas nos últimos quatro anos. Podemos perceber que algumas famílias não venderam nada em determinados anos, isso se dá porque as mesmas foram desenvolvidas e entraram para o *mix* de produtos da empresa posteriormente a outras peças.

A empresa de peças agrícolas também forneceu um valor que representa a média dos preços dos produtos dentro das famílias, esses valores são importantes para que possamos avaliar a importância de cada item nas vendas da empresa.

Organizando a tabela do item de maior faturamento para o item de menor faturamento e analisando a percentagem de faturamento de cada família individualmente e global temos a tabela 2.

DESCRIÇÃO	FATURAMENTO POR PEÇA	FATURAMENTO	% DO	%
CUBOS FUNDIDOS	R\$ 755.280,00	R\$ 755.280,00	15,15%	15,15%
ENGRENAGENS	R\$ 735.020,00	R\$ 1.490.300,00	14,75%	29,90%
PARAFUSOS	R\$ 699.094,00	R\$ 2.189.394,00	14,03%	43,92%
POLIAS	R\$ 640.250,00	R\$ 2.829.644,00	12,84%	56,77%
DEDOS	R\$ 556.104,00	R\$ 3.385.748,00	11,16%	67,93%
ESPAÇADOR	R\$ 463.792,00	R\$ 3.849.540,00	9,30%	77,23%
EIXOS/PONTAS DE EIXO	R\$ 232.200,00	R\$ 4.081.740,00	4,66%	81,89%
TUBOS	R\$ 143.226,00	R\$ 4.224.966,00	2,87%	84,76%
CUBOS	R\$ 141.512,00	R\$ 4.366.478,00	2,84%	87,60%
BRAÇOS FUNDIDOS	R\$ 124.293,00	R\$ 4.490.771,00	2,49%	90,09%
DISCOS FUNDIDOS	R\$ 93.366,00	R\$ 4.584.137,00	1,87%	91,97%
PONTEIRAS	R\$ 90.828,00	R\$ 4.674.965,00	1,82%	93,79%
ÁRVORES	R\$ 65.208,00	R\$ 4.740.173,00	1,31%	95,10%
PORCAS	R\$ 60.280,00	R\$ 4.800.453,00	1,21%	96,31%
MANCAIS	R\$ 53.976,00	R\$ 4.854.429,00	1,08%	97,39%
DISCOS	R\$ 43.171,00	R\$ 4.897.600,00	0,87%	98,26%
BRAÇOS	R\$ 28.768,00	R\$ 4.926.368,00	0,58%	98,83%
EMBOLO	R\$ 23.912,00	R\$ 4.950.280,00	0,48%	99,31%
BIELA	R\$ 20.540,00	R\$ 4.970.820,00	0,41%	99,72%
ENGRENAGENS	R\$ 13.718,00	R\$ 4.984.538,00	0,28%	100,00%
<b>TOTAIS</b>	R\$ 4.984.538,00		100,00%	

Tabela 2: Relação faturamento e percentagem em vendas das famílias dos produtos.

Logo, com os valores obtidos na tabela 2 podemos realizar a classificação ABC das famílias dos produtos, que está representada na figura 3.

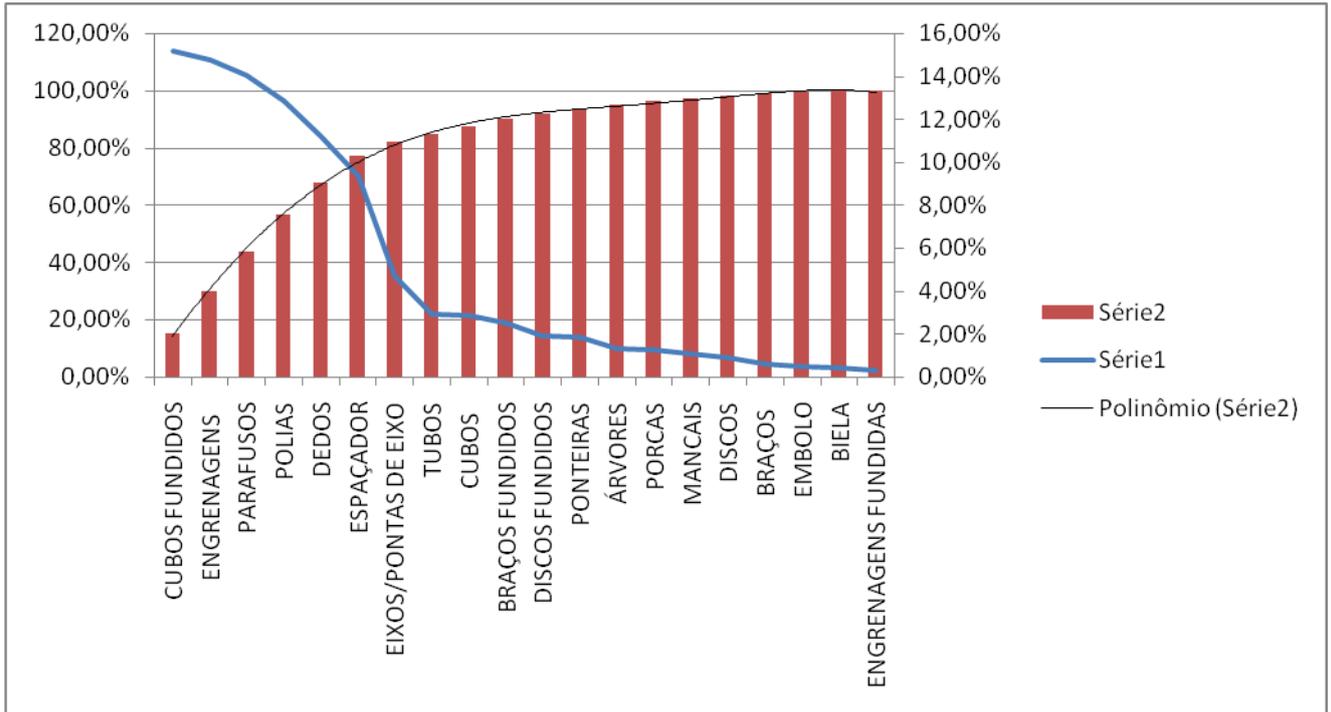


Figura 3: Curva ABC das famílias dos produtos

A partir dos resultados observados com o gráfico da curva ABC, podemos concluir que as famílias de produtos com maior representatividade de vendas são as famílias de cubos fundidos e engrenagens. Logo, foram adotados dois produtos que possuem características mais comuns à sua família como matéria-prima, processos, e utilização de máquinas.

## 4.2. Os Produtos

Os dois produtos selecionados foram:

- Engrenagem Z62 asa 50.

<b>Código do produto: 1175275132</b>		
<b>Descrição do produto: Engrenagem Z62 ASA50</b>		
<b>Peso Bruto: 7,129 Kg</b>		
<b>Peso Líquido: 5,519 kg</b>		
<b>Fabricante: Massey Ferguson / Ideal</b>		
<b>ENGENHARIA DE PROCESSO</b>		
<b>Descrição da atividade</b>	<b>Tempo de Setup (min)</b>	<b>Tempo de processo (min)</b>
SETUP OXICORTE	10	0
CORTAR OXICORTE	0	3,3333
SETUP USINAR CNC	30	0
USINAR CNC	0	1,1667
SETUP USINAR CNC	13	0
USINAR CNC	0	1,5
SETUP GERADORA DE DENTES	60	0
GERAR DENTES	0	5
SETUP USINAR CNC	20	0
CHANFRAR	0	1,6667
SETUP REBARBAR	10	0
REBARBAR	0	1,6667
SETUP FURADEIRA	20	0
FURAR E ESCAREAR	0	2,5
PINTAR	0	20
EMBALAR ETIQUETAR	0	1,1667
<b>ENGENHARIA DO PRODUTO</b>		<b>QTDE</b>
Chapa grossa SAE 1060 5/16 polegadas (8,00 mm)		7,129 kg
Tempera a Indução		
Solvente Universal 200 Litros		0,023 L
Esmalte sintético vermelho Massey Ferguson 18 Litros		0,046 L

Quadro 1: Ficha Técnica da Engrenagem Z62 ASA 50



Figura 4: Engrenagem Z62 Asa 50.

- Cubo da boca de milho

<b>Código do produto: 388169</b>		
<b>Descrição do produto: Cubo da boca de milho</b>		
<b>Peso Bruto: 1,14 kg</b>		
<b>Peso Líquido: 0,642 kg</b>		
<b>Fabricante: New Holland</b>		
<b>ENGENHARIA DE PROCESSO</b>		
<b>Descrição da atividade</b>	<b>Tempo de Setup (min)</b>	<b>Tempo de processo (min)</b>
SETUP USINAR CNC	25	0
USINAR CNC	0	3,4833
SETUP USINAR CNC	32	0
USINAR CNC	0	1,3167
SETUP CENTRO DE USINAGEM	20	0
FURAR	0	1,1833
SETUP CENTRO DE USINAGEM	5	0
FURAR E ESCARIAR	0	3,3333
PINTAR	0	20
EMBALAR E ETIQUETAR	0	1,1667
<b>ENGENHARIA DO PRODUTO</b>		<b>Qtde</b>
Ferro fundido nodular		1,14 kg
Solvente universal 200 Litros		0,01 L
Esmalte sintético amarelo New Holland Fosco		0,015 L

Quadro 2: Ficha Técnica do Cubo da Boca de Milho.



Figura 5: Cubo da boca de milho

As fichas técnicas acima foram desenvolvidas juntamente com os encarregados do setor de usinagem, que participaram do processo de desenvolvimento do produto desde o corte de sua matéria prima até o momento de sua embalagem e etiquetagem, processos finais pelos quais passam todos os produtos da empresa.

Para a realização das medições dos tempos de processos foi utilizado um cronometro digital. Os tempos dos processos foram medidos três vezes, em seguida foi feita a média desses tempos e sob o tempo médio, foi acrescentado um pequeno tempo pois o tempo de troca das peças no torno varia alguns segundos entre os operadores. Os operadores que operavam as máquinas no momento da medição eram de agilidade mediana, os *setups* são realizados pelo encarregado do setor, visto que há a necessidade de um conhecimento mais específico de máquinas. Para a medição dos pesos brutos e líquidos foram utilizadas balanças eletrônicas comuns. O peso bruto, na engrenagem, é medido logo após o corte de seu disco no oxicorte, já no cubo, é medido logo que o material fundido chega à empresa. Os pesos líquidos são medidos logo que as peças descem prontas do processo de pintura.

No processo de tempera que pode ser observado na ficha técnica da engrenagem, percebemos que não há um tempo cadastrado, isso ocorre porque o processo de tempera é realizado por terceiros, por uma empresa em Curitiba. O tempo que leva para a engrenagem ir e voltar deste processo é de cerca de uma semana.

As matérias-primas para fabricação das peças são compradas em grande volume, logo não há a necessidade de tempo de espera entre necessidade de materiais e a obtenção dos mesmos para a fabricação.

### **4.3. Descrição dos Processos**

O processo de fabricação dos produtos na empresa é variável, visto que a empresa trabalha com um *mix* de 3 mil produtos, como já foi citado anteriormente.

A descrição dos processos de fabricação é essencial para o entendimento do modelo que será proposto, a descrição traz informações como quais são os recursos utilizados durante a fabricação da peça, como máquinas e operadores.

#### **▪ *Cubo da boca de milho***

Como visto anteriormente, o cubo da boca de milho pertence à família dos cubos fundidos, que é a família de maior representatividade na curva ABC apresentada.

A indústria em questão utiliza como matéria-prima para seus produtos barras de aço, chapas de ferro, e ferro fundido. A opção de qual material será utilizado para produzir determinada peça é realizada na observação de qual será a menor perda de materiais durante a usinagem. No caso do cubo da boca de milho, por ser uma peça com forma e padrão diferenciado, não seria viável utilizar aço, pois para obtermos o formato desta peça teríamos grande perda de material, além de grande tempo de usinagem, para que a matéria-prima chegue no formato desejado. Por isto, a empresa prefere a utilização de ferro fundido. O

motivo desta preferência está no fato que a empresa dispõe de placas que contém o molde desta peça, logo, é injetado ferro fundido nesta placa e assim a peça sai com um formato quase perfeito, sendo necessário apenas fazer o acabamento da peça no torno. A fundição das peças é realizada por uma empresa terceirizada localizada em Toledo, no estado do Paraná, a demanda por este tipo de matéria-prima gira em torno de duas toneladas a cada quinze dias, de variados tipos de peça.

Após a chegada da matéria-prima fundida, o lote de cubos da boca de milho é encaminhado ao torno, para que seja realizado o acabamento no diâmetro do furo central da peça e para que sejam realizados os furos que se localizam nos “pés” da mesma. A seguir é explicado um passo a passo dos processos da peça:

- **Primeiro Setup do torno CNC:** O lote aguarda em uma caixa a realização do primeiro *Setup* do torno para a primeira usinagem da peça que consiste no faceamento da parede lateral do furo central da peça, o *setup* é realizado pelo encarregado da usinagem, este é responsável pela preparação das máquinas, observação do bom andamento e serviço dos outros operadores do setor e por operar o torno Mazak. Para este processo é utilizado o torno Mazak, um torno de maior precisão que é o mais usado em peças cuja matéria-prima é ferro fundido, a preferência por essa máquina está ligada ao fato que o ferro fundido gera um razoável índice de refugo.
- **Primeira usinagem:** Após a preparação da máquina inicia-se a usinagem, ou seja, o faceamento da peça, este processo gera um índice de refugo de cerca de 5%, o equipamento utilizado é o torno Mazak, como dito anteriormente, o operador aqui é o encarregado da usinagem.
- **Segundo Setup do torno CNC:** Neste processo será regulada a máquina para a realização do torneamento do furo central do cubo, este torneamento é necessário para dar uma precisão no diâmetro do furo para que o rolamento que vai nesse furo se encaixe perfeitamente. Nesse processo é utilizado o operador encarregado do setor e o torno ainda é o Mazak.
- **Segunda usinagem:** Realizado pelo encarregado da usinagem no torno Mazak, como já foi dito, será realizado o torneamento no furo central da peça. Este processo também gera um refugo em torno de 5%.
- **Setup Centro de Usinagem:** Neste processo é realizada a preparação do Centro de Usinagem, que é um equipamento especializado em realizar furos e fresas com maior

precisão. Para o *setup* é utilizado o encarregado do setor. O objetivo deste processo é a realização dos furos superiores da peça.

- **Furar 1** : Este processo será realizado por um operador, que no modelo será denominado “operador 1”, que trabalha exclusivamente no centro de usinagem.
- **Setup Centro de Usinagem 2:** Aqui o Centro é preparado para realizar os furos inferiores da peça, onde serão inseridos dois rolamentos.
- **Furar 2:** Neste processo o operador utilizado é o “operador 1”.
- **Escariar:** O processo de escariar consiste retirar a rebarba presente nos furos, para dar um melhor acabamento na peça, este processo é realizado simultaneamente com o segundo furo visto que é simples e rápido.
- **Pintar:** Em seguida, as peças são encaminhadas para o processo de pintura. Este processo consiste em colocar as peças em ganchos que seguirão uma manovia percorrendo um caminho que vai do setor de pintura até o almoxarifado. Durante esse caminho, os ganchos com as peças passam por uma cabine, onde será lançada tinta epóxi, ao longo do caminho as peças entrarão em uma estufa para que sequem, e enfim, seguirão até o almoxarifado.
- **Embalar e etiquetar:** As peças chegarão ao final da manovia e serão retiradas dos ganchos já prontas, em seguida serão embaladas em plásticos e etiquetadas com suas identificações.

É interessante que sejam feitas algumas observações nessa descrição do processo. As peças não passam de um processo para o outro simultaneamente, elas aguardam em caixas a execução do lote inteiro para então seguirem para o processo consecutivo. A taxa de refugo que foi estipulada anteriormente é baseada em experiências e médias já observadas durante a execução do processo.

#### ▪ ***Engrenagem Z62 Asa 50***

A família das engrenagens é a segunda colocada nos índices de faturamento da empresa. Este tipo de peça tem como matéria-prima chapas horizontais com diferentes espessuras, pois diferentes engrenagens exigem diferentes chapas. Estas ficam armazenadas no estaleiro da empresa que comporta toda a matéria-prima de aço e ferro maciço da empresa, após a chegada da ordem de produção, o operador do oxicorte, retira a chapa correspondente à

engrenagem que se deseja produzir, no caso da Z62 Asa 50, temos uma espessura de 8mm, ou, 5/16 polegadas.

A seguir, um detalhamento do processo de produção da Engrenagem Z62 Asa 50:

- **Setup Oxicorte:** O oxicorte é uma máquina de corte de metais por combustão contínua devido à presença de um jato de oxigênio agindo sobre um ponto previamente aquecido por uma chama. Este equipamento permite obter cortes precisos e de formatos variados, e é o mais viável para o corte das chapas utilizadas para fabricação de engrenagens. A peça sai desse processo na forma de discos, com o diâmetro específico que a peça exige.

O *setup* desta máquina consiste em programá-la para que corte o diâmetro exato da engrenagem e também regular a chama, pois a intensidade da chama varia com a espessura da chapa a ser cortada. O *setup* é realizado por um operador que opera apenas o oxicorte.

- **Cortar o oxicorte:** Neste processo é realizado efetivamente o corte dos discos da engrenagem. Após o corte os discos são depositados em uma caixa que é encaminhada para o setor de usinagem;
- **Setup usinar CNC:** Neste processo ocorre a preparação do torno para furar os discos. O torno utilizado Nardini Logic, que é reservado exclusivamente para este tipo de peça. A preparação da máquina é realizada pelo encarregado do setor;
- **Usinar CNC 1:** Nesta etapa ocorre a furação dos discos, o processo é executado por um torneiro mecânico;
- **Setup Usinar CNC:** Nesta parte ocorre preparação da máquina para realizar o faceamento das laterais do disco, dando um maior acabamento à peça. A preparação é feita pelo encarregado do setor de usinagem;
- **Usinar CNC 2:** Neste processo ocorre o faceamento das laterais, executado pelo torneiro.
- **Setup geradora de dentes:** Esta etapa consiste na preparação da geradora, máquina responsável por fazer os dentes da engrenagem. Este equipamento consiste por um eixo vertical onde serão inseridos os discos, em lotes que variam de acordo com o tamanho do disco. Nas laterais da geradora se encontram as brochas, que ao entrarem em contato com a lateral dos discos, dará origem aos dentes, tornando a peça, finalmente, em uma engrenagem. A preparação da máquina é realizada pelo operador da geradora;

- **Gerar dentes:** Aqui ocorrerá a geração dos dentes. Devido ao grande peso da engrenagem Z62 Asa 50, esta será executada em lotes de cinco unidades por ciclo da geradora. O operador aqui é o próprio da geradora;
- **Setup Usinar CNC:** Com os dentes já gerados, a engrenagem volta ao torno para que seja chanfrada, ou seja, sejam feitas arestas em torno de seu furo central evitando que a superfície fique muito pontiaguda. Este processo é realizado pelo encarregado do setor de usinagem, no torno Nardini Logic;
- **Chanfrar:** Como já dito anteriormente, a borda do furo central será chanfrada. O operador é o torneiro;
- **Setup Rebarbar:** Nesta etapa a engrenagem será rebarbada, ou seja, serão retirados todos os “cavacos” (restos de ferro usinado), para dar maior acabamento na peça. Este processo é realizado na câmara de rebarba, utilizada exclusivamente para rebarbar entre os dentes da engrenagem. O operador é o torneiro;
- **Rebarbar:** Rebarba da peça realizada pelo torneiro;
- **Setup Furadeira:** Preparação da furadeira para que sejam feitos furos na peça, esse furos servem para passagem de elementos de fixação. A preparação é realizada pelo auxiliar geral do setor, visto que é um processo fácil;
- **Furar e Escarear:** Furar a peça e escareá-la. Realizado pelo auxiliar de serviços gerais na furadeira;
- **Pintar:** A peça após furada e escareada é encaminhada para a pintura, o processo é o mesmo já citado anteriormente, no cubo.
- **Embalar e etiquetar:** Novamente, mesmo processo do cubo, a peça desce pela manovia e é embalada e etiquetada com sua identificação.

#### 4.4. Fluxograma do processo

O fluxograma elaborado a seguir é do cubo da boca de milho, item escolhido para representar a família de cubos fundidos. A abordagem da simulação foi realizada apenas para o cubo da boca de milho, visto que as avaliações e observações realizadas para o seu modelo, e que serão discutidas a seguir, também são pertinentes para a Engrenagem Z62 Asa50.

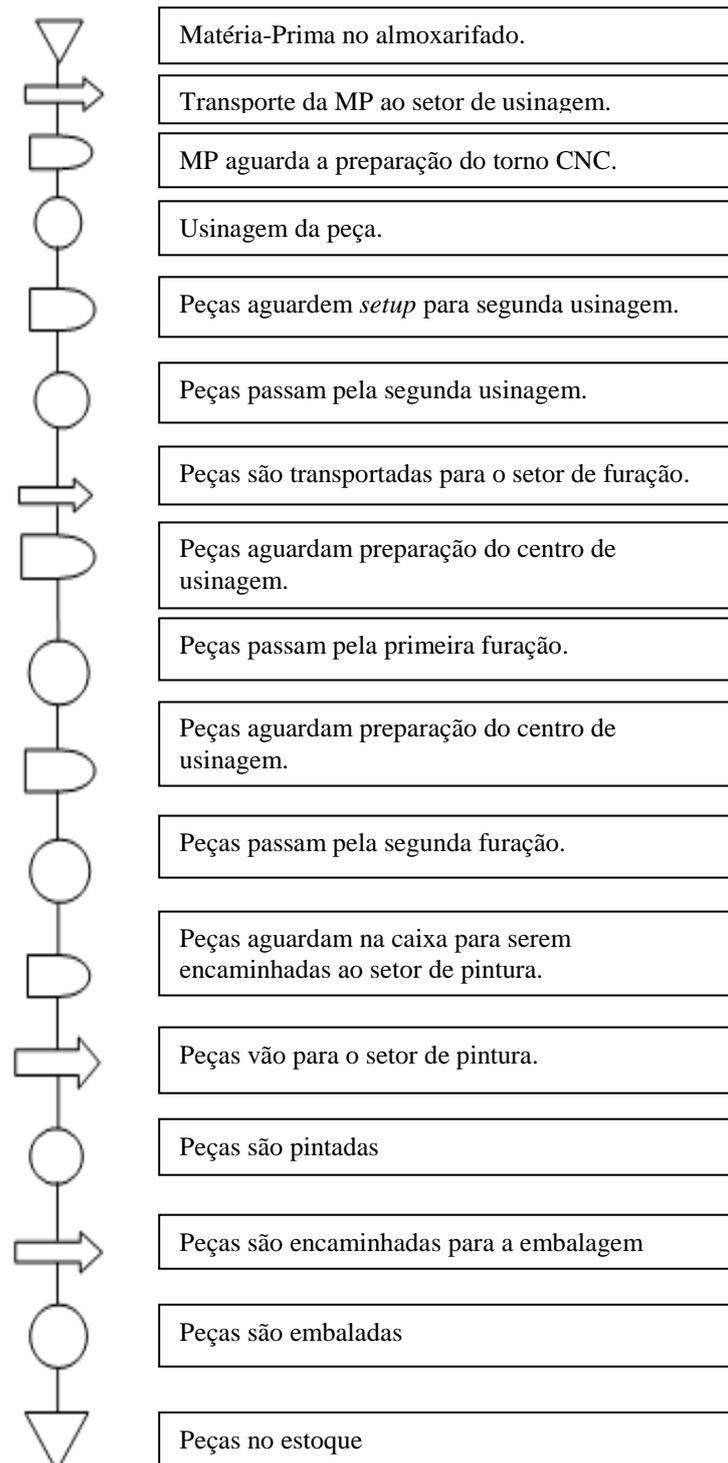


Figura 6: Fluxograma do processo de produção do cubo da boca de milho

## 4.5. A Simulação

No intuito de avaliar a situação do processo produtivo dos produtos citados anteriormente, bem como avaliar a utilização de operadores e máquinas, foi realizada uma simulação do processo. O software utilizado é o Arena.

O modelo proposto a seguir é baseado no que a empresa realiza no momento. Este modelo servirá de base para a proposta e análise de melhorias que possam ser realizadas posteriormente.

### 4.5.1. Modelo: Cubo da boca de milho

#### 4.5.1.1. Elaboração do modelo: Situação atual

A simulação a seguir é a do Cubo da boca de milho, esta foi dividida em três partes, ou seja, três estações, uma para o processo de torneamento, outra estação para o processo de furação e escareamento e por último, outra estação para o processo de pintar. Na figura 7 tem-se a lógica da estação 1 do modelo do cubo.

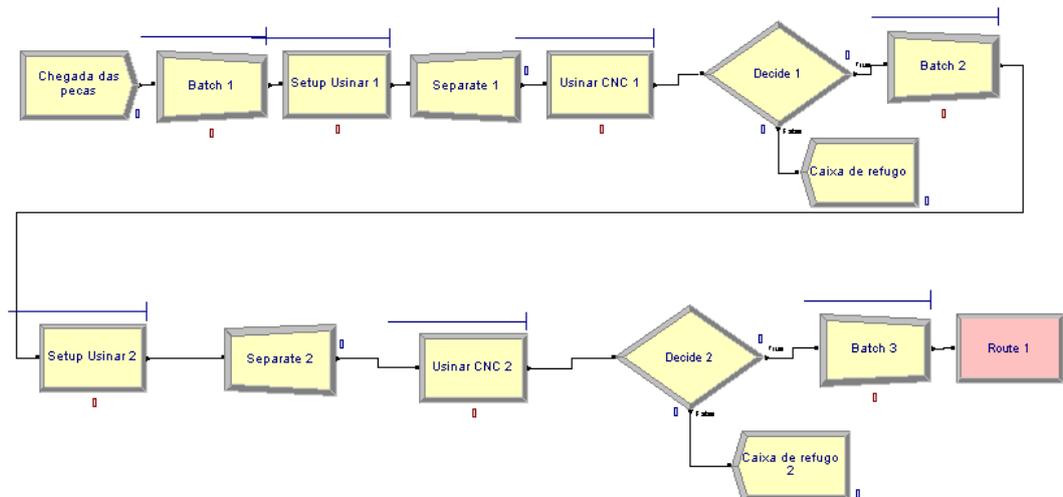


Figura 7: Processo de torneamento do Cubo da boca de milho.

Nesta parte do modelo podemos verificar a entrada das peças e o agrupamento delas em uma caixa, representado pelo “Batch 1”, e consecutivamente todo o processamento da peça como já foi descrito nos processos.

A estação de furação e escareamento, realizado no Centro de Usinagem é representada pela figura 8.

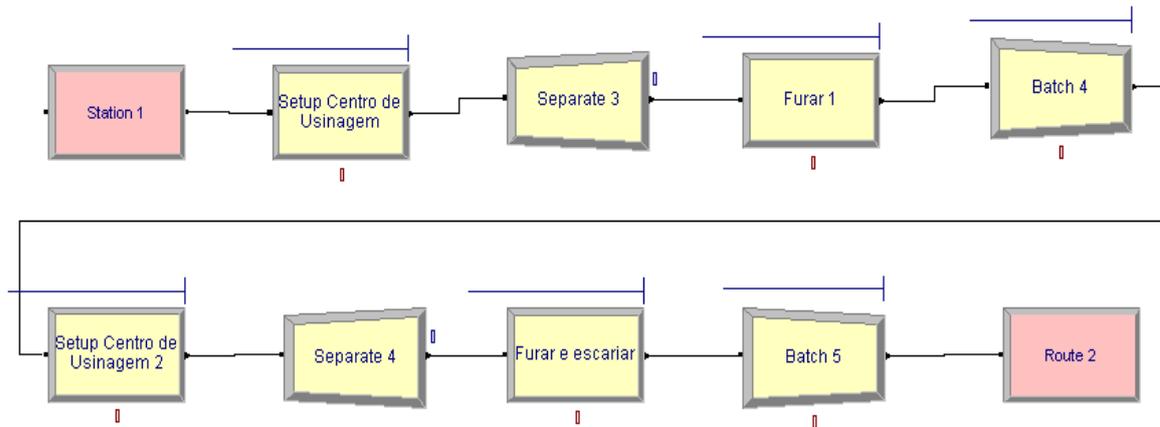


Figura 8: Processo de furação e escareamento do Cubo da boca de milho

E por fim, na figura 9, representa-se a o processo de pintura, embalagem e etiquetagem.

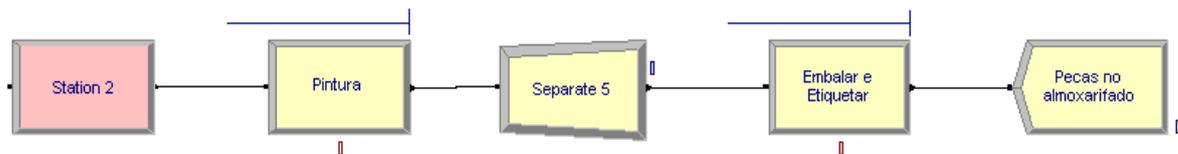


Figura 9: Processo de pintura, embalagem e etiquetagem do cubo da boca de milho.

Algumas observações devem ser feitas a respeito do modelo do cubo da boca de milho. Podemos perceber no modelo a presença de muitos módulos “Batch” e “Separate”, a justificativa é o fato da empresa trabalhar com a política de processar o lote inteiro para só então, iniciar outro processo. Como citado na descrição do processo, observamos durante a usinagem a presença de um índice de 5% de refugos de peças, devido à fragilidade do material utilizado na fabricação do cubo, estas serão encaminhadas para uma caixa de refugo para posteriormente serem avaliadas as causas daquele refugo. A empresa trabalha com a idéia de lote ideal, ou seja, todo lote de peça produzida deve ter uma quantidade na ordem de produção que seja suficiente para suprir a demanda durante um ano inteiro, ou dependendo da complexidade da peça, esta é dividida em dois lotes por ano, quando a peça exige grande tempo de processo. O lote ideal adotado no modelo foram de 2000 peças, uma quantidade próxima da real da empresa. Como uma das idéias do modelo é definir todo o tempo do ciclo de produção da peça, não foi estipulado um tempo a ser simulado, o modelo foi elaborado de modo que fossem processadas as 2000 peças do lote.

Em relação aos tempos utilizados nos processos, estes foram coletados de fichas técnicas que a empresa desenvolveu em seu estudo de tempos e métodos, essa análise foi feita

por um cronometrista especializado que realizou três tiragens de tempo para cada processo, e realizou uma média das três tiragens, sobre essa média foi inserido mais um pequeno ajuste, já que o tempo de troca das peças variam muito de operador para operador, de acordo com a experiência de cada um. Com o intuito de tornar os dados do modelo mais confiáveis, foi realizada novamente a cronometragem do tempo de cada processo, esses dados são mostrados na tabela 3. Quanto aos processos de *setup*, o tempo desses processos foram elaborados pelo próprio dono da empresa, já que é muito variável, pois cada peça exige uma gama diferente de ferramentas para o torno, o que pode tornar o processo mais demorado. Para o tempo de transporte das peças de um setor para outro, o tempo do módulo “Route” foi estipulado com base nos procedimentos da empresa. Por exemplo, o transporte da caixa contendo as peças do setor de furação para a pintura é realizada por um funcionário do setor de usinagem, este, a cerca de cada vinte minutos visualiza a área de picking ( área destinada a deixar as peças usinadas, prontas para serem encaminhadas para pintura ), e então realiza esse transporte das peças. A partir dessa análise, foi estipulado um tempo com distribuição uniforme de um a vinte minutos no módulo “Route 2”.

PROCESSO	TEMPO 1	TEMPO 2	TEMPO 3	TEMPO 4	TEMPO 5
USINAR CNC1	3,522	3,5938	3,4496	3,4538	3,4838
USINAR CNC 2	1,3677	1,3477	1,3255	1,3393	1,3001
FURAR	1,1675	1,2055	1,1981	1,1663	1,1683
FURAR E ESCAREAR	3,3088	3,3938	3,353	3,3438	3,3018

Tabela 3: Tempos de processos (em minutos)

As distribuições adotadas para montagem do modelo seguem discriminadas na tabela 4, para a escolha das distribuições dos processos “Usinar CNC 1”, “Usinar CNC 2”, “Furar” e “Furar e escarear” foi utilizado o *Input Analyzer*.

Processo	Distribuição em minutos
SETUP USINAR CNC	Triangular (20;25;40)
USINAR CNC	Normal (3,5;0,0533)
SETUP USINAR CNC	Triangular (25;32;40)
USINAR CNC	Normal (1,34; 0,0226)
SETUP CENTRO DE USINAGEM	Triangular (15;20;30)
FURAR	Normal (1,18;0,017)
SETUP CENTRO DE USINAGEM	Triangular (4;5;10)
FURAR E ESCAREAR	Normal (3,34;0,0332)
PINTAR	Uniforme (25;30)
EMBALAR E ETIQUETAR	Normal (1,1667; 0,5)

Tabela 4: Distribuição do tempo de processamento das peças

Adotou-se distribuição triangular nos *setups*, tendo em vista que o ponto central seria o ótimo, sendo este levado em conta até para cálculo de custos de mão-de-obra direta e hora/máquina na elaboração do preço dos produtos, os outros valores das distribuições triangulares compreendem tempos aceitáveis para a realização dos *setups*. No momento do processamento das peças, foi utilizada distribuição normal com o tempo médio baseado nas tiragens já citadas anteriormente. Para o processo de pintura foi estipulada distribuição uniforme com base no tempo de descida das peças pela manovia.

Quanto aos relatórios obtidos da simulação, a tabela 5 mostra o tempo de espera por entidade durante os processos.

Processo	Valor Mínimo	Valor Máximo (minutos)	Média (minutos)
Usinar CNC 1	0	8,3966	4,1974
Usinar CNC 2	0	3,0943	1,5455
Furar 1	0	2,5372	1,2694
Furar e escarear	0	7,1777	3,588
Pintura	0	0	0
Embalar e etiquetar	0	2,4384	1,2344

Tabela 5: Tempo de espera das peças em cada processo

Nos *setups*, podemos verificar não haver tempo de espera das entidades, já que neste momento as peças se encontram agrupadas em uma caixa aguardando a preparação da máquina, logo, podemos dizer que o tempo de espera corresponde justamente ao tempo de processo do *setup*, tempos estes que variam para cada processo.

Em relação ao número de entidades que aguardam no sistema a cada processo, sendo este um modelo com lote estipulado, o número mínimo de peças em espera corresponde a zero e o número máximo corresponde ao número de peças no lote menos um, vale lembrar aqui que o valor máximo de peças em espera não é o mesmo no sistema inteiro devido aos índices de refugo no meio do processo, o que diminui o tamanho do lote após os processos de usinagem.

Em relação à utilização dos recursos existentes no modelo, a tabela 6 indica qual foi a taxa de ocupação destes.

Recurso	Taxa de utilização (%)
Centro de Usinagem	39,65
Embalador	9,49
Encarregado de Usinagem	50,34
Operador do Centro	37,75
Pintor	1,68
Torno Mazak	48,43

Tabela 6 – Taxa de utilização dos recursos do modelo

#### 4.5.1.2. Análise do modelo: Situação atual

Levando em conta que, segundo o Arena, podemos verificar que a taxa de utilização das máquinas e dos operadores foi alta, podemos averiguar por exemplo, que o torno Mazak operou durante 48,43% do tempo, o mesmo pode-se dizer dos operadores, o encarregado de usinagem com taxas de ocupação atingindo quase 50%. E o operador do Centro de Usinagem com ocupação próxima a 40%. A figura 10 ilustra graficamente a ocupação dos recursos.

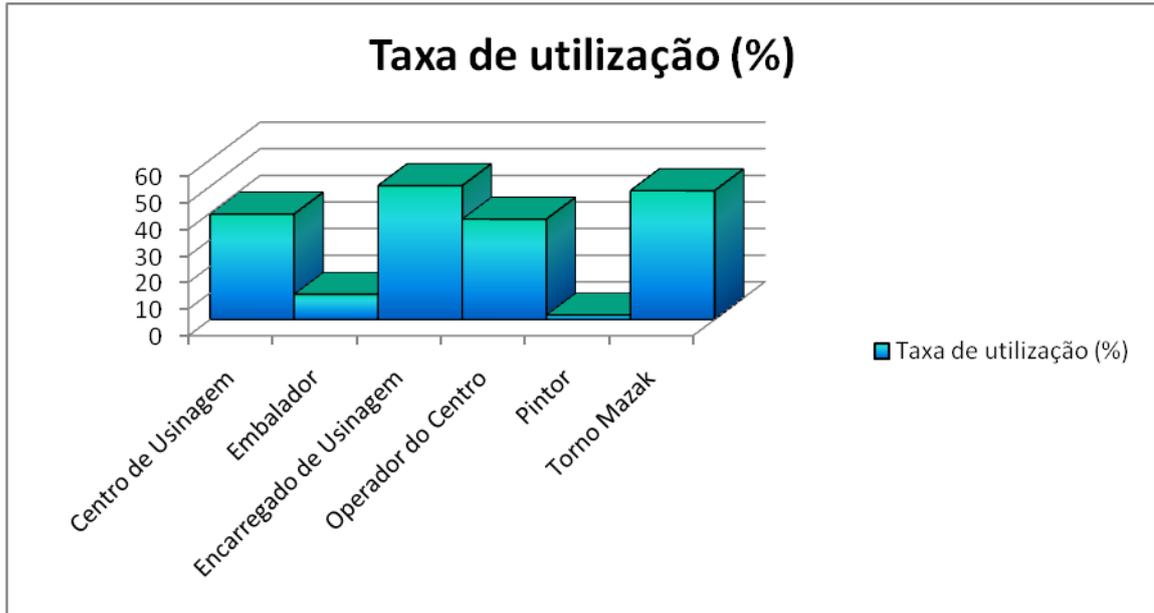


Figura 10: Taxa de utilização dos recursos do modelo

Algumas desvantagens podem surgir com a política de processamento adotada pela empresa atualmente. Por exemplo, no caso do modelo proposto acima, uma taxa de utilização do torno Mazak durante muito tempo pode ser prejudicial, pois ele estaria ocupado executando uma peça durante um período muito longo, e, caso houvesse uma inversão de prioridades de produção, a nova peça com prioridade máxima deverá esperar a execução de todo o lote de peças para só então entrar em processo, como a empresa trabalha com um *lead time* de 48 horas para entrega de pedidos, essa situação poderia acarretar até em um cancelamento de pedido, trazendo prejuízo para a empresa. Por outro lado, haveria a possibilidade de parar o processamento do cubo no meio do lote, mas isto acarretaria na necessidade de troca de ferramentas e realização de um novo *setup*, o que geraria mais tempo de máquina parada, também sendo prejudicial tanto para o bom andamento da produção quanto para os gastos de processos.

Outro problema encontrado no modelo está relacionada à taxa de tempo que o encarregado de usinagem se destina ao processo. Devido ao torno Mazak ser caro e um dos mais eficientes, a empresa exige que o operador seja o encarregado de usinagem. Porém, cabe a este colaborador a supervisão dos outros funcionários do setor bem como a preparação de todos os outros tornos, ou pelo menos a sua presença caso outro operador realize a preparação, isso faz com que o encarregado abandone o processamento da peça, gerando atraso e gargalo no processo.

#### 4.5.1.3. Elaboração do modelo: Proposta de melhoria

Com o propósito de tentar eliminar ao máximo essas desvantagens, foi proposto um novo modelo, para mostrar um comparativo entre a situação atual e como essa situação poderia ser mudada, de modo a eliminar deficiências no processo e diminuir tempo de processamento.

As propostas de melhoria são destinar o processo de segunda usinagem da peça para outro torno CNC, no caso o Index, possibilitando que haja uma maior disponibilidade do Mazak para a execução de outras peças. A outra proposta seria preparar outro operador para que realize os processos “Usinar CNC 1” e “Usinar CNC 2”, fazendo com que não haja paradas indesejáveis no Mazak e conseqüentemente, deixando tempo disponível para que o encarregado de usinagem se dedique às suas outras atividades.

Essas propostas de melhorias irão gerar algumas alterações no modelo quanto aos seus recursos.

Não foi possível cronometrar o tempo do processo “Usinar CNC 2” se este fosse realizado no torno Nardini, como propõe a melhoria, pois a empresa não possibilitou este tipo de mudança no processo. Porém, por questão usual e de observações, por ser um torno menos preciso, o torno Nardini possui um tempo de processamento cerca de 8% maior que o do torno Mazak, logo, por aproximação, teremos para o processo “Usinar CNC 2”, se realizado no torno Nardini, uma distribuição Normal ( 1.44;0.0244 ), em minutos.

Após aplicar essa nova variável no modelo, e alterando os recursos como dito anteriormente, podemos perceber pela tabela 7 uma alteração no tempo de espera das entidades no processo de “Usinar CNC 2”, ocorrida devido à alteração no tempo de processo.

Processo	Valor Mínimo	Valor Máximo (minutos)	Média (minutos)
Usinar CNC 1	0	8,3966	4,1974
Usinar CNC 2	0	3,3252	1,6608
Furar 1	0	2,5372	1,2694
Furar e escarear	0	7,1777	3,588
Pintura	0	0	0
Embalar e etiquetar	0	2,4384	1,2344

Tabela 7: Tempo de espera no processo após melhoria.

A tabela 8 mostra a nova realidade de ocupação dos recursos, após as melhorias propostas. A figura 11 ilustra essa nova taxa.

Recurso	Taxa de utilização (%)
Centro de Usinagem	39,3
Embalador	9,41
Encarregado de Usinagem	5,66
Operador do Centro	37,41
Operador 1	45,11
Pintor	1,65
Torno Mazak	34,03
Torno Index	14,86

Tabela 8: Taxa de utilização de recursos do modelo após sugestão de melhorias

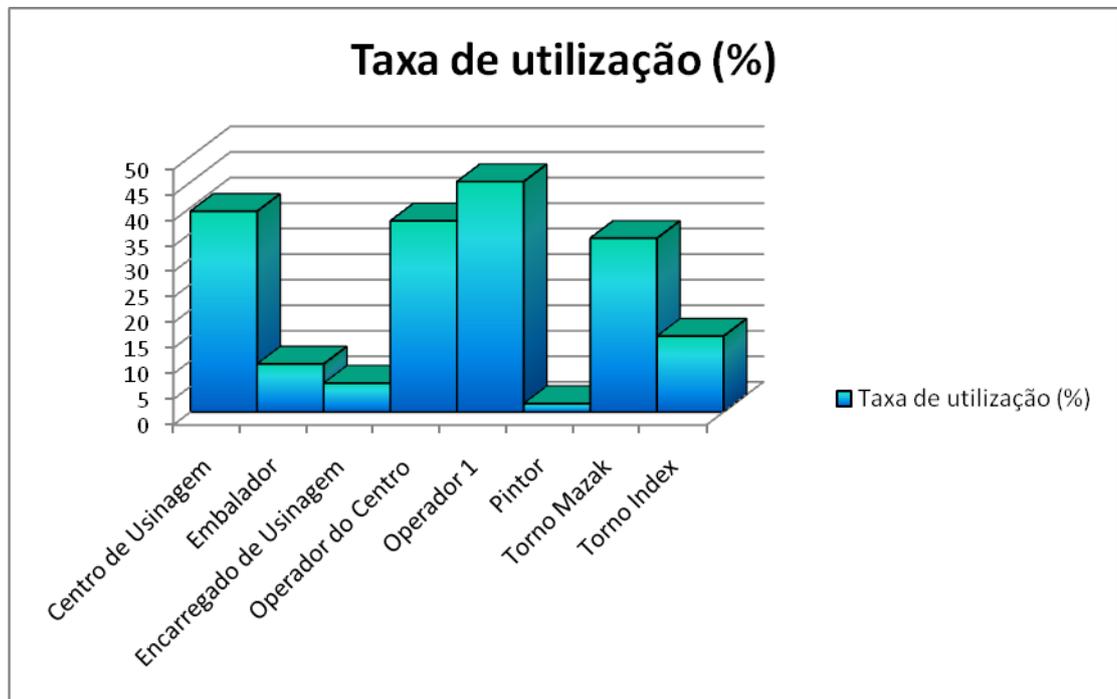


Figura 11: Taxa de utilização de recursos do modelo após sugestão de melhorias.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a implementação das mudanças propostas na empresa é possível perceber uma queda significativa na ocupação dos recursos. O recurso “Encarregado de Usinagem” teve uma queda de ocupação de 50,34% para 5,66%. Essa mudança reflete uma grande mudança para a empresa, pois durante o processo de usinagem a atividades a ser realizada por um operador é basicamente abrir e fechar porta de torno, esta que pode ser realizado por um operador comum, cujo custo da mão-de-obra direta, por minuto, é mais barato. Também ocorrerá uma melhoria organizacional, visto que o encarregado canalizará seu tempo para observar o setor e preparar as máquinas, atividades que exigem maior experiência e competência.

Em relação à ocupação de equipamentos, pode-se observar uma queda na taxa de utilização do torno Mazak de 48,43% para 34,03%. O Torno CNC Mazak é o de maior precisão e com maior capacidade de peso presente na indústria, sua ocupação prolongada pode ser prejudicial à empresa pois pode gerar fila de espera entre diferentes modelos de peça que aguardam processamento, por isso a redução de tempo de ocupação é essencial. Podemos verificar que essa queda se justifica pela introdução de outro torno no processo, ou seja, uma divisão das atividades a serem realizadas na peça, o segundo torno utilizado foi o Index, com ocupação de 14,86%.

Com essas observações é possível mensurar qual a necessidade de máquinas e equipamentos para esse tipo de produção, que seriam dois tornos CNC, um Centro de Usinagem em relação aos operadores serão necessários dois operadores de máquina para executar a usinagem da peça, um responsável pela preparação das máquinas, um pintor, e um colaborador responsável pela embalagem e etiquetagem da peça.

A empresa metal mecânica onde foi realizado o estudo trabalha com a política de processamento por lote, ou seja, durante a execução de determinado processo, a empresa prefere executar todo o lote, para só depois passar o lote para o processo seguinte, esse é um método que ajuda a tornar a produção mais organizada.

No modelo proposto no estudo de caso, há uma aceitação de 100% de eficiência dos funcionários, isso mostra que a simulação propõe uma idéia da idealidade do processo, o que nem sempre pode vir a ocorrer.

## 6. CONCLUSÃO

As melhorias apontadas durante o problema correspondem realmente a uma possibilidade de otimização nos processos de produção da empresa. O modelo apresentado no trabalho não se restringe apenas ao produto-foco do trabalho, ele sintetiza de forma genérica toda a forma de produção da empresa, que possui processos similares para seus produtos, com variações quanto a equipamentos e métodos.

O grande problema encontrado dentro da empresa com este estudo é a má distribuição das atividades produtivas, tanto para equipamentos quanto para mão-de-obra, o que pode gerar uma programação da produção ineficiente, paradas indesejáveis e má utilização dos recursos produtivos, resultando em perda de lucratividade, isso demonstra que a empresa sofre de uma deficiência na gestão de PCP.

É claro dentro da empresa que o objetivo é obter 100% de utilização das máquinas, porém, produzir um lote extremamente grande como o lote de 2000 peças sugerido no modelo, pode prejudicar a distribuição de prioridades. A alternativa mais fácil de resolver este problema é a distribuição ou “quebra” deste lote em vários lotes, que podem ser produzidos em diferentes épocas do ano, o que não irá gerar uma grande fila no momento de entrada das peças nas máquinas.

O cubo da boca de milho, peça que foi simulada e representa a família dos cubos fundidos, pertence ao grupo de maior representatividade de vendas no faturamento da empresa, tal foi o motivo de sua escolha para a elaboração do modelo. A engrenagem Z62 Asa 50, pertencente ao grupo de segunda maior representatividade, serviu para demonstrar que existe similaridade dos processos como torneamentos e furações, o que reforça a idéia de que ainda sendo simulado apenas um item, este serve de base para análise para a produção da empresa como um todo.

Tendo em mente que este é um estudo de simulação, não é possível sugerir que o que foi elaborado é o que realmente acontece, visto que nenhuma empresa trabalha com 100% de eficiência que é o que propõe o modelo, porém a idéia proposta foi atingida, que é apresentar na forma mais real possível o funcionamento do processo produtivo da empresa, e elaborar propostas que viessem a contribuir para melhorias nesse processo.

Levando em consideração a política de empresas de médio porte, principalmente empresas familiares, é de certa dificuldade a implantação de novos projetos e propostas que visem a melhoria do processo produtivo, já que estas se prendem à seus métodos tradicionais.

Os resultados obtidos com a simulação poderiam servir como base para uma análise dos custos de processo, visto que explora toda a utilização de recursos. Também seria possível realizar um cálculo da eficiência tanto dos recursos individualmente como da fábrica como um todo, tendo como base o modelo para um nível máximo de eficiência.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, Eduardo L. Introdução à Pesquisa Operacional: métodos e modelos para a análise de decisão. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.
- Chase; Jacobs e Aquilano. Administração da Produção para vantagem competitiva. 10ª Ed. New York: McGraw-Hill, 2004.
- Corrêa, Henrique L.; Giansesi, Irineu G. N.; Caon, Mauro. Planejamento, Programação e Controle da Produção. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- Feijó, Carmem A. A medida de utilização de capacidade. Rio de Janeiro, 3 de maio de 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rec/v10n3/06.pdf>>. Acessado em : 01 de abril de 2010.
- Freitas Filho, Paulo J. Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena. Florianópolis: Visual Books, 1999.
- Goldratt, E; FOX, J. A meta: um processo de aprimoramento contínuo. São Paulo: Educador,1997.
- Mello, Braulio A. Modelagem e Simulação de sistemas. Santo Ângelo, Outubro de 2001. Disponível em: <<http://www.urisan.tche.br/~bmello/disciplinas/simulacao/ap-sim.pdf>>. Acessado em : 01 de Abril de 2010.
- Moreira, Camila. Safra de soja do Brasil 09/10 sobe para 66,7 mi toneladas segundo Conab. Yahoo Online, São Paulo, 09 fev. 2010. Disponível em: <[http://br.noticias.yahoo.com/s/reuters/100209/manchetes/manchetes\\_commods\\_soja\\_conab](http://br.noticias.yahoo.com/s/reuters/100209/manchetes/manchetes_commods_soja_conab)> . Acesso em: 01 de abril de 2010.
- Pid, Michael. Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão. Porto Alegre: Artes Médicas,1998.
- Prado, Darci. Usando o Arena em Simulação. Minas Gerais: EDG. 2004.
- Ritzman, Larry L.; Krajewski, Lee J. Administração da Produção e Operações. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.
- Slack, Nigel; Chambers, Stuart; Johnston, Robert. Administração da produção – 3 ed. – São Paulo: Atlas,2009.
- Tubino, Dalvio Ferrari. Manual de Planejamento e Controle da Produção. São Paulo: Editora Atlas S.A , 2006.
- Villela, C. S. S., Mapeamento de processos como ferramenta de reestruturação e aprendizado organizacional. Dissertação de mestrado pelo programa de Pós-graduação

em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2000.

- Wanke, Peter. O processo de previsão de vendas nas empresas: aspectos organizacionais e tecnológicos. Rio de Janeiro, Junho de 1998.

**Universidade Estadual de Maringá**  
**Departamento de Engenharia de Produção**  
**Av. Colombo 5790, Maringá-PR CEP 87020-900**  
**Tel: (044) 3011-4196/3011-5833 Fax: (044) 3011-4196**