

ÉRICO SOARES ASCENÇÃO  
RAFAEL TUBANDT JAQUERY

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DAS LINHAS DE PRODUÇÃO DE  
UMA FÁBRICA DE PORCAS**

Monografia apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para a conclusão do curso de  
Engenharia Mecatrônica.

São Paulo  
2010

**ÉRICO SOARES ASCENÇÃO  
RAFAEL TUBANDT JAQUERY**

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DAS LINHAS DE PRODUÇÃO DE  
UMA FÁBRICA DE PORCAS**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para a conclusão do curso de Engenharia Mecatrônica.

Área de Concentração:  
Engenharia Mecatrônica

Orientador:  
Prof. Dr. Fabrício Junqueira

São Paulo  
2010

Aos nossos pais: Reinaldo e Rita,  
João e Denise.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DA  
ENGENHARIA MECÂNICA NAVAL DA ESCOLA POLITÉCNICA (EPMN) –  
USP.

**Ascenção, Érico Soares**

**Modelagem e simulação das linhas de produção de uma fá-  
brica de porcas / E.S. Ascenção; R.T. Jaquery. -- São Paulo,  
2010.**

**86 p.**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de  
Sistemas Mecânicos.**

**1. Sistemas de manufaturas 2. Sistemas discretos 3. Siste-  
mas de produção (Modelagem) 4. Qualidade do produto I.  
Jaquery, Rafael Tubandt II. Universidade de São Paulo. Escola  
Politécnica. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de  
Sistemas Mecânicos III. t.**

## **Agradecimentos**

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Fabrício Junqueira, pelo apoio durante todo este ano.

Aos nossos pais, pelo apoio e compreensão não só nestes cinco anos de graduação como em toda a nossa trajetória.

À Denise Jaquery, presidente da Heral S.A. Indústria Metalúrgica; aos colaboradores Osni, Rafael, Michele e Débora; e ao nosso colega Michel Miyazaki, que nos ajudaram com informações imprescindíveis para a elaboração deste trabalho.

## Sumário

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVAÇÃO .....	1
1.2. OBJETIVO .....	2
1.3. ESTRUTURA .....	2
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1. SISTEMA .....	4
2.1.1. <i>Sistemas dinâmicos e sistemas estáticos</i> .....	6
2.1.2. <i>Sistemas estocásticos e sistemas determinísticos</i> .....	7
2.1.3. <i>Sistemas contínuos e sistemas discretos</i> .....	8
2.1.4. <i>Sistemas a Eventos Discretos (SED)</i> .....	9
2.2. MODELAGEM.....	10
2.3. SIMULAÇÃO.....	11
2.3.1. <i>Simulação dirigida por eventos e simulação orientada por atividades</i> .....	13
2.4. MEDIDAS DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE MANUFATURA .....	13
2.5. METODOLOGIA .....	15
2.5.1. <i>Metodologia de Miyagi</i> .....	15
2.5.2. <i>Metodologia de Schappo</i> .....	16
2.5.3. <i>Metodologia adotada no trabalho</i> .....	18
2.5.4. <i>ProModel</i> .....	20
<b>3. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>22</b>
3.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA .....	22
3.2. COLETA DE DADOS E INFORMAÇÕES .....	23
3.2.1. <i>Depósito de matéria-prima</i> .....	24
3.2.2. <i>Estamparia National</i> .....	24
3.2.3. <i>Estamparia REMP-KLP</i> .....	26
3.2.4. <i>Rosqueadeiras</i> .....	28
3.2.5. <i>Torque</i> .....	29
3.2.6. <i>Limpeza</i> .....	31
3.2.7. <i>Inspeção</i> .....	32
3.2.8. <i>Embalagem</i> .....	33
3.2.9 <i>Estoques de peças semiprontas</i> .....	34
3.2.10 <i>Transporte de materiais</i> .....	34
3.2.11 <i>Tipos de porcas e seus processos de fabricação</i> .....	36
3.2.12. <i>Dados detalhados sobre os tipos de porca do escopo do trabalho</i> .....	37
3.3. DEFINIÇÃO DO OBJETIVO.....	38
3.4. CONCEPÇÃO DO MODELO.....	38
3.4.1. <i>Aproximações adotadas</i> .....	39
3.4.2. <i>Definições dos elementos de modelagem</i> .....	43
3.5. VERIFICAÇÃO DO MODELO.....	49
3.6. VALIDAÇÃO .....	49
3.6.1. <i>Calibração do modelo</i> .....	50
3.6.2. <i>Comparação de resultados</i> .....	50
3.7. PROJETO DOS EXPERIMENTOS DE SIMULAÇÃO .....	51
3.8. ANÁLISE DO MODELO .....	52

<b>4. PROPOSTAS DE MELHORIAS .....</b>	<b>56</b>
4.1. ADIÇÃO DE UMA SEGUNDA MESA VIBRATÓRIA .....	56
4.2. ADIÇÃO DE UMA SEGUNDA CENTRÍFUGA E DE UMA SEGUNDA MÁQUINA DE LAVAGEM .....	59
4.3. REDUÇÃO NO TEMPO DE ROSQUEAMENTO MANUAL .....	62
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>64</b>
5.1. CONCLUSÕES GERAIS.....	64
5.2. CONCLUSÕES ESPECÍFICAS HERAL.....	65
5.3. PRÓXIMOS PASSOS .....	67
<b>ANEXO A – DESCRIPTIVOS DOS PROCESSOS DE FABRICAÇÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>77</b>

## **Lista de Figuras**

FIGURA 2.1 – GRÁFICOS DEMONSTRATIVOS DAS ENTRADAS E SAÍDAS DE UM SISTEMA DINÂMICO INVARIANTE NO TEMPO (CASSANDRAS E LAFORTUNE, 2008). ....	7
FIGURA 2.2 – EVOLUÇÃO DOS ESTADOS NUM SISTEMA A EVENTOS DISCRETOS (CURY, 2001).....	9
FIGURA 2.3 – FLUXOGRAMA REPRESENTATIVO DA METODOLOGIA DE MIYAGI (1996).....	17
FIGURA 2.4 – FLUXOGRAMA REPRESENTATIVO DA METODOLOGIA DE SCHAPPO (2006).....	18
FIGURA 2.5 – FLUXOGRAMA REPRESENTATIVO DA METODOLOGIA A SER UTILIZADA NO TRABALHO.....	19
FIGURA 2.6 – EXEMPLO DA EXIBIÇÃO DE GRÁFICOS NO PROMODEL (BENSON, 1997). ....	20
FIGURA 3.1 – <i>LAYOUT GERAL DA FÁBRICA</i> .....	22
FIGURA 3.2 – SETOR DE ESTAMPARIA NATIONAL EM DETALHE.....	25
FIGURA 3.3 – PROCESSO DE ESTAMPAGEM NA ESTAMPARIA NATIONAL. ....	25
FIGURA 3.4 – SETOR DE ESTAMPARIA REMP KLP EM DETALHE.....	27
FIGURA 3.5 – PROCESSO DE ESTAMPAGEM NA ESTAMPARIA REMP-KLP.....	27
FIGURA 3.6 – SETOR DE ROSQUEADEIRAS EM DETALHE.....	30
FIGURA 3.7 – SETOR DE TORQUE EM DETALHE.....	31
FIGURA 3.8 – SETOR DE LIMPEZA EM DETALHE.....	32
FIGURA 3.9 – SETOR DE INSPEÇÃO EM DETALHE. ....	33
FIGURA 3.10 – SETOR DE EMBALAGEM EM DETALHE.....	33
FIGURA 3.11 – TRAJETÓRIA PERCORRIDA PELAS EMPILHADEIRAS NA FÁBRICA. ....	35
FIGURA 3.12 – TELA GRÁFICA DO MODELO ELABORADO NO PROMODEL. ....	39
FIGURA 3.13 – GRÁFICOS DE STATUS DAS ESTAMPADEIRAS, DAS ROSQUEADEIRAS NUTAP 6 E 11 E DAS MÁQUINAS DO SETOR DE LIMPEZA. ....	51
FIGURA 3.14 – TEMPOS DE ESPERA EM COMPARAÇÃO COM OS TEMPOS TOTAIS NO SISTEMA. ....	54
FIGURA 3.15 – ESTADO DE UTILIZAÇÃO DA MESA VIBRATÓRIA. ....	54
FIGURA 4.1 – TEMPOS DE ESPERA EM COMPARAÇÃO COM OS TEMPOS TOTAIS NO SISTEMA COM A SEGUNDA MESA VIBRATÓRIA. ....	58
FIGURA 4.2 – ESTADO DE UTILIZAÇÃO DA MÁQUINA DE LAVAGEM E DA CENTRÍFUGA. ....	61
FIGURA 4.3 – TEMPOS DE ESPERA EM COMPARAÇÃO COM OS TEMPOS TOTAIS NO SISTEMA COM A SEGUNDA MÁQUINA DE LAVAGEM E CENTRÍFUGA. ....	62

## Lista de Tabelas

TABELA 3.1 – PRODUTIVIDADE E APROVEITAMENTO DE CADA ESTAMPADEIRA DO SETOR DE ESTAMPARIA NATIONAL.....	26
TABELA 3.2 – PRODUTIVIDADE E APROVEITAMENTO DE CADA FURADEIRA DO SETOR DE ESTAMPARIA REMP-KLP .....	28
TABELA 3.3 – PRODUTIVIDADE E APROVEITAMENTO DE CADA TIPO DE ROSQUEADEIRA. ....	29
TABELA 3.4 – DURAÇÕES MÉDIAS DAS OPERAÇÕES NO SETOR DE LIMPEZA.....	32
TABELA 3.5 – VELOCIDADES DE TRANSPORTE DE MATERIAIS.....	36
TABELA 3.6 – CÓDIGO DE LETRAS PARA OS TIPOS DE PORCA DA HERAL. ....	36
TABELA 3.7 – CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS DE PRODUÇÃO E AS PORCAS PRODUZIDAS EM CADA UMA DELAS. ....	37
TABELA 3.8 – DADOS DE PRODUÇÃO DETALHADOS SOBRE OS TIPOS DE PORCA DO ESCOPO DO TRABALHO. ....	38
TABELA 3.9 – PORCAS ADOTADAS COMO ESCOPO PARA ELABORAÇÃO DO MODELO E SEUS FLUXOS DE PRODUÇÃO.....	40
TABELA 3.10 – TAXAS DE PARADA DAS ESTAMPADEIRAS.....	42
TABELA 3.11 – DEFINIÇÃO DO LUGAR DO DEPÓSITO DE MATÉRIA-PRIMA E SEUS ATRIBUTOS. ....	43
TABELA 3.12 – DEFINIÇÃO DOS LUGARES DA ESTAMPARIA NATIONAL E SEUS ATRIBUTOS. ....	44
TABELA 3.13 – DEFINIÇÃO DOS LUGARES DA ESTAMPARIA REMP-KLP E SEUS ATRIBUTOS.....	44
TABELA 3.14 – DEFINIÇÃO DOS LUGARES DAS ROSQUEADEIRAS MANUAIS E SEUS ATRIBUTOS.....	45
TABELA 3.15 – DEFINIÇÃO DOS LUGARES DAS ROSQUEADEIRAS NUTAP E SEUS ATRIBUTOS.....	45
TABELA 3.16 – DEFINIÇÃO DOS LUGARES DAS ROSQUEADEIRAS SUPER E SEUS ATRIBUTOS. ....	45
TABELA 3.17 – DEFINIÇÃO DOS LUGARES DA ROSQUEADEIRA FP E SEUS ATRIBUTOS. ....	46
TABELA 3.18 – DEFINIÇÃO DOS LUGARES DO SETOR DE LIMPEZA E SEUS ATRIBUTOS.....	46
TABELA 3.19 – DEFINIÇÃO DOS LUGARES DOS SETORES DE ESTOQUE E SEUS ATRIBUTOS.....	46
TABELA 3.20 – DEFINIÇÃO DOS LUGARES DO SETOR DE INSPEÇÃO E SEUS ATRIBUTOS.....	46
TABELA 3.21 – DEFINIÇÃO DO LUGAR DO SETOR DE EMBALAGEM E SEUS ATRIBUTOS. ....	47
TABELA 3.22 – DEFINIÇÃO DAS ENTIDADES E SEUS ATRIBUTOS. ....	47
TABELA 3.23 – DEFINIÇÃO DAS REDES DE TRABALHO E SEUS ATRIBUTOS. ....	48
TABELA 3.24 – DEFINIÇÃO DOS RECURSOS E SEUS ATRIBUTOS. ....	48
TABELA 3.25 – DEFINIÇÃO DA CHEGADA E SEUS ATRIBUTOS. ....	49
TABELA 3.26 – PRODUTIVIDADES DAS ESTAMPADEIRAS ADOTADAS NO MODELO.....	50
TABELA 3.27 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM OS DADOS REAIS. ....	51
TABELA 3.28 – RESULTADOS DOS TESTES PARA DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE OPERAÇÃO E PREPARAÇÃO.....	52
TABELA 4.1 – NOVA DEFINIÇÃO DOS LUGARES DO SETOR DE LIMPEZA E SEUS ATRIBUTOS.....	57
TABELA 4.2 – NOVA DEFINIÇÃO DOS RECURSOS E SEUS ATRIBUTOS. ....	57
TABELA 4.3 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA SIMULAÇÃO COM OS DADOS REAIS. ....	58
TABELA 4.4 – NOVA DEFINIÇÃO DOS LUGARES DO SETOR DE LIMPEZA E SEUS ATRIBUTOS.....	60
TABELA 4.5 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA ADIÇÃO DE UMA MÁQUINA DE LAVAGEM E DE UMA CENTRÍFUGA EXTRAS COM OS RESULTADOS DA PROPOSTA ANTERIOR. ....	61
TABELA 4.6 – COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA REDUÇÃO DO TEMPO DE ROSQUEAMENTO MANUAL COM OS RESULTADOS DA PROPOSTA ANTERIOR. ....	63
TABELA A.1 – DESCRIPTIVO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA PORCA HBMS 617.....	70
TABELA A.2 – DESCRIPTIVO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA PORCA HSMF 588. ....	71
TABELA A.3 – DESCRIPTIVO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA PORCA HSMS 580.....	72
TABELA A.4 – DESCRIPTIVO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA PORCA HSMS 903.....	73
TABELA A.5 – DESCRIPTIVO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA PORCA HQMS 330. ....	74
TABELA A.6 – DESCRIPTIVO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA PORCA HQMS 337. ....	75
TABELA A.7 – DESCRIPTIVO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA PORCA HQMS 638. ....	76

## **Lista de Abreviaturas**

- FIFO – *First in, first out.*
- LEF – Lista de eventos futuros.
- LTP – *Lead time* de produção.
- SED – Sistemas a Eventos Discretos.
- SVC – Sistemas de Variáveis Contínuas.
- TUB – Taxa de utilização dos *buffers*.
- TUCT – Taxa de utilização do centro de trabalho
- TUMO – Taxa de utilização de mão-de-obra.
- TURG – Taxa de utilização do recurso gargalo.
- VP – Volume de produção.

## **Lista de Símbolos**

$P_h$  – Produção horária em pleno funcionamento.

$\bar{P}_m$  – Produção mensal média.

TP – Taxa de parada.

## Resumo

Com o aumento da competitividade do mercado, cada vez mais as fábricas são obrigadas a aperfeiçoar seus processos produtivos para continuarem lucrativas. Neste contexto, este trabalho visa a proposta de melhorias nas linhas de produção de uma indústria metalúrgica fabricante de porcas, com foco na redução de custos e de tempo de produção por meio da eliminação de gargalos. Inicialmente são revisados os conceitos básicos de sistema, modelagem, simulação e medidas de desempenho de sistemas de manufatura. As análises do sistema de manufatura em questão e das propostas de melhorias são feitas a partir de modelos baseados na teoria de Sistemas de Eventos Discretos (SED), cujas simulações computacionais são realizadas utilizando o software ProModel. A metodologia adotada neste trabalho foi uma combinação das metodologias propostas por Miyagi e Schappo. A análise do modelo da fábrica no seu estado atual mostrou que a mesa vibratória consiste no gargalo do sistema. Foram propostas modificações no sistema para tratar este gargalo, inicialmente instalando uma segunda mesa vibratória, em seguida instalando uma segunda máquina de lavagem e uma segunda centrífuga e por fim reduzindo o tempo de rosqueamento manual. Após tais modificações, constatou-se que a produção da fábrica passou a ser limitada pela capacidade dos setores de estampagem.

Palavras chave: *Sistema a Eventos Discretos (SED), ProModel, linha de produção, metalúrgica, porcas, sistema de manufatura.*

## Abstract

As the competitiveness grows in the market, industries even more have to improve their processes to continue being lucrative. In that context, this project aims to purpose improvements in the production line of a metallurgical industry that produces nuts, focusing in reducing costs and production time by eliminating bottlenecks. Initially, basic concepts of system, modeling, simulation and performance measurements for manufacturing systems will be presented. The analysis of the manufacturing system and of the improvements purposes will be made with models based on Discret Event Systems (DES), which computational simulations will be made using the software ProModel. The methodology adopted in this project was a combination of the methods purposed by Miyagi and Schappo. The current modeling analysis showed that the vibrating table is the production bottleneck of the system. Modifications were proposed to deal with this production bottleneck, initially installing a second vibrating table, then installing a second cleaning machine and a second centrifugal machine and finally reducing manual threading time. After those modifications, it could be found that production became limited by stamping sector capacity.

Keywords: Discret Event Systems (DES), ProModel, production line, metallurgic, nuts, manufacturing system.

## 1. Introdução

Modelagem e simulação de sistemas produtivos vêm sendo bastante utilizadas como ferramentas de análise de sistemas de manufatura, possibilitando prever o comportamento do sistema frente a diversas situações e permitindo um estudo sobre melhorias no processo para o aumento da produtividade.

Este capítulo introdutório visa apresentar a motivação e os objetivos deste trabalho, bem como a estrutura geral do texto.

### 1.1. Motivação

Na atual conjuntura da economia as empresas tendem a se concentrar em seu *core business*, ou seja, nos ramos em que têm mais diferenciais em relação às outras empresas (INÁCIO, 2008). Deste modo, este grande número de oportunidades de negócio acirra a competitividade entre empresas.

Muscat e Fleury (1993) *apud* Junqueira (2001) classifica as estratégias competitivas em cinco tipos: custos, qualidade, tempo, flexibilidade e inovação. Os autores comentam ainda que o emprego destas estratégias ao longo da evolução de uma empresa se dá necessariamente na sequência em que elas foram apresentadas acima, ou seja, uma empresa que aplica estratégias de qualidade deve primeiramente dominar as estratégias de custo, e assim por diante.

Neste contexto de análise do desempenho de um sistema de manufatura, as ferramentas de modelagem e simulação ganham importância significativa. A modelagem e a simulação são ferramentas para a análise e previsão do comportamento de sistemas de manufatura antes da implementação (SCHAPPO, 2006). Utilizando ferramentas de simulação, pode-se analisar a situação atual de operação do sistema de manufatura para, a partir dos resultados desta análise, propor soluções de melhoria ou correção no sistema. É possível ainda a simulação da operação de cada uma destas soluções propostas, de modo a embasar a escolha de uma delas para a implantação.

## **1.2. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é a modelagem das linhas de produção de uma fábrica de porcas situada em Diadema, para um estudo sobre melhorias no sistema de produção atualmente empregado na fábrica.

Inicialmente, pretende-se criar um modelo capaz de descrever o sistema de produção atual baseado na teoria de Sistemas a Eventos Discretos (SED), de maneira a detectar gargalos de produção e permitir uma análise da produtividade por meio de ferramentas de simulação discreta.

Mediante os resultados das análises do sistema de produção atual, foram propostas melhorias no sistema com o objetivo de mudar os pontos de gargalo. Para cada uma destas novas propostas foi elaborado um novo modelo, com o intuito de determinar a melhor das propostas mediante um comparativo entre elas.

Partindo das estratégias competitivas citadas anteriormente, este trabalho pode oferecer soluções com relação a estratégias de custo e de tempo – e também de flexibilidade, já que estas estão intimamente ligadas a estratégias de tempo. Uma estratégia para redução de custo pode ser uma melhor utilização dos recursos (máquinas, operadores, ferramentas, etc.). Uma estratégia para a redução de tempo e aumento de flexibilidade poder ser a otimização do *layout* das máquinas na planta.

## **1.3. Estrutura**

Inicialmente, no capítulo 2, é feita uma revisão bibliográfica versando sobre os conceitos básicos envolvidos num projeto de modelagem e simulação: sistema, modelagem e simulação. Além destes conceitos, são apresentados alguns indicadores de desempenho de sistemas de manufatura que são utilizados para a análise. Neste capítulo também são apresentadas duas metodologias para o procedimento de modelagem, simulação e análise; a partir das quais é sintetizada uma metodologia única para a realização do trabalho. Por fim, é feita uma breve introdução à ferramenta de modelagem e simulação utilizada no trabalho e os conceitos fundamentais relacionados a ela.

O capítulo 3 traz o desenvolvimento do modelo do processo atual da fábrica, seguindo passo-a-passo a metodologia adotada.

No capítulo 4 são propostas alternativas para melhoria do processo de manufatura e são exibidos os resultados das respectivas simulações.

Por fim, o capítulo 5 traz as conclusões finais do trabalho.

## 2. Revisão Bibliográfica

Dentro do contexto da engenharia, trabalha-se tanto com o conceito de Sistemas a Eventos Discretos (SED) como com o conceito de Sistemas de Variáveis Contínuas (SVC). Devido às características inerentes aos SEDs que serão apresentadas a seguir, eles não podem ser modelados a partir de equações diferenciais e outros modelos matemáticos tradicionalmente utilizados para SVCs, sendo necessária uma consolidação da sua base teórica (MIYAGI, 1996).

Sistemas de manufatura geralmente são modelados como Sistemas a Eventos Discretos (SED), devido à sua natureza pela qual a mudança de estados se dá de acordo com eventos. Esta abordagem exige uma clara compreensão sobre três conceitos básicos: sistema, modelagem e simulação. Este capítulo traz as definições de cada um destes conceitos, além das definições de algumas medidas de desempenho de sistemas de manufatura as quais serão importantes na etapa de análise deste trabalho.

### 2.1. Sistema

Ogata (2007) define um sistema, de maneira bastante abrangente, como sendo a combinação de componentes que agem em conjunto para atingir determinado objetivo; não sendo uma idéia de algo restritamente físico, mas também possivelmente abstrato e que pode ser empregada no âmbito econômico ou biológico entre outros. Desta forma, observa-se que o conceito de sistema é abordado em várias áreas do conhecimento como, por exemplo, na Biologia, Economia, Física, Química, Engenharia, etc.

O escopo deste trabalho é o conceito de sistemas na área de Engenharia, mais precisamente na área de SEDs. Neste contexto, Miyagi (2006) define um sistema como sendo “um grupo de objetos que estão agregados de acordo com uma relação de interdependência para atingir certos objetivos”.

Outras definições de sistema são trazidas por Cassandras e Lafortune (2008):

- Um agregado ou conjunto de “coisas” combinadas pela natureza ou pelo homem de tal maneira a formar um todo mais complexo;
- Um grupo de itens regularmente interagidos ou interdependentes que formam um todo unificado;
- Uma combinação de componentes que agem em conjunto para realizar uma determinada tarefa impossível de ser feita por qualquer um dos componentes por si só.

As três definições apresentadas acima trazem dois elementos fundamentais para a definição de sistema: componente e função. Portanto, um sistema é formado essencialmente por componentes que realizam uma determinada função. Bennett (1995) *apud* Fujii e Watanabe (2002) trás outro elemento importante para a definição de sistema: a fronteira. A fronteira separa os componentes participantes e não participantes do sistema, apesar do sistema ainda estar sujeito à influência do mundo externo.

Dentro do contexto de um sistema de manufatura, pode-se definir no que consiste concretamente cada um dos elementos para a definição do sistema:

- Componentes: máquinas, ferramentas, matérias-primas, peças (tanto em estágio intermediário de processamento quanto prontas), operadores, empilhadeiras, etc.;
- Função: produzir o portfólio de produtos da fábrica;
- Fronteira: limites físicos da fábrica.

Numa primeira análise, tais elementos para a definição do sistema se apresentam de maneira mais concreta e física, mas nada impede que eles se tornem mais abstratos. Para citar um exemplo: a fronteira do sistema pode se estender caso seja do escopo do trabalho incluir a malha logística da fábrica na análise.

Outro conceito importante relacionado ao sistema é o conceito de estado. Estado é a descrição do comportamento do sistema num determinado instante de tempo, de modo que a saída do sistema neste mesmo instante seja única (CASSANDRAS e LAFORTUNE, 2008). Geralmente, a identificação do

estado do sistema é feita por meio dos valores das variáveis de estado (MIYAGI, 2006). Atrelado ao conceito de estado está o conceito de espaço de estados, que é o conjunto de todos os valores possíveis de serem assumidos por um estado (CASSANDRAS e LAFORTUNE, 2008).

O estado de um sistema de produção genérico pode ser descrito pela quantidade e posição dos operadores na planta, pela ocupação/desocupação das máquinas e dos operadores, pelo fluxo de chegada de matéria-prima, pelo fluxo de saída de peças prontas, pela quantidade de peças em estoques intermediários, etc. O espaço de estados de uma máquina de usinagem, por exemplo, pode ser composto pelos estados “disponível”, “operando” e “em manutenção”.

Segundo Cellier (1991) *apud* Fujii e Watanabe (2002), a interação do sistema com o ambiente se dá por meio de suas entradas e saídas. As entradas são componentes do ambiente que influenciam o comportamento do sistema, enquanto as saídas são componentes do sistema que influenciam o comportamento do ambiente. Cassandras e Lafourture (2008) ainda complementa esta idéia afirmando ser a saída do sistema a resposta a um estímulo dado pela entrada.

No caso de um sistema de manufatura, a chegada de matéria-prima pode ser considerada como uma entrada, enquanto a saída de peças prontas pode ser considerada como uma saída. Levando em conta o conceito de estímulo de Cassandras e Lafourture (2008), pode-se considerar, de maneira superficial, que um aumento na chegada de matéria-prima estimularia a saída de peças prontas.

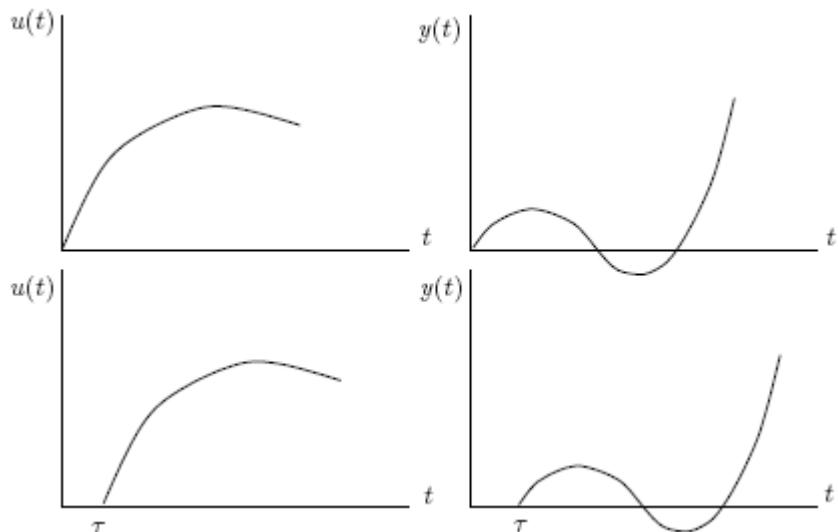
Nos itens a seguir são apresentadas algumas classificações usualmente aplicadas aos sistemas.

### **2.1.1. Sistemas dinâmicos e sistemas estáticos**

Cassandras e Lafourture (2008) classifica os sistemas em sistemas dinâmicos e sistemas estáticos. Os sistemas dinâmicos são aqueles nos quais a saída depende dos valores atuais e passados da entrada. Os sistemas estáticos são aqueles nos quais o valor da saída independe dos valores

passados da entrada. Os sistemas dinâmicos, por sua vez, ainda podem ser classificados em variantes e invariantes no tempo:

- Sistema dinâmico invariante no tempo é aquele em que, se uma entrada  $u(t)$  resulta numa saída  $y(t)$ , então uma entrada  $u(t - T)$  resultará numa saída  $y(t - T)$ ; qualquer que seja  $T$ . Gráficos ilustrativos são mostrados na Figura 2.1;
- Sistema dinâmico variante no tempo é aquele em que, se uma entrada  $u(t)$  resulta numa saída  $y(t)$ , então uma entrada  $u(t - T)$  não resultará numa saída  $y(t - T)$ ; qualquer que seja  $T$ .



**Figura 2.1 – Gráficos demonstrativos das entradas e saídas de um sistema dinâmico invariante no tempo (CASSANDRAS e LAFORTUNE, 2008).**

Miyagi (1996) ainda define o sistema instantâneo, no qual a saída depende somente do valor atual da entrada.

Um exemplo de sistema dinâmico é um sistema de produção onde uma peça sofre várias modificações, não sendo possível identificar o estado do sistema como um todo apenas sabendo a situação atual das entradas (MIYAGI, 1996).

### 2.1.2. Sistemas estocásticos e sistemas determinísticos

Sistemas estocásticos são aqueles em que pelo menos uma das entradas é aleatória, sendo necessária a aplicação de modelos probabilísticos

para a descrição do mesmo. Caso nenhuma das entradas do sistema seja aleatória, ele é dito determinístico (CASSANDRAS e LAFORTUNE, 2008). A classificação de um sistema de manufatura em estocástico ou determinístico pode variar de acordo com o objetivo da análise a ser feita.

### **2.1.3. Sistemas contínuos e sistemas discretos**

Sistemas contínuos são aqueles nos quais as variáveis de estado podem assumir qualquer valor real (ou até complexo, em determinadas situações) em qualquer instante de tempo. Estes sistemas também são conhecidos como sistemas dirigidos por tempo, pois as mudanças de estado são determinadas pelo tempo (CASSANDRAS e LAFORTUNE, 2008).

Sistemas discretos são aqueles nos quais as variáveis de estado mudam de valor apenas em determinados instantes de tempo, gerando uma função “constante por partes”. Estes sistemas também são conhecidos como sistemas dirigidos por eventos, pois as mudanças de estado são determinadas por eventos assíncronos (CASSANDRAS e LAFORTUNE, 2008).

Deve-se ter cuidado para não confundir sistemas discretos com sistemas contínuos discretizados (conhecidos também como sistemas digitais). Sistemas contínuos discretizados são sistemas contínuos utilizados em aplicações envolvendo computadores, já que estes trabalham com a amostragem de dados em intervalos de tempo discretos determinados pela frequência de *clock* do processador. Neste caso, o espaço de estados continua sendo contínuo, porém a natureza discretizada do sistema implica em mudança de estados síncrona e em intervalos discretos de tempo. Portanto, um sistema digital também é um sistema dirigido por tempo.

Muitos sistemas reais apresentam características tanto de sistemas contínuos quanto de sistemas discretos simultaneamente. Entretanto, em muitos casos, é possível identificar a predominância de uma das características ou adotar simplificações para a adoção de uma das abordagens. Há também os sistemas classificados por Miyagi (1996) como sistemas híbridos, nos quais há o emprego de técnicas de controle de SVCs e de SEDs.

#### 2.1.4. Sistemas a Eventos Discretos (SED)

Sistemas a Eventos Discretos (SED) são sistemas caracterizados por uma dinâmica definida pela ocorrência assíncrona de eventos que geram mudanças de estados discretos (MIYAGI, 1996). O fato de os estados serem discretos significa que o conjunto de estados é contável. O conceito de evento deve ser interpretado como um acontecimento de duração instantânea (CASSANDRAS e LAFORTUNE, 2008). Exemplos de eventos podem ser: início ou término de uma tarefa (mas não sua execução), chegada de uma peça em uma máquina, recepção de uma mensagem por meio de um sistema de comunicação, etc. (CURY, 2001). O estado do sistema permanece inalterado até a ocorrência de um novo evento. A Figura 2.2 mostra como se dá a evolução dos estados  $x_i$  de um sistema a eventos discretos ao longo das ocorrências dos eventos  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\lambda$ .

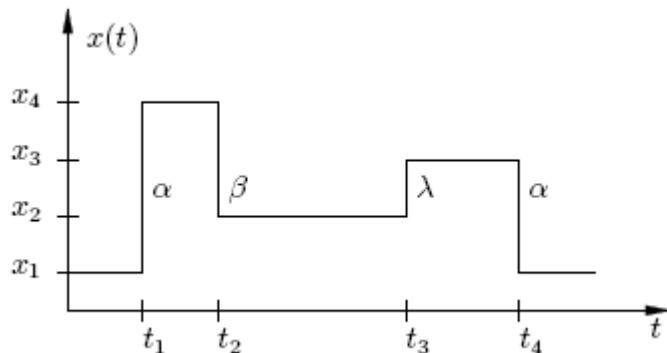


Figura 2.2 – Evolução dos estados num sistema a eventos discretos (CURY, 2001).

De acordo com Miyagi (1996), os valores de um estado podem ser calculados a partir dos valores do estado anterior, independente do intervalo de tempo passado entre os dois estados. Retomando o exemplo da chegada de uma peça a um torno: o tempo do processo de torneamento pode ser levado em conta em uma análise de sistema a evento discreto, mas o processamento em si não é considerado um evento, pois ele não causa mudança de estado no sistema. Os eventos que causam a mudança de estado no sistema são a chegada e a saída da peça, determinando se o torno está ou não disponível para operação. O tempo de processamento da peça pode ser considerado para

fins de análise da operação do sistema como um todo, não sendo um fator de influência no estado seguinte do sistema.

No contexto dos SEDs, são definidos alguns elementos que os constituem:

- Entidade: objeto de interesse em um sistema (ex.: operador de máquina)
- Atributo: propriedade da entidade (ex.: tempo para a realização de uma furação);
- Atividade: ação que ocorre dentro do sistema (ex.: transporte de uma peça de uma máquina para um estoque).

Devido à mudança de estados nos SEDs se dar de acordo com eventos, os modelos de equações diferenciais utilizados para os sistemas contínuos ou os modelos de equações de diferenças utilizados para os sistemas contínuos discretizados não podem ser aplicados aos SEDs. Os modelos utilizados no estudo de SEDs serão apresentados no item a seguir.

## **2.2. Modelagem**

Um modelo é uma representação simplificada de um sistema feita com o objetivo de se estudar este sistema. O modelo deve ter um grau de detalhamento tal que permita a obtenção de conclusões válidas a respeito do sistema real. O modelo deve ter todos os componentes necessários para a compreensão do sistema, porém devem-se considerar apenas os elementos relevantes para tal compreensão (MIYAGI, 2006). Modelagem é o processo de desenvolvimento de um modelo para um sistema.

Assim como os sistemas, os modelos podem ser classificados em: instantâneos ou dinâmicos, estocásticos ou determinísticos, contínuos ou discretos, dentre outras possíveis. As definições dos tipos de modelos são análogas às definições dos tipos de sistemas. A escolha de qual tipo de modelo a ser usado depende das características do sistema (MIYAGI, 2006).

Cury (2001) cita alguns exemplos de modelos utilizados para SEDs: Rede de Petri, Cadeias de Markov, Teoria de Filas, Álgebra de Processos, Álgebra Max-Plus, Lógica Temporal e Teoria de Linguagens e Autômatos.

### **2.3. Simulação**

De maneira abrangente, Bennett (1995) *apud* Fujii e Watanabe (2002) define simulação como a “arte” pela qual se pode verificar o comportamento de sistemas reais ou hipotéticos com o auxílio do computador.

Simulação também pode ser definida como uma “imitação” de um processo, por meio da criação de uma “história artificial” do sistema. A simulação, feita a partir de um modelo devidamente concebido e validado, é útil para a previsão do comportamento de um sistema, seja ele um novo sistema a ser implementado ou um sistema já existente cujo desempenho deseja-se melhorar (MIYAGI, 2006).

Cassandras e Lafortune (2008) definem simulação como sendo o processo de avaliação numérica de um modelo com o objetivo de obter dados que possibilitem a estimativa de outras informações de interesse. Por fim, Cellier (1991) *apud* Fujii e Watanabe (2002) define simulação como sendo uma sequência de experimentos com um modelo.

Carson e Maria (1997) definem experimento de simulação como um teste ou uma série de testes nos quais pequenas mudanças significativas são feitas nas entradas do modelo de maneira que seja possível identificar e analisar as razões de alterações nas saídas. Os autores trazem também o conceito de otimização da simulação, que tem por objetivo escolher os melhores valores para as entradas de modo a realizar um experimento de simulação eficiente e com o menor custo computacional. Tal conceito é útil para modelos com um grande número de variáveis de entrada, cuja escolha dos valores se torna demasiadamente onerosa em termos de processamento computacional.

O termo “arte” utilizado na definição de Bennett (1995) *apud* Fujii e Watanabe (2002) não é empregado à toa, já que a obtenção de bons resultados em análise de sistemas depende do talento do responsável tanto

pela elaboração do modelo quanto da elaboração dos experimentos de simulação. Boa parte deste talento provém de habilidades subjetivas.

Miyagi (2006) cita algumas aplicações de simulação:

- Estudo das interações internas de um sistema complexo ou de um subsistema pertencente a um sistema complexo;
- Realização de alterações nas informações, na organização no ambiente do sistema para a observação dos seus efeitos;
- Experimentação de novos projetos antes de implementá-los;
- Identificação das principais variáveis de um sistema e do modo de interação entre elas por meio de uma análise das entradas e saídas resultantes;
- Verificação de soluções analíticas, sendo neste caso uma ferramenta de validação;
- Aquisição de maiores conhecimentos sobre o modelo e sobre o processo de desenvolvimento deste para melhorias no sistema.

Pegden (1990) *apud* Schappo (2008) lista três áreas de aplicação de ferramentas de simulação em sistemas de manufatura:

- *Hard-system*: número e tipo de equipamentos, configuração do *layout* e determinação das peças a serem processadas no sistema;
- *Soft-system*: planejamento, sequenciamento das peças, *scheduling*, ferramentas e operadores do sistema;
- Controle em tempo real: controle de fluxo envolvendo contingências como falhas em máquinas resultando em paradas, troca de ferramentas, troca de modelos, etc.

Por fim, Schappo (2008) corrobora a importância da simulação a eventos discretos para estudar, analisar, modelar e melhorar sistemas de manufatura.

Assim como os modelos e os sistemas, as simulações também podem ser classificadas em contínuas e discretas usando os conceitos análogos apresentados para sistemas e modelos. O subitem a seguir apresenta outra classificação utilizada para as simulações.

### **2.3.1. Simulação dirigida por eventos e simulação orientada por atividades**

No âmbito da simulação de SEDs, Cassandras e Lafortune (2008), Banks *et al.* (1996) *apud* Fujii e Watanabe (2002), e Ferscha (1995) classificam as simulações em dois grupos: as simulações por agendamento de eventos e as simulações orientadas por atividades.

As simulações por agendamento de eventos têm foco na ocorrência dos eventos e nas respectivas alterações no estado do sistema. O simulador armazena todos os eventos por acontecer, assim como os instantes de *clock* respectivos a cada um deles, numa lista chamada lista de eventos futuros (LEF). A cada ocorrência de evento, tendo sido atualizado o estado do sistema, o *clock* do simulador é incrementado até atingir o instante do próximo evento da LEF.

As simulações orientadas por atividades trabalham com incrementos de tempo iguais, focando na decisão da realização ou não de uma atividade a cada incremento de tempo. Deste modo, os eventos gerados e que não podem ser realizados são armazenados na LEF.

Segundo Fujii e Watanabe (2002), a simulação orientada por atividades facilita o desenvolvimento de modelos devido à sua facilidade de compreensão, mas por outro lado exige maior capacidade de processamento devido às tomadas de decisão com relação à realização ou não das atividades. Devido a esta dualidade, tende-se a aplicar ambas as técnicas de modo a aproveitar as melhores características de cada uma delas.

Cassandras e Lafortune (2008) citam que a maior parte dos pacotes de simulação de SEDs utiliza a técnica de simulação orientada por atividades.

### **2.4. Medidas de desempenho de sistemas de manufatura**

Para possibilitar uma análise objetiva do desempenho do sistema, é necessária a definição de medidas de desempenho. A partir de uma análise

segundo tais medidas de desempenho pode-se verificar se os objetivos de alterações no sistema de manufatura estão sendo atingidos.

Tubino (1999) *apud* Schappo (2006) propõe as seguintes medidas de desempenho:

- Volume de produção (VP): é dado pela razão entre a quantidade produzida e a quantidade vendida. Se o volume de produção for maior que 1, isso significa que estoques desnecessários estão sendo criados, aumentando os custos que não agregam valor ao produto. Se o volume de produção for menor que 1, isso significa que a demanda não está sendo atendida;
- *Lead time* de produção (LTP): intervalo de tempo entre o recebimento de um pedido e a entrega da respectiva encomenda ao cliente. Indica a velocidade de resposta ao mercado e também a flexibilidade do sistema;
- Estoque em processo (EP): estoque que percorre o fluxo de materiais no sistema. Quanto maior o estoque em processo, maiores serão os custos diretos e indiretos agregados ao produto final;
- Taxa de utilização do centro de trabalho (TUCT): porcentagem em tempo em que um centro de trabalho esteve em operação;
- Taxa de utilização do recurso gargalo (TURG): quantidade de recursos necessários para suprir determinada demanda. Esta medida é um reflexo da capacidade do sistema de manufatura;
- Taxa de utilização de mão-de-obra (TUMO): razão entre as horas totais trabalhadas e a produção no período. O aumento da produção num determinado período, a utilização de uma equipe menor para a mesma demanda ou um tempo menor de produção levam a uma redução da TUMO;
- Taxa de utilização dos *buffers* (TUB): pode ser considerado como um caso específico da TUCT. Reflete consequências de quebras no ritmo de funcionamento do sistema, incluindo as paradas;
- Taxa de bloqueio de recursos (TBR): análogo ao TUCT. Deve-se analisar esta medida juntamente com as TUCTs, pois assim é possível detectar desbalanceamentos entre os locais.

## 2.5. Metodologia

Este item sobre a metodologia do trabalho tem o objetivo de esclarecer o método a ser utilizado para a análise do sistema de manufatura em questão. Em linhas gerais, deve-se primeiramente criar um modelo que represente as características fundamentais do sistema, para então submetê-lo a experimentos de simulação de modo a poder obter resultados conclusivos a respeito do desempenho do sistema.

A seguir serão apresentadas duas metodologias encontradas na literatura. Cada uma é apresentada em um subitem para a posterior definição da metodologia a ser utilizada no trabalho. Também é apresentado o *software* ProModel, ferramenta escolhida para a concepção do modelo e para a realização dos experimentos de simulação. Vale lembrar que a própria arquitetura do *software* ProModel induz o modelista a seguir uma metodologia de elaboração do modelo inerente ao *software*.

### 2.5.1. Metodologia de Miyagi

Miyagi (1996) propõe uma metodologia para o processo de simulação e análise de sistemas. Segue um fluxograma ilustrativo na Figura 2.3.

Segue uma breve descrição de cada uma das etapas:

- Formulação do problema: descrição do sistema e do seu modo de operação;
- Definição dos objetivos: a partir da compreensão do sistema de manufatura em questão, podem-se determinar quais os objetivos da análise;
- Coleta de dados e informações e concepção do modelo: são duas tarefas a serem feitas simultaneamente devido à interdependência entre elas. Deve-se conceber um modelo com os aspectos estritamente necessários para a compreensão do sistema e sua consequente análise. Quanto maior for a complexidade do modelo, mais dados serão necessários;

- Tradução do modelo: a partir dos dados colhidos e do modelo concebido, este precisa ser traduzido numa linguagem ou *software*;
- Verificação: verificação se a tradução do modelo feita em software executa o modelo conforme o esperado. Caso seja detectado algum tipo de inconsistência, deve-se repensar a tradução do modelo de modo que ela seja coerente com o comportamento esperado do modelo;
- Validação: confrontação entre a tradução do modelo e o sistema real. Caso seja detectado algum tipo de inconsistência; deve-se repensar o modelo a ser usado e, consequentemente, coletar novos dados de modo a obter um modelo que represente o sistema real com o grau de detalhamento desejado;
- Projeto do experimento: definição de como fazer os experimentos de simulação; estabelecendo os cenários a serem simulados, valores de entrada, tempo de simulação, repetições necessárias, etc.;
- Execução da simulação e análise: execução do experimento de simulação para a obtenção de resultados os quais serão matéria-prima para a análise do desempenho do sistema;
- Realização de nova simulação: tomada de decisão baseada no resultado das análises anteriores;
- Relatórios: envolvem documentos tanto do *software* utilizado quanto do histórico dos experimentos de simulação, sugerindo modificações de acordo com os resultados obtidos das análises;
- Implementação: implementação real das modificações sugeridas nos relatórios.

### 2.5.2. Metodologia de Schappo

Schappo (2006) apresenta uma metodologia para a análise e otimização de sistemas de manufatura enxuta. Segue um fluxograma ilustrativo na Figura 2.4.

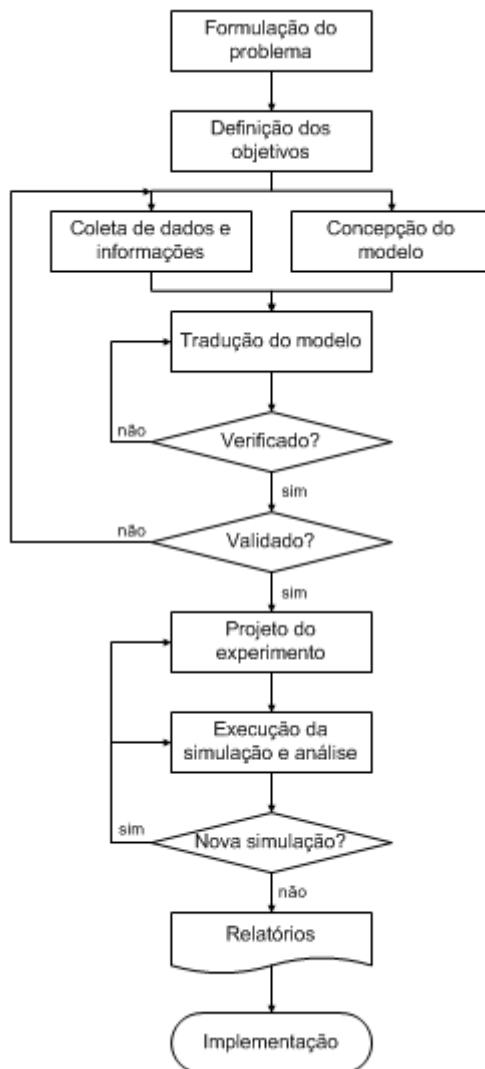
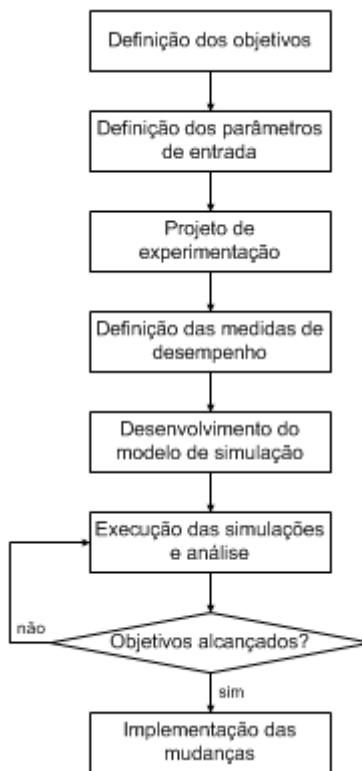


Figura 2.3 – Fluxograma representativo da metodologia de Miyagi (1996).

A metodologia de Schappo apresenta algumas etapas em comum com a metodologia de Miyagi (2006), inclusive tendo definições análogas. São elas: definição dos objetivos, projeto de experimentação, desenvolvimento do modelo de simulação, execução das simulações e análise e implementação das mudanças. Vale ressaltar os aspectos diferenciados da metodologia de Schappo:

- Definição dos parâmetros de entrada: definição de características inerentes ao funcionamento do sistema (capacidade dos *buffers*, tempo de *setup* das máquinas, tempo das operações, etc.);
- Definição das medidas de desempenho: definição de indicadores numéricos do desempenho do sistema.



**Figura 2.4 – Fluxograma representativo da metodologia de Schappo (2006).**

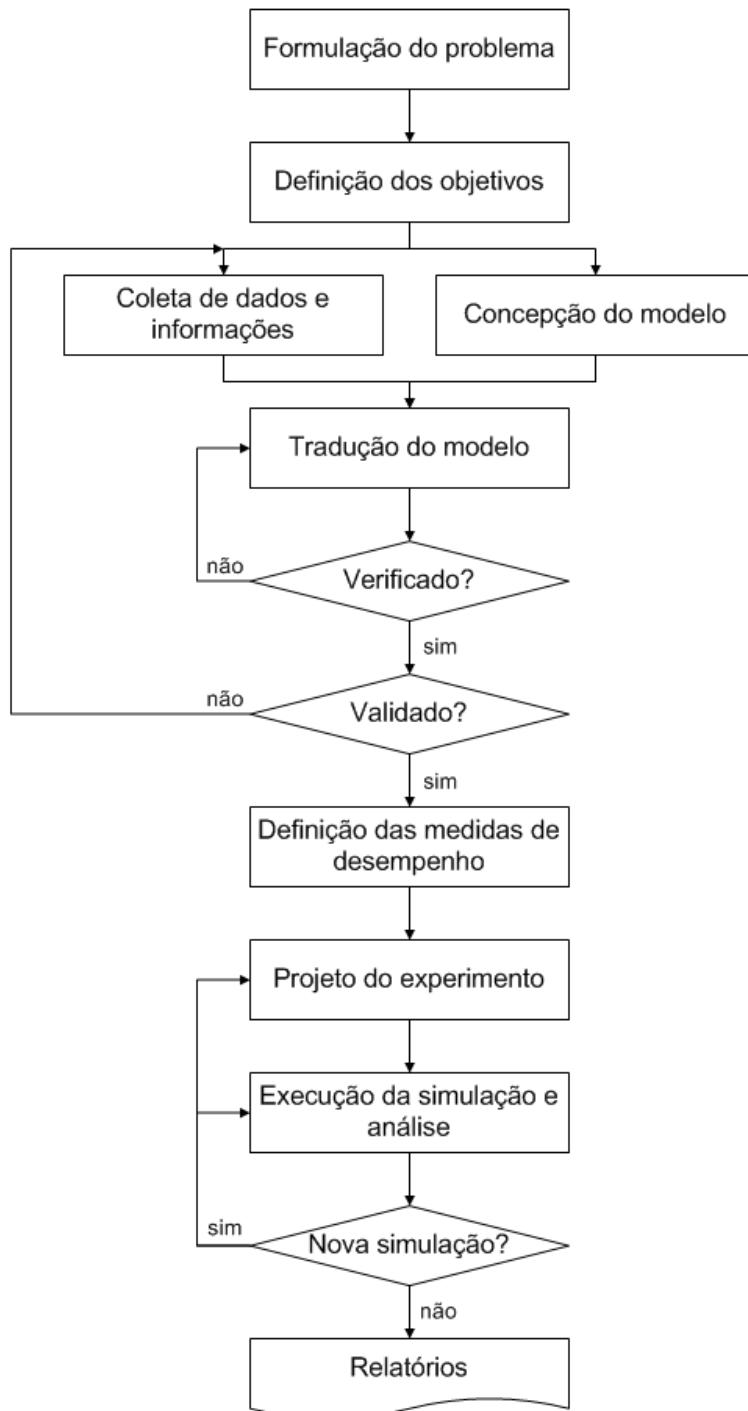
### 2.5.3. Metodologia adotada no trabalho

Podem-se comparar as metodologias de Miyagi e Schappo segundo dois aspectos. Ao contrário de Miyagi, Schappo realiza o projeto dos experimentos de simulação antes mesmo da definição do modelo. Além disso; Schappo estabelece os parâmetros de entrada antes da formulação do modelo, enquanto Miyagi não especifica estas duas tarefas separadamente.

A metodologia a ser adotada neste trabalho foi sintetizada a partir das duas metodologias apresentadas anteriormente. Segue o fluxograma Ilustrativo na Figura 2.5.

A grande vantagem da metodologia de Miyagi é a objetividade na definição de cada uma das etapas, facilitando inclusive a organização de um cronograma de atividades para o trabalho. Optou-se por adotar a sequência de modelagem proposta em Miyagi (2006), pois o processo de modelagem auxilia no conhecimento do sistema devido aos questionamentos inerentes ao processo, conhecimento este que é importante para a definição dos experimentos de simulação. Além disso, optou-se por fazer a definição de

medidas de desempenho proposta por Schappo (2006) após a definição do modelo, simplesmente para reunir todas as etapas relacionadas à simulação e análise no final do ciclo do trabalho. Por fim, a etapa de implementação proposta por Miyagi (2006) foi eliminada por não fazer parte do escopo do trabalho.



**Figura 2.5 – Fluxograma representativo da metodologia a ser utilizada no trabalho.**

#### 2.5.4. ProModel

O ProModel é um pacote de simulação usado para modelar diferentes tipos de sistemas de manufatura, desde células de manufatura e pequenas lojas até complexos sistemas produtivos e sistemas logísticos. Ele é composto por uma interface intuitiva e por uma estrutura orientada a objetos que dispensa a necessidade de programação (BENSON, 1997). Ele também possui recursos de exibição de resultados da simulação em gráficos, tornando a análise mais rápida e intuitiva – vide Figura 2.6.

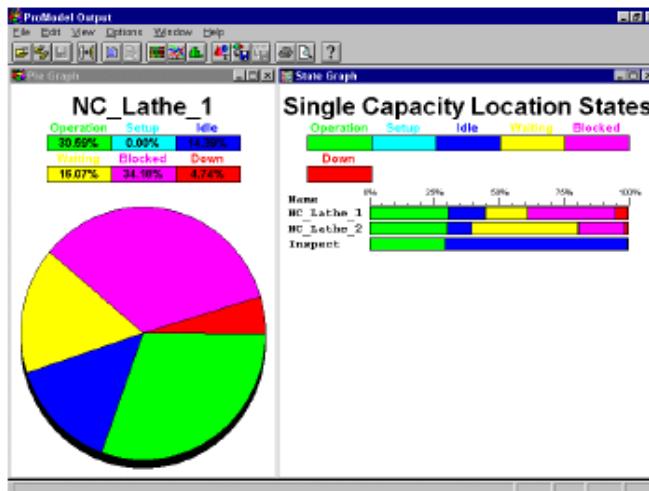


Figura 2.6 – Exemplo da exibição de gráficos no ProModel (BENSON, 1997).

A modelagem usando o ProModel é feita por meio dos elementos de modelagem disponíveis, responsáveis pela representação dos elementos reais do sistema. A elaboração do modelo é feita passo-a-passo, adicionando cada um dos elementos de modelagem em sequência. Benson (1997) descreve cada um dos elementos da seguinte maneira:

- Lugar (*location*): locais fixos do sistema para os quais são destinadas entidades (*entities*) para serem processadas, armazenadas ou simplesmente para a decisão do seu destino. Ex.: máquina de usinagem, bancada, pulmão de estocagem (*buffer*), etc.;
- Entidade (*entity*): itens a serem processados pelo sistema. Ex.: matéria-prima, peças inacabadas, produto final, etc.;

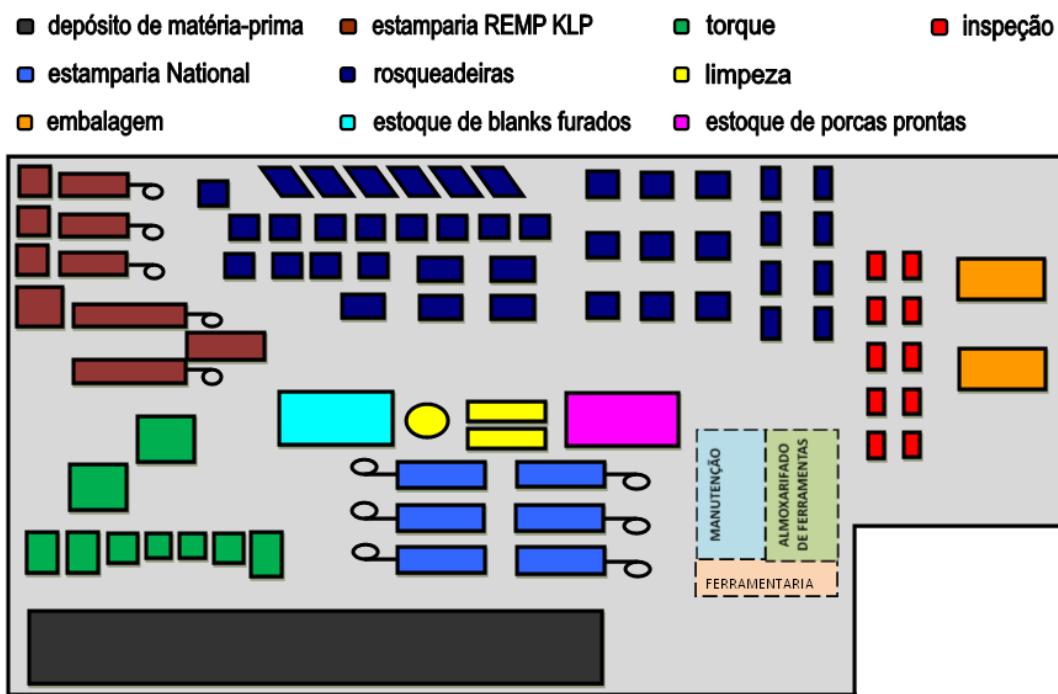
- Atributos (*attributes*): características inerentes aos locais e entidades. Ex.: capacidade de operação da máquina, tempo de duração do processo, etc.;
- Recurso (*resource*): qualquer elemento responsável pelo transporte de entidades ou recursos no sistema, pela operação de alguma entidade em um local ou pela manutenção de algum local ou outro elemento. Os recursos podem ser designados como dinâmicos (ou seja, podem se locomover pelo sistema) ou estáticos. Ex.: operador, ferramenta, veículo, braço robótico, etc.;
- Redes de trabalho (*path networks*): conjunto de trajetórias pelas quais os recursos e entidades trafegam ao longo do sistema. Cada rede de trabalho é composta por nós, localizados de acordo com o sistema e que equivalem a pontos de parada das entidades e recursos;
- Processo (*process*): define a sequência de processo e a lógica de fluxo das entidades e recursos no sistema. O software disponibiliza várias ferramentas para a definição da lógica do processo, como a definição de variáveis, vetores, matrizes, macros e sub-rotinas;
- Chegada (*arrival*): determina como ocorre a chegada de recursos ao sistema. Ex.: chegada de matéria-prima;
- Parada (*shifts*): define o agendamento de horários de parada do sistema, controlando as horas do dia e os dias da semana em que haverá uma parada.

### **3. Estudo de Caso**

Neste capítulo é detalhado o estudo feito sobre as linhas de produção de porcas da Heral Indústria Metalúrgica S.A. O estudo seguirá as etapas da metodologia adotada no capítulo anterior, sendo cada uma das etapas detalhada nos itens a seguir.

### **3.1. Formulação do problema**

Esta etapa do estudo consiste na descrição do sistema de manufatura como um todo. A Figura 3.1 mostra o *layout* geral da fábrica. A fábrica é composta pelos seguintes setores: depósito de matéria-prima, estamparia National, estamparia REMP KLP, rosqueadeiras, torque, limpeza, inspeção e embalagem. Há ainda duas áreas para a estocagem de peças semiprontas. Estes são os setores fundamentais no processo de fabricação das porcas, porém há outros setores que não necessariamente pertencem à linha de produção, como é o caso dos setores de manutenção, almoxarifado e ferramentaria.



**Figura 3.1 – Layout geral da fábrica.**

A fábrica trabalha com turnos que totalizam 44 horas de operação por semana, em média, o que equivale a turnos de 8,8 horas por dia. Um mês é considerado como sendo de 21 dias, o que totaliza 185 horas de trabalho mensais. A cada mês são produzidas em média cerca de 12 milhões de porcas de mais de 200 tipos diferentes.

Informações mais detalhadas sobre cada um dos setores serão apresentadas no item a seguir.

### **3.2. Coleta de dados e informações**

Este item visa levantar os seguintes dados e informações:

- máquinas utilizadas;
- portfólio de produtos produzidos;
- funções dos operadores e a distribuição dos mesmos na planta;
- matérias-primas envolvidas;
- sequência de operações envolvidas na produção das porcas.

Nos subitens a seguir serão apresentados os dados e informações obtidos sobre a organização, operação e produtividade de cada um dos setores. Alguns setores terão seus *layouts* detalhados para maiores informações a respeito dos operadores responsáveis pelo setor e suas respectivas áreas de trabalho<sup>1</sup>. O penúltimo subitem tratará sobre as principais porcas produzidas na fábrica e as respectivas sequências de operações envolvidas na fabricação das mesmas.

Para realizar esta etapa de coleta de dados e informações, foi adotada como base de amostragem uma relação com os três tipos de porcas com maior volume de produção em cada máquina de estampagem. Tal premissa foi importante, pois o portfólio de produtos da empresa é muito vasto e seria muito

---

<sup>1</sup> Define-se área de trabalho como sendo um conjunto de uma ou mais máquinas sob a responsabilidade de um ou mais operadores. A designação de um determinado operador para uma área de trabalho é única, ou seja, ele terá suas atividades restritas a esta área de trabalho.

oneroso tratar dados numéricos e informações referentes a todas as porcas produzidas na fábrica.

O último subitem trará dados mais detalhados sobre os tipos de porcas escolhidos como escopo do trabalho a partir da base de amostragem. Os motivos para a escolha destas porcas serão apresentados no item 3.4.

### **3.2.1. Depósito de matéria-prima**

A matéria-prima, basicamente constituída de bobinas de aço carbono, é armazenada nas laterais do galpão. O aço carbono é utilizado na maioria das porcas produzidas na fábrica; porém também são utilizados alumínio, latão e outras ligas. Estas bobinas têm diâmetro de 10 a 22 mm, pesam até 70 kg e são compradas por peso. O espaço correspondente ao depósito de matéria-prima comporta até 150 bobinas.

### **3.2.2. Estamparia National**

Os setores de estamparia são responsáveis pelo primeiro processamento da matéria-prima. Na fábrica há dois setores de estamparia nos quais as bobinas são processadas por métodos distintos.

A Figura 3.2 mostra o setor de estamparia National em detalhe. Este setor possui cinco estampadeiras National e uma Shyang, sendo todas estampadeiras horizontais. Cada uma delas possui um tambor para armazenagem de peças conformadas (*buffer*). Neste setor há um operador responsável por cada estampadeira, tendo como principal função retirar as peças conformadas do coletor da máquina e despejá-las no *buffer*. Este operador também faz uma breve verificação dimensional de algumas peças conformadas escolhidas aleatoriamente.

Um lote é definido como sendo um conjunto de peças agrupado para ser processado em conjunto por toda a fábrica. Os lotes de peças são formados logo após a estampagem e são processados ao longo da fábrica até se tornarem as respectivas porcas. A quantidade de peças de um lote é inversamente proporcional às dimensões da peça.

As máquinas na estamparia National utilizam o método de estampagem no qual a bobina é cortada em *blanks* de largura igual à largura da porca e logo em seguida o *blank* é estampado com o formato externo da porca a ser produzida e com o furo. Esta peça furada e com o formato externo definido pode ser nomeada como “*blank furado*”. A Figura 3.3 mostra uma ilustração do processo de estampagem na estamparia National.

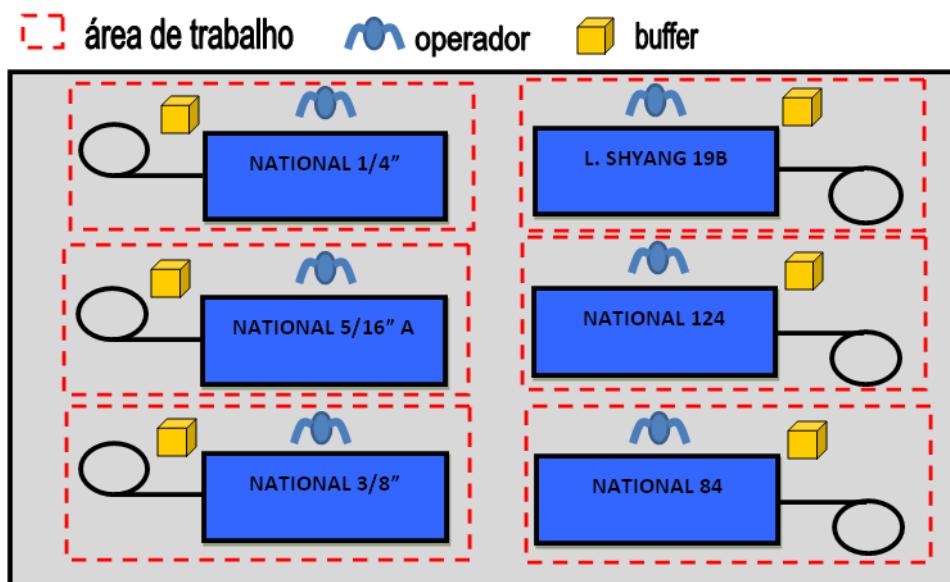


Figura 3.2 – Setor de estamparia National em detalhe.

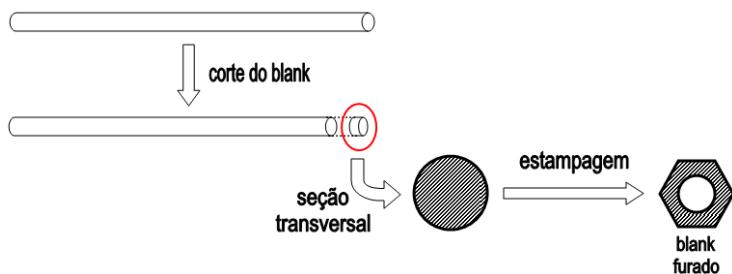


Figura 3.3 – Processo de estampagem na estamparia National.

A Tabela 3.1 mostra os dados de produtividade e de aproveitamento de cada estampadeira do setor de estamparia National. As produtividades valores são relativos à produtividade das máquinas em pleno funcionamento, desconsiderando qualquer parada ou interrupção. Os aproveitamentos são as porcentagens tempo em que as máquinas estão em plena operação e não em manutenção ou *setup*. Tais dados podem apresentar oscilações de 10 a 15%

para mais ou para menos, dependendo das condições de operação (tipo de material, diâmetro da bobina, etc).

**Tabela 3.1 – Produtividade e aproveitamento de cada estampadeira do setor de estamparia National.**

Máquina	Produtividade [peças/hora]	Aproveitamento
National 1/4"	5800	75%
National 5/16"	4100	80%
National 3/8"	3964	80%
L. Shyang 19B	3060	75%
National 124	6050	80%
National 84	6232	85%

O tempo de *setup* varia conforme as modificações necessárias, mas dura geralmente entre duas e quatro horas. A troca de bobinas leva cerca de quinze minutos e sempre tem como consequência o desperdício dos dois metros finais da bobina utilizada.

### 3.2.3. Estamparia REMP-KLP

A Figura 3.4 mostra o setor de estamparia REMP-KLP em detalhe. Este setor é fisicamente separado do setor de estamparia da National apenas por questão de *layout*, com a finalidade de agrupar num único setor estampadeiras que trabalham sob o mesmo processo. O setor é composto por cinco<sup>2</sup> pares de estampadeiras REMP verticais e furadeiras KLP, sendo cada um destes pares de responsabilidade de um operador. Cada operador é responsável por retirar as peças conformadas na estampadeira REMP e levá-las a um *buffer* intermediário localizado ao lado da furadeira, para em seguida realizar a operação de furação e, por fim, depositar as peças furadas num *buffer* de saída.

As máquinas na estamparia REMP-KLP utilizam um método de estampagem diferente do utilizado na estamparia National. Primeiro as máquinas REMP prensam a bobina, fazendo-a assumir a forma de fita, e em

---

<sup>2</sup> As máquinas REMP 102 e KLP 102 estão em manutenção por tempo indeterminado, não sendo consideradas para a elaboração deste trabalho.

seguida a cortam no formato desejado (sem o furo), formando peças que podem ser nomeadas como "*blanks* estampados". Estes *blanks* estampados são então levados às maquinas KLP para que o furo central possa ser feito, gerando os *blanks* furados. A Figura 3.5 mostra uma ilustração do processo de estampagem na estamparia REMP-KLP.

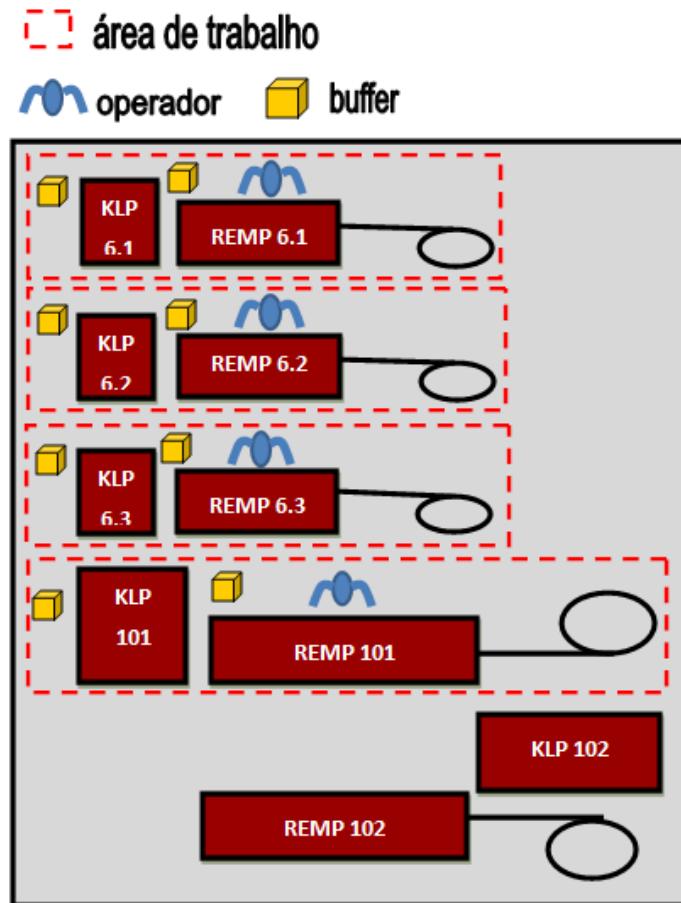


Figura 3.4 – Setor de estamparia REMP KLP em detalhe.

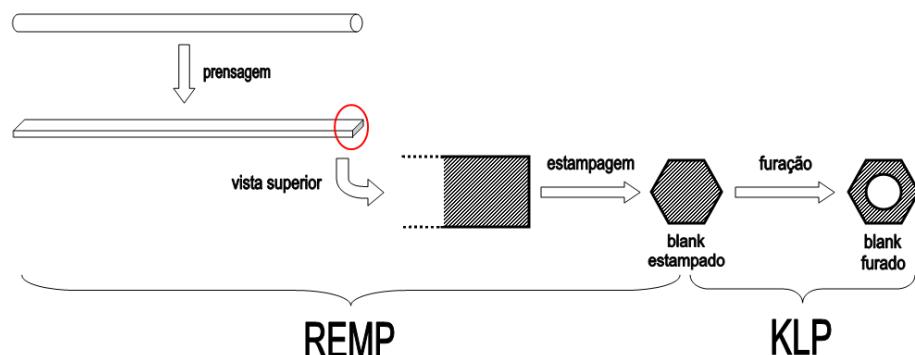


Figura 3.5 – Processo de estampagem na estamparia REMP-KLP.

A Tabela 3.2 mostra os dados de produtividade e de aproveitamento de cada furadeira do setor de estamparia REMP-KLP. Conforme citado no subitem anterior, as produtividades são relativas à produtividade das máquinas em pleno funcionamento, enquanto os aproveitamentos são as porcentagens tempo em que as máquinas estão em plena operação e não em manutenção ou *setup*. Assim como os dados da estamparia National, tais dados podem apresentar oscilações de 10 a 15% para mais ou para menos, dependendo das condições de operação.

**Tabela 3.2 – Produtividade e aproveitamento de cada furadeira do setor de estamparia REMP-KLP.**

Máquina	Produtividade [peças/hora]	Aproveitamento
KLP 6.1	10000	70%
KLP 6.2	10000	65%
KLP 6.3	10000	65%
KLP 101	8000	80%
KLP 102	em manutenção por tempo indeterminado	em manutenção por tempo indeterminado

As estampadeiras REMP estão sujeitas a motivos e tempos de paradas muito similares aos das máquinas National.

### 3.2.4. Rosqueadeiras

A Figura 3.6 mostra o setor de rosqueadeiras em detalhe. O setor de rosqueadeiras é o setor onde ficam as máquinas para rosqueamento dos *blanks* furados. Neste setor existem tanto rosqueadeiras manuais quanto automáticas. Nas rosqueadeiras manuais o rosqueamento é feito em uma peça por vez por um operador, sendo utilizadas na produção de menores volumes devido à baixa produtividade – vale ressaltar que estas máquinas na verdade são furadeiras customizadas. Nas rosqueadeiras automáticas o operador é responsável por alimentar grandes quantidades de *blanks* furados, sendo estas rosqueadeiras usadas para maiores volumes de produção.

Conforme pode ser observado na Figura 3.6, existem seis furadeiras manuais: F.01 a F.05 e KM40. As demais furadeiras são automáticas, de cinco

tipos diferentes: SNOW, NUTAP, SUPER, SAN SHING e FP<sup>3</sup>. As NUTAP ainda podem ser subdivididas em três tipos diferentes, uma para cada tamanho de porca: NUTAP tipo 8, NUTAP tipo 14 e NUTAP tipo 16. Das doze máquinas NUTAP em funcionamento, existem três para peças menores (NUTAP tipo 8), cinco para peças intermediárias (NUTAP tipo 14) e quatro para peças maiores (NUTAP tipo 16). Cada uma destas máquinas possui dois *buffers*<sup>4</sup>, um de chegada para *blanks* furados e outro de saída para porcas prontas.

A Tabela 3.3 mostra os dados de produtividade em pleno funcionamento e aproveitamento de cada tipo de rosqueadeira.

**Tabela 3.3 – Produtividade e aproveitamento de cada tipo de rosqueadeira.**

Máquina	Produtividade [peças/hora]	Aproveitamento
FP	5440	85%
NUTAP tipo 8	9000	80%
NUTAP tipo 14	9000	80%
NUTAP tipo 16	6560	80%
SUPER	1700	90%
F.01 a F.05	700	80%

### 3.2.5. Torque

A Figura 3.7 mostra o setor de torque em detalhe. O setor de torque é composto por cinco prensas excêntricas, sendo duas fechadas e três abertas; e quatro máquinas de torque (torqueadeiras).

As prensas excêntricas são usadas para aplicação de torque facial; enquanto as torqueadeiras propriamente ditas são utilizadas para aplicar torque lateral nas porcas. A função das torqueadeiras é produzir porcas de torque, que são aquelas úteis para encaixe forçado em parafusos.

---

<sup>3</sup> A sigla FP significa “fabricação própria”. Tais rosqueadeiras foram montadas na própria Heral devido à necessidade de um tipo de máquina não mais existente no mercado. Elas são mantidas com *setups* diferentes entre si para possibilitar maior flexibilidade da produção, mas possuem produtividades semelhantes entre si.

<sup>4</sup> Os *buffers* das rosqueadeiras não estão representados na Figura 3.6 para maior clareza do desenho.

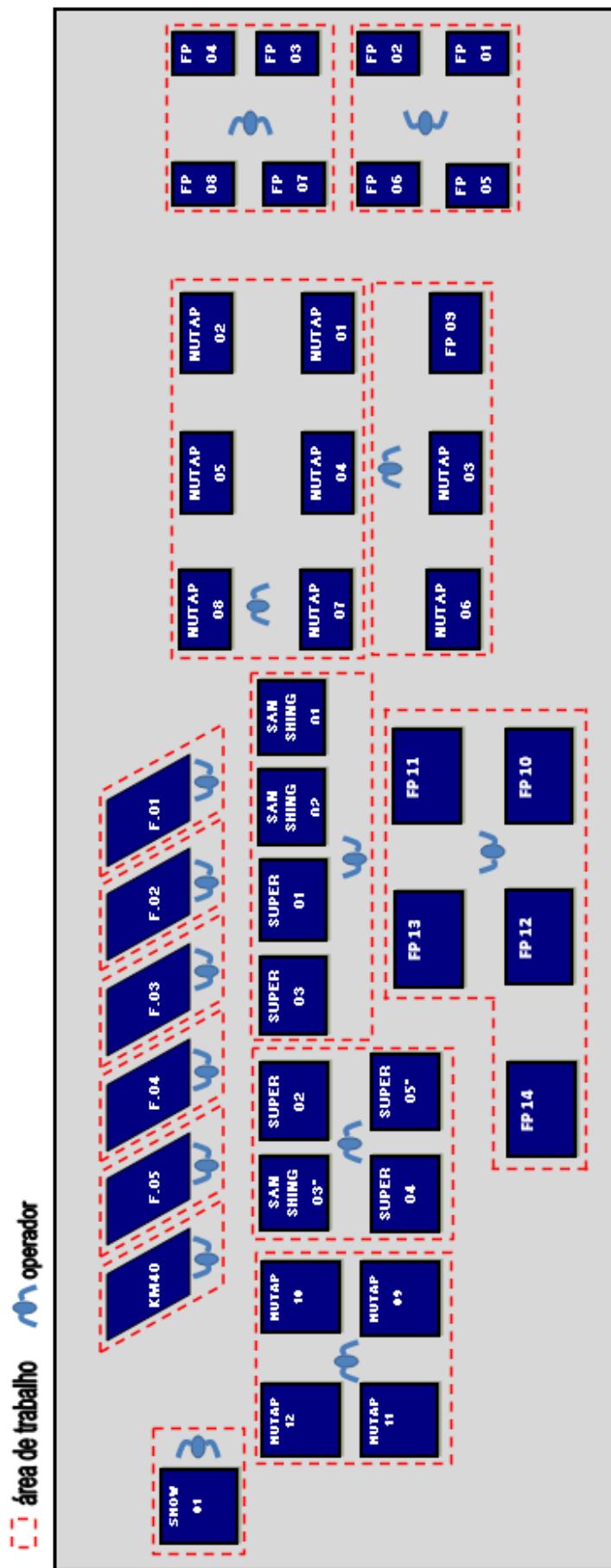


Figura 3.6 – Setor de rosqueadeiras em detalhe.

As porcas cujas linhas de produção serão estudadas neste trabalho não passam pelo setor de torque, portanto não houve a necessidade de explicitar os *buffers* do setor de torque na Figura 3.7.

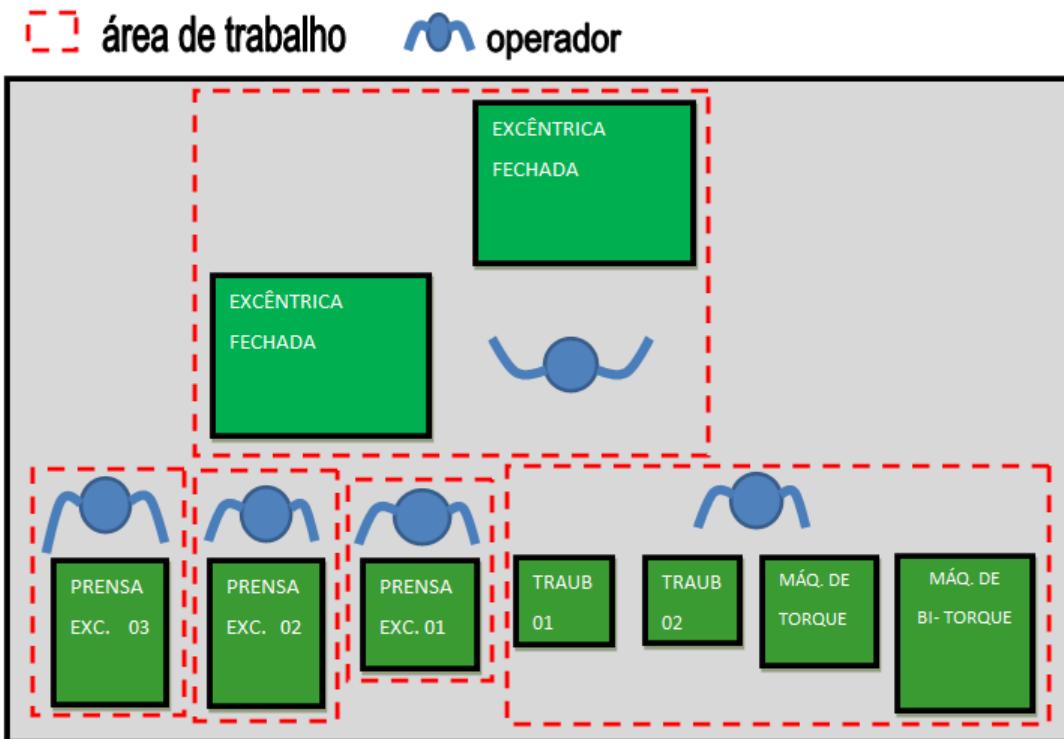
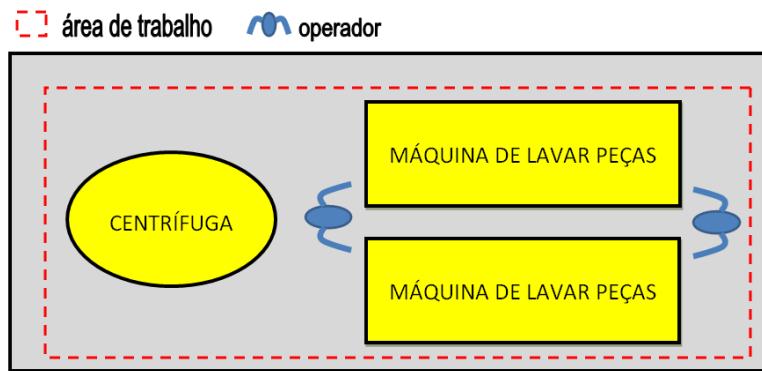


Figura 3.7 – Setor de torque em detalhe.

### 3.2.6. Limpeza

A Figura 3.8 mostra o setor de limpeza em detalhe. Neste setor é feita a limpeza de alguns tipos de porcas. O setor é composto por uma máquina vibratória para retirada de cavaco, uma máquina para lavagem de porcas (retirada de óleo e de cavacos) e uma centrífuga para secagem. Há apenas uma área de trabalho definida e nela há dois operadores que se revezam entre as máquinas de limpeza e a centrífuga. Tanto as peças provenientes da estampagem (*blanks* furados) quanto as porcas prontas passam pelo setor de limpeza.



**Figura 3.8 – Setor de limpeza em detalhe.**

A Tabela 3.4 mostra as durações médias das operações de lavagem, retirada de cavaco e óleo e centrífuga para um lote de peças.

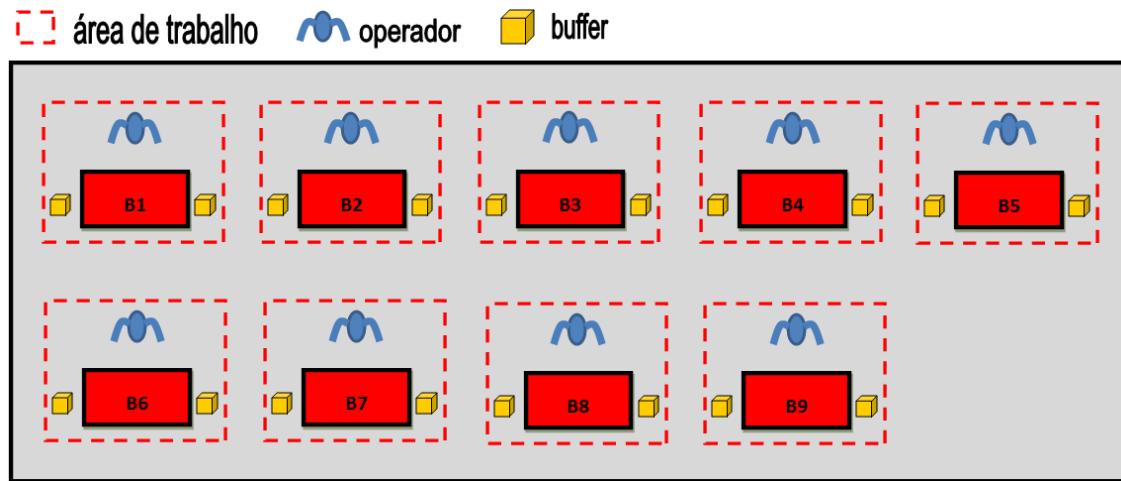
**Tabela 3.4 – Durações médias das operações no setor de limpeza.**

Máquina	Tempo de processamento [min]
Mesa vibratória	30
Lavagem	30
Centrífuga	30

Ao contrário dos outros setores, que contam com um *buffer* em cada máquina; o setor de limpeza utiliza vários tambores como *buffers*, constituindo os dois setores de estoque mostrados na Figura 3.1. Mais detalhes sobre estes estoques serão apresentados no subitem 3.2.9.

### 3.2.7. Inspeção

A Figura 3.9 mostra o setor de inspeção em detalhe. O setor de inspeção é composto por nove bancadas, tendo cada bancada um operador responsável pela inspeção visual dos produtos acabados. Os principais defeitos que o operador deve verificar são: manchas, trincas, amassados, sujeiras na rosca, peças sem rosca, rosca fora de centro, rosca inclinada, peças fora do lote adequado e flange fora de centro. Os produtos aprovados são enviados ao setor de embalagem. Cada bancada possui um buffer de entrada e um de saída, além de uma gaveta na qual são depositadas as porcas com defeito.

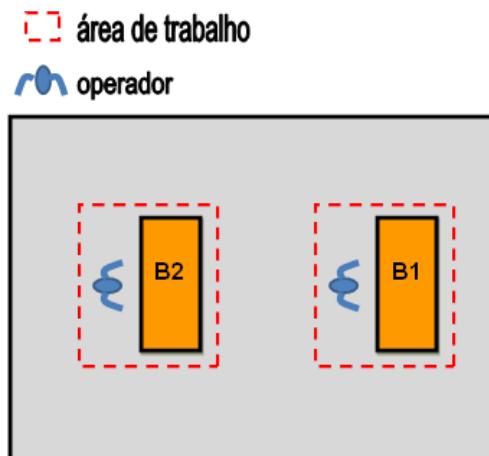


**Figura 3.9 – Setor de inspeção em detalhe.**

O tempo de inspeção varia de acordo com o tipo de porca e também de acordo com a demanda do cliente. É comum o cliente solicitar uma inspeção dupla com 100% de qualidade após detectar peças defeituosas num lote prévio.

### 3.2.8. Embalagem

A Figura 3.10 mostra o setor de embalagens em detalhe. O setor de embalagens é composto por dois operadores e duas balanças. Conforme os lotes são aprovados pela inspeção, são enviados ao setor de embalagem para a pesagem e embalagem em sacos plásticos.



**Figura 3.10 – Setor de embalagem em detalhe.**

O tempo de embalagem e pesagem é de três minutos e não depende do tipo de porca, já que os pacotes têm um tamanho padrão e estas operações dependem basicamente do tamanho do pacote.

### **3.2.9 Estoques de peças semiprontas**

Ao longo da fábrica existem dois locais principais onde se faz a estocagem de peças semiprontas, que aguardam a continuação de seus processos produtivos.

O primeiro estoque, o estoque de *blanks* furados, se localiza entre a estamparia REMP-KLP e o setor de limpeza. Ele é composto por dois grandes grupos de peças: *blanks* furados que aguardam pela limpeza e *blanks* furados que aguardam o rosqueamento. Este setor comporta cerca de 250 tambores.

O segundo estoque, o estoque de porcas prontas, se localiza entre o setor de limpeza e de inspeção. Ele é composto por dois outros grandes grupos de peças: porcas prontas que aguardam para serem limpas ou porcas prontas que aguardam ser inspecionadas e embaladas. Este setor comporta cerca de 100 tambores.

A posição destes estoques no *layout* geral da fábrica é mostrada na Figura 3.1.

### **3.2.10 Transporte de materiais**

Os principais materiais que são transportados pelo galpão da fábrica são: bobinas, *blanks* furados e porcas prontas.

Para realizar o transporte das bobinas do depósito de matéria-prima até as estamparias são utilizadas duas empilhadeiras. Observe na Figura 3.11 a trajetória percorrida pelas empilhadeiras na fábrica. Os nós são os pontos onde a empilhadeira carrega ou descarrega bobinas.

Para realizar o transporte de *blanks* furados e porcas prontas são utilizados quatro carregadores de *pallets*, cada um conduzido por um operador. A regra básica para o uso dos carregadores de *pallets* é que cada operador deve buscar o material para realizar a sua tarefa. Ou seja: um operador do setor de limpeza deve buscar *blanks* furados no *buffer* das estamparias para

limpá-los, um operador do setor de rosqueamento deve buscar *blanks* furados limpos para serem rosqueados e assim por diante.

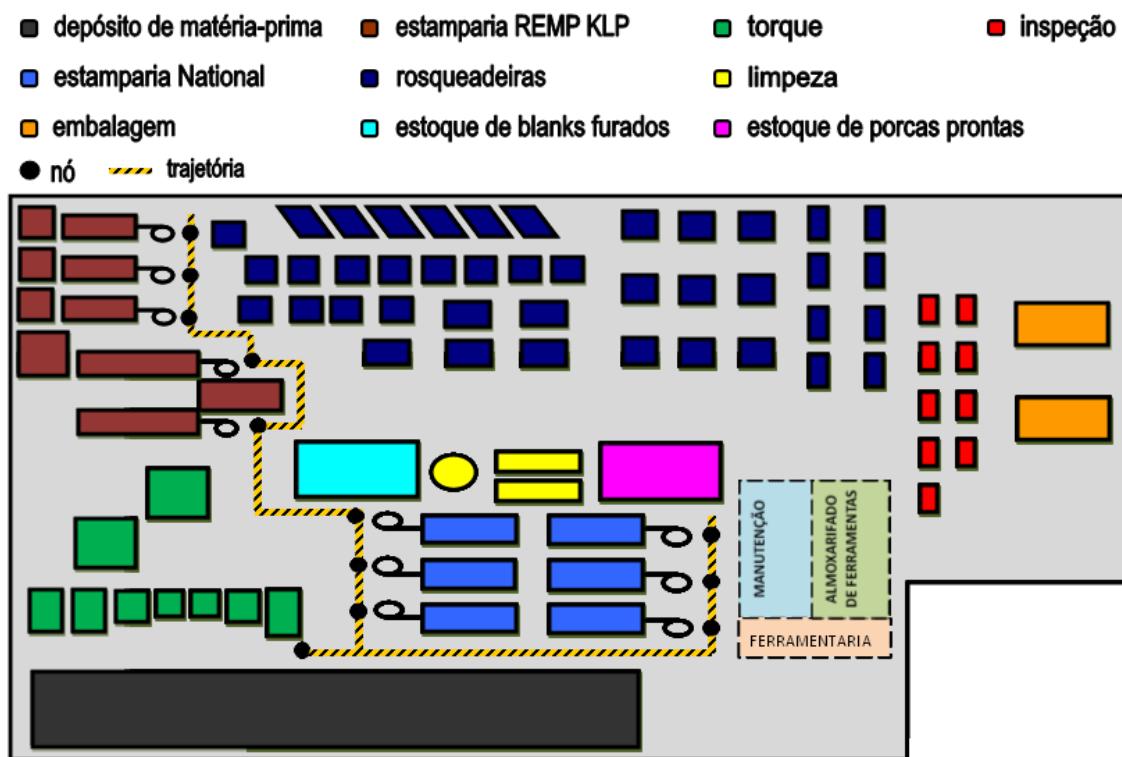


Figura 3.11 – Trajetória percorrida pelas empilhadeiras na fábrica.

As velocidades de transporte de materiais foram tomadas a partir de referências em literatura. “Velocidade em serviço” e “velocidade em vazio” são as velocidades de trajeto do recurso na rede quando carregando alguma entidade (ou eventualmente outro recurso) e quando livre, respectivamente. De acordo com Barudy (2008), optou-se por adotar a velocidade média de marcha humana como velocidade em vazio dos operadores e, consequentemente, dos carregadores de *pallets*. A velocidade em serviço foi estimada como sendo a metade da velocidade em vazio. Para as empilhadeiras, foram adotadas as velocidades de aproximadamente 5 e 10 km/h como velocidade em serviço e em vazio, respectivamente, por serem consideradas seguras em ambiente industrial de acordo com Toledo (2008). Estes dados estão resumidos na Tabela 3.5.

**Tabela 3.5 – Velocidades de transporte de materiais.**

<b>Recurso</b>	<b>Velocidade em vazio [km/h]</b>	<b>Velocidade em serviço [km/h]</b>
Operador	4	2
Carregador de <i>pallets</i>	4	2
Empilhadeira	10	5

### **3.2.11 Tipos de porcas e seus processos de fabricação**

Cada tipo de porca produzida na fábrica é identificado por letras e números. A Tabela 3.6 mostra o código de letras usado na identificação dos tipos de porcas. Os números representam simplesmente o modelo. Por exemplo: uma porca identificada por HSMS 277 significa que é uma porca Heral, sextavada, com medidas padronizadas em milímetros, para ser soldada e seu modelo é o 277.

As porcas consideradas na base de amostragem deste trabalho percorrem três caminhos entre os setores, definindo de modo simplificado três linhas de produção. Todas estas linhas consistem de seis etapas elementares em sequência: estampagem, primeira limpeza, rosqueamento, segunda limpeza, inspeção e embalagem. As características de cada uma destas linhas de produção bem como os tipos de porcas que passam por cada uma delas estão listados na Tabela 3.7.

**Tabela 3.6 – Código de letras para os tipos de porca da Heral.**

<b>Código</b>	<b>Significado</b>
H	Heral
S	sextavada
Q	quadrada
B	bócula
M	milímetro
T	torqueada
F	flange
S	solda
N	sem solda
DIV	diversa

**Tabela 3.7 – Características das linhas de produção e as porcas produzidas em cada uma delas.**

Linha	Características	Porcas
I	estampagem na estamparia National, sem necessidade de aplicação de torque após o rosqueamento	HDIV 391 HDIV 632 HDIV 634 HBMS 617 HQMN 687 HQMS 332 HQMS 434 HQMS 701 HSMF 588 HSMF 650 HSMF 714 HSMF 811 HSMN 115 HSMN 127 HSMS 272 HSMS 277 HSMS 426 HSMS 512 HSMS 580 HSMS 675 HSMS 903
II	estampagem na estamparia National, com a necessidade de aplicação de torque após o rosqueamento	HSTF 541 HSTF 725 HSTF 940
III	estampagem na estamparia REMP-KLP sem a necessidade de aplicação de torque após o rosqueamento <sup>5</sup>	HQMS 324 HQMS 330 HQMS 337 HQMS 638

### **3.2.12. Dados detalhados sobre os tipos de porca do escopo do trabalho**

A Tabela 3.8 mostra alguns dados de produção mais detalhados a respeito dos tipos de porca escolhidos como escopo do trabalho. As quantidades de peças por pacote e por lote são inversamente proporcionais à dimensão da porca, deste modo tais informações já englobam a dimensão da porca.

---

<sup>5</sup> Nenhuma das porcas do escopo inicial deste trabalho passa pelo torque após a estampagem no setor de estamparia REMP-KLP.

**Tabela 3.8 – Dados de produção detalhados sobre os tipos de porca do escopo do trabalho.**

<b>Tipo</b>	<b>Faixa de produção mensal</b>	<b>Peças por bobina</b>	<b>Peças por lote</b>	<b>Peças por pacote</b>	<b>Tempo de inspeção [min]</b>
HBMS 617	80.000 a 120.000	20.000	8.000	1.000	200
HSMF 588	80.000 a 100.000	70.000	8.000	1.000	230
HSMS 580	60.000 a 100.000	30.000	12.000	1.500	185
HSMS 903	100.000 a 120.000	100.000	30.000	5.000	230
HQMS 330	1.600.000 a 2.000.000	120.000	40.000	5.000	245
HQMS 337	1.000.000 a 1.300.000	100.000	20.000	2.500	140
HQMS 638	300.000 a 400.000	150.000	80.000	10.000	230

Os motivos para a escolha destas porcas serão apresentados no item 3.4.

### **3.3. Definição do objetivo**

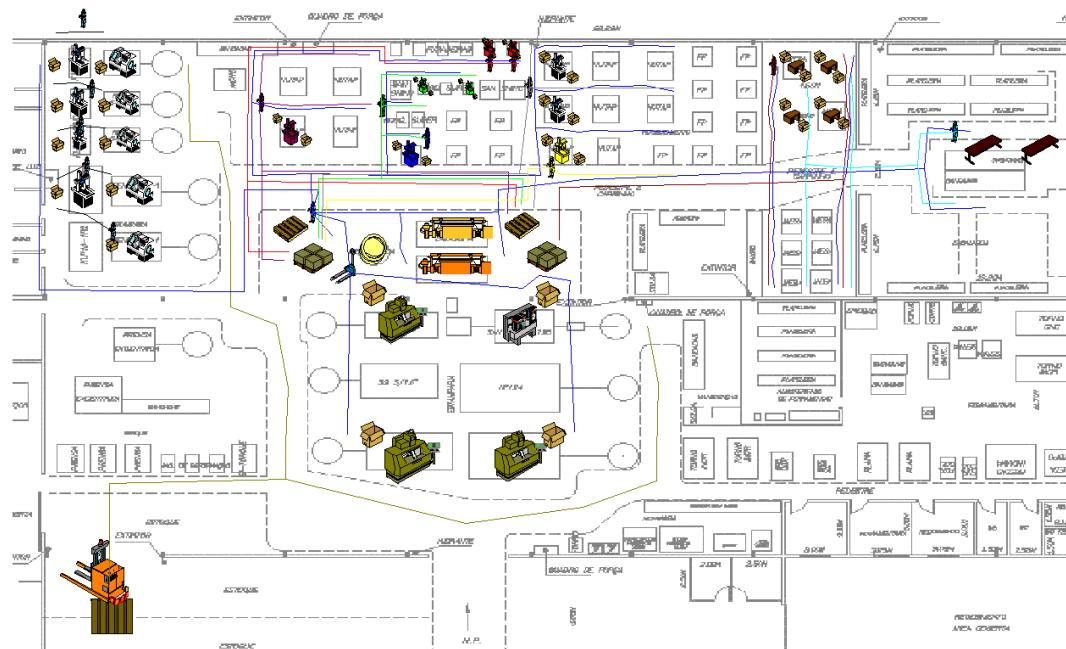
A partir das informações apresentadas no item anterior, foi elaborado um modelo baseado nos conceitos de SED; e os dados coletados são utilizados para validar o modelo por meio da comparação entre os resultados de simulações e estes dados coletados. Os objetivos desta primeira etapa do trabalho são detectar eventuais gargalos na produção e esclarecer como alguns fatores como tempos de *setup*, transporte de materiais e estoques influenciam nestes gargalos.

O sistema de manufatura em questão é bastante complexo, envolvendo dezenas de produtos sendo produzidos simultaneamente na fábrica e consequentemente diferentes fluxos de produção. Elaborar um modelo para reproduzir todas estas características seria uma tarefa extremamente árdua. Sendo assim, o escopo deste estudo foi reduzido para analisar a produção de alguns tipos de porcas que merecem destaque no portfólio da empresa.

### **3.4. Concepção do modelo**

Neste item é apresentado o processo de desenvolvimento do modelo do sistema de manufatura de produção de porcas da fábrica, bem como as aproximações adotadas para a sua concepção.

A Figura 3.12 ilustra a tela gráfica do modelo elaborado no software ProModel. O modelo foi elaborado tendo como plano de fundo uma planta em escala da fábrica, de modo que fosse possível trabalhar com dimensões reais de deslocamento pela fábrica.



**Figura 3.12 – Tela gráfica do modelo elaborado no ProModel.**

### 3.4.1. Aproximações adotadas

A primeira e mais importante aproximação para a elaboração do modelo é a restrição do seu escopo a partir da escolha de alguns tipos de porca para o estudo de seus processos. Esta escolha seguiu as seguintes premissas:

- Escolha de tipos de porcas de diferentes linhas de produção básicas (vide Tabela 3.7);
- Prioridade para os tipos com maiores volumes de produção;
- Escolha de um conjunto de tipos de porcas cujos processos produtivos abrangam maior número de máquinas possível;
- Desconsideração de porcas que passem por processamento em outras empresas<sup>6</sup> (por exemplo, porcas niqueladas).

---

<sup>6</sup> Algumas porcas podem passar por processamento em outras empresas devido à falta de máquinas específicas na Heral.

Considerando as premissas apresentadas acima, os tipos de porcas adotados como escopo para a elaboração do modelo estão listados na Tabela 3.9 a seguir juntamente com a descrição de seus fluxos de produção. Quanto à escolha, cabe uma observação importante: o setor de torque foi eliminado do escopo do projeto, pois os três tipos principais de porcas de torque produzidos pela fábrica passam por processo de niquelamento feito em outras empresas.

**Tabela 3.9 – Porcas adotadas como escopo para elaboração do modelo e seus fluxos de produção.**

Modelo	Estampagem	1a. Limpeza	Rosqueamento	2a. Limpeza	Inspeção	Embalagem
HBMS 617	Shyang 19B	mesa vibratória	SUPER	lavagem	sim	sim
HSMF 588	National 1/4"	mesa vibratória	manual	lavagem	sim	sim
HSMS 580	National 3/8"	mesa vibratória	NUTAP 16	lavagem	sim	sim
HSMS 903	National 84	mesa vibratória	NUTAP 08	lavagem	sim	sim
HQMS 330	KLP 6.2 ou 6.3	mesa vibratória	NUTAP 14	lavagem	sim	sim
HQMS 337	KLP 101	mesa vibratória	NUTAP 14	lavagem	sim	sim
HQMS 638	KLP 6.1	mesa vibratória	FP	lavagem	sim	sim

As estampadeiras National 5/16 e 124 não foram representadas no modelo, pois nenhum dos modelos de porcas adotados como escopo deste trabalho é processado nestas máquinas.

Somente foram representadas no modelo as rosqueadeiras NUTAP utilizadas para o rosqueamento das porcas adotadas como escopo deste trabalho, tendo sido escolhida uma do tipo 08 (a NUTAP 6), três do tipo 14 (duas NUTAP 7 e NUTAP 8) e uma do tipo 16 (NUTAP 11).

As rosqueadeiras San Shing não foram representadas no modelo, pois nenhum dos modelos de porcas adotados como escopo deste trabalho é processado nestas máquinas. Optou-se por representar apenas uma das cinco rosqueadeiras SUPER, pois dificilmente uma mesma porca é rosqueada em mais de uma rosqueadeira.

Como as rosqueadeiras FP são reguladas conforme o tipo de porca a ser rosqueada, foi representada apenas uma rosqueadeira deste tipo no modelo para atender ao rosqueamento da porca HQMS 638.

Foram representadas no modelo apenas três das nove bancadas de inspeção. Esta aproximação foi adotada com base no percentual simulado pelo modelo, calculado pela razão entre a média de produção das porcas escolhidas como escopo deste trabalho (soma das médias entre os valores mínimo e

máximo da Tabela 3.8) e a produção total da fábrica (aproximadamente 12 milhões de porcas). Fazendo os cálculos necessários, chegou-se no percentual simulado de 30%.

Os tempos de paradas foram utilizados como ferramenta para simular uma lógica de concorrência de lugares e recursos entre as sete porcas do escopo deste trabalho e as outras porcas não consideradas. Esta lógica de concorrência foi implementada nas estampadeiras, nas rosqueadeiras NUTAP 6 e 11 e nas máquinas do setor de limpeza.

No caso das estampadeiras, todas elas são usadas nos processos produtivos de outras porcas. A taxa de parada (TP) das estampadeiras, dado em porcentagem, pode ser calculada por:

$$TP = \frac{1}{8,8} \left( 8,8 - \frac{\bar{P}_m}{21 \cdot P_h \cdot A} \right) \quad (3.1)$$

Onde:

- $\bar{P}_m$ : produção mensal média da porca em questão<sup>7</sup> (média entre os valores mínimo e máximo da Tabela 3.8);
- $P_h$ : produção horária em pleno funcionamento da estampadeira em (Tabelas 3.1 e 3.2);
- A: aproveitamento da estampadeira em questão (Tabelas 3.1 e 3.2).

Calculando as taxas de parada das estampadeiras a partir da equação 3.1, chega-se aos resultados exibidos na Tabela 3.10.

Dentre todas as rosqueadeiras, somente as NUTAP 6 e 11 são responsáveis por processar mais de um tipo de porca, incluindo porcas que não estão no escopo deste trabalho; neste modo nelas foi inclusa a lógica de concorrência. A taxa de parada das rosqueadeiras NUTAP 6 e 11 foram definidos como 25% e 30%, respectivamente, de acordo com estimativa da empresa.

<sup>7</sup> Ao calcular o tempo de parada das estampadeiras a partir da produção de porcas e não da produção de peças estampadas isso implica a adoção da premissa de que a fábrica procura estampar peças para atender à demanda de porcas – ou seja, não produz peças estampadas além da produção de porcas.

**Tabela 3.10 – Taxas de parada das estampadeiras.**

<b>Máquina</b>	<b>Taxa de parada</b>
National 1/4"	88%
National 3/8"	86%
L. Shyang 19B	78%
National 84	88%
KLP 6.1	74%
KLP 6.2	20%
KLP 6.3	20%
KLP 101	0%

Por fim, as máquinas do setor de limpeza tiveram suas taxas de parada inicialmente configuradas em 70%, iguais ao complemento do percentual simulado do modelo, já que numa situação ideal todas as porcas produzidas na fábrica passariam por estas máquinas. Como há algumas porcas que, por motivos diversos, não passam pelo setor; este valor foi ajustado de modo a melhorar a representação do modelo em relação à fábrica. Por fim, a taxa de parada das máquinas do setor de limpeza foi reduzida para aproximadamente 60%.

Portanto, o tempo em que uma estampadeira, rosqueadeira ou máquina do setor de limpeza fica parada no modelo representa três situações:

- Parada da máquina para manutenção ou *setup* durante a fabricação de uma das sete porcas pertencentes ao escopo deste trabalho;
- Utilização da máquina para a fabricação de outras porcas que não pertencem ao escopo deste trabalho;
- Parada da máquina para manutenção ou *setup* durante a fabricação de outras porcas que não pertencem ao escopo deste trabalho.

Os tempos de parada em minutos foram ajustados de maneira que a taxa de parada coincidisse com o esperado pelos cálculos (no caso das estamparias), pela informação da empresa (no caso das rosqueadeiras) ou pelo percentual simulado do modelo (no caso das máquinas de limpeza).

A definição das paradas do setor de inspeção foi feita para simular paradas reais do setor para limpeza das bancadas e descanso dos operadores.

Com relação à chegada de matéria-prima, decidiu-se configurá-la de modo que o modelo “empurre” a produção para o mercado, ou seja, isto significa que a demanda por porcas não é usada como base para a compra de matéria-prima. Esta premissa é válida pois, nos últimos meses, a empresa efetuou uma grande compra de bobinas devido ao bom preço no mercado, acarretando num grande acúmulo de matéria-prima no depósito. Além disso, a capacidade do depósito de matéria-prima foi ampliada no modelo para poder comportar uma maior quantidade de bobinas sem causar falhas na chegada de matéria-prima.

### **3.4.2. Definições dos elementos de modelagem**

A metodologia utilizada para a elaboração do modelo é dirigida pelo próprio *software* utilizado para tal, o ProModel, por meio da definição de cada um dos elementos de modelagem. As definições destes elementos de modelagem serão apresentadas a seguir.

As Tabelas de 3.11 a 3.21 listam os lugares definidos para os setores de matéria-prima, estamparia National, estamparia REMP-KLP, rosqueadeira manual, rosqueadeiras NUTAP, rosqueadeira SUPER, rosqueadeira FP, limpeza, estoque, inspeção e embalagem (respectivamente); e seus respectivos atributos. O atributo “capacidade” se refere à quantidade de entidades que podem ser armazenadas no lugar. O atributo “paradas” define a ocorrência de paradas, por exemplo paradas por manutenção ou por *setup*. O atributo “lógica” determina a lógica de entrada e saída de entidades no lugar.

As capacidades das rosqueadeiras, das máquinas do setor de limpeza, das bancadas de inspeção e das bancadas de embalagem foram consideradas como sendo equivalentes à quantidade de lotes. A partir das informações sobre a quantidade de peças processadas por unidade de tempo, foi possível calcular o tempo de processamento de um lote.

**Tabela 3.11 – Definição do lugar do depósito de matéria-prima e seus atributos.**

Nome	Capacidade	Unidades	Paradas	Lógica
deposito_materia_prima	4.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo

**Tabela 3.12 – Definição dos lugares da estamparia National e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>8</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
buffer_National_1_4	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_National_3_8	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_Sh Yang_19B	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_National_84	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
National_1_4	1	1	7200 min a cada entrada	prioridade para o mais antigo
National_3_8	1	1	3700 min a cada entrada	prioridade para o mais antigo
National_84	1	1	9100 min a cada entrada	prioridade para o mais antigo
Sh Yang_19B	1	1	1800 min a cada entrada	prioridade para o mais antigo

**Tabela 3.13 – Definição dos lugares da estamparia REMP-KLP e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>9</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
buffer_int_6_1	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_int_6_2	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_int_6_3	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_int_101	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_int_102	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_saida_6_1	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_saida_6_2	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_saida_6_3	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
buffer_saida_101	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
KLP_6.1	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
KLP_6.2	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
KLP_6.3	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
KLP_101	200.000	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
REMP_6.1	1	1	3500 min a cada entrada	prioridade para o mais antigo
REMP_6.2	1	1	300 min a cada entrada	prioridade para o mais antigo
REMP_6.3	1	1	300 min a cada entrada	prioridade para o mais antigo
REMP_101	1	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
REMP_102	1	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo

<sup>8</sup> Capacidade em número de peças para os buffers e em número de bobinas para as estampadeiras.

<sup>9</sup> Capacidade em número de peças para os buffers e para as furadeiras KLP; e em número de lotes para as estampadeiras REMP.

**Tabela 3.14 – Definição dos lugares das rosqueadeiras manuais e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>10</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
Buffer_Ent_F_1	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Buffer_Sai_F_1	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
F_1	1	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo

A Tabela 3.15 trás a definição de duas rosqueadeiras NUTAP 7. Apesar de não existirem duas rosqueadeiras com esta denominação na fábrica, optou-se por definir duas unidades da mesma apenas para facilitar a correlação com a porca nela produzida (HQMS 330). Na fábrica, são usadas as rosqueadeiras NUTAP 4 e NUTAP 7 para produzir a porca HQMS 330.

**Tabela 3.15 – Definição dos lugares das rosqueadeiras NUTAP e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>11</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
Buffer_Ent_Nutap_06	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Buffer_Ent_Nutap_07	2	2	nenhuma	prioridade para o mais antigo; ir para o primeiro disponível <sup>12</sup>
Buffer_Ent_Nutap_08	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Buffer_Ent_Nutap_11	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Buffer_Sai_Nutap_06	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Buffer_Sai_Nutap_07	2	2	nenhuma	prioridade para o mais antigo; ir para o primeiro disponível
Buffer_Sai_Nutap_08	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Buffer_Sai_Nutap_11	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Nutap_6	1	1	700 min a cada entrada	prioridade para o mais antigo
Nutap_7	1	2	nenhuma	prioridade para o mais antigo; ir para o primeiro disponível
Nutap_8	1	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Nutap_11	1	1	500 min a cada parada	prioridade para o mais antigo

**Tabela 3.16 – Definição dos lugares das rosqueadeiras SUPER e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>11</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
Buffer_Ent_Super_01	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Buffer_Sai_Super_01	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Super_1	1	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo

<sup>10</sup> Capacidade em número de lotes.

<sup>11</sup> Capacidade em número de lotes.

<sup>12</sup> Esta lógica só é disponível em lugares com múltiplas unidades. Ela significa que as entidades procuram a primeira unidade do lugar disponível.

**Tabela 3.17 – Definição dos lugares da rosqueadeira FP e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>11</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
Buffer_Ent_FP_14	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
Buffer_Sai_FP_14	2	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo
FP_14	1	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo

**Tabela 3.18 – Definição dos lugares do setor de limpeza e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>11</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
Centrifuga	1	1	50 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO
Lavagem	1	1	50 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO
Mesa_Vibratoria	1	1	50 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO

**Tabela 3.19 – Definição dos lugares dos setores de estoque e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>13</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
entrada_estoque_blanks_furados	100	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo; FIFO
saida_estoque_blanks_furados	150	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo <sup>14</sup>
entrada_estoque_porcas	75	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo; FIFO
saida_estoque_porcas	75	1	nenhuma	prioridade para o mais antigo; FIFO

**Tabela 3.20 – Definição dos lugares do setor de inspeção e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>13</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
Inspecao	1	3	15 ± 5 min a cada parada <sup>15</sup>	prioridade para o mais antigo; FIFO; ir para o primeira disponível
Buffer_Ent_Inspecao	2	3	15 ± 5 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO; ir para o primeira disponível
Buffer_Sai_Inspecao	2	3	15 ± 5 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO; ir para o primeira disponível

<sup>13</sup> Capacidade em número de lotes.<sup>14</sup> A saída do estoque de *blanks* furados não tem a lógica de saída *first in, first out* (FIFO), pois isso pode não ser benéfico para o sistema em situações nas quais a rosqueadeira manual está bloqueada. Neste tipo de situação, todos os outros lotes ficariam parados na saída do estoque de *blanks* furados esperando a sua vez.<sup>15</sup> Segue uma distribuição normal.

**Tabela 3.21 – Definição do lugar do setor de embalagem e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>13</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
Pesagem_Embalagem	1	2	nenhuma	prioridade para o mais antigo; FIFO; ir para o primeira disponível

A Tabela 3.22 lista as entidades definidas e seus atributos. O atributo velocidade se refere à velocidade que a entidade se desloca. Como no caso deste modelo as entidades não se deslocam sozinhas, este atributo não se aplica neste trabalho.

**Tabela 3.22 – Definição das entidades e seus atributos.**

Nome	Velocidade
bobina	não se aplica
blank_estampado	não se aplica
lote_blank_estampado	não se aplica
blank_furado	não se aplica
blank_furado_330	não se aplica
lote_blank_furado_330	não se aplica
blank_furado_337	não se aplica
lote_blank_furado_337	não se aplica
blank_furado_580	não se aplica
lote_blank_furado_580	não se aplica
blank_furado_588	não se aplica
lote_blank_furado_588	não se aplica
blank_furado_617	não se aplica
lote_blank_furado_617	não se aplica
blank_furado_638	não se aplica
lote_blank_furado_638	não se aplica
blank_furado_903	não se aplica
lote_blank_furado_903	não se aplica
lote_porca_330	não se aplica
lote_porca_337	não se aplica
lote_porca_580	não se aplica
lote_porca_588	não se aplica
lote_porca_617	não se aplica
lote_porca_638	não se aplica
lote_porca_903	não se aplica

A Tabela 3.23 lista as redes de trabalho definidas e seus atributos. Existem dois tipos de redes de trabalho: a passante, que permite a ultrapassagem de entidades e recursos entre si; e a não-passante, que não permite a ultrapassagem de entidades e recursos entre si mesmo tendo elas diferentes velocidades. O atributo “base para movimentação” determina qual o critério utilizado para a movimentação na rede de trabalho (tempo ou

velocidade e distância). Dada a base de movimentação “velocidade e distância”, o software calcula os tempos de deslocamento a partir das velocidades configuradas nos recursos e das distâncias em escala.

**Tabela 3.23 – Definição das redes de trabalho e seus atributos.**

Nome	Tipo	Base para Movimentação
rede_6_1	passante	velocidade e distância
rede_6_2	passante	velocidade e distância
rede_6_3	passante	velocidade e distância
rede_101	passante	velocidade e distância
rede_102	passante	velocidade e distância
rede_distribuicao	passante	velocidade e distância
rede_inspecao	passante	velocidade e distância
rede_limpeza	passante	velocidade e distância
rede_manual	passante	velocidade e distância
rede_nutap_1e2_4e5_7e8	passante	velocidade e distância
rede_nutap_3e6	passante	velocidade e distância
rede_nutap_9a12	passante	velocidade e distância
rede_pesagem	passante	velocidade e distância
rede_super	passante	velocidade e distância

A Tabela 3.24 lista os recursos definidos e seus atributos. O atributo “rede de trabalho” indica a rede pela qual o recurso pode circular.

**Tabela 3.24 – Definição dos recursos e seus atributos.**

Nome	Unidades	Paradas	Rede de trabalho	Velocidade em serviço [m/min]	Velocidade em vazio [m/min]
carregador_de_pallets	3	nenhuma	rede_limpeza	35	70
embalador	2	nenhuma	rede_pesagem	35	70
empilhadeira	2	nenhuma	rede_distribuicao	80	160
inspetor	3	nenhuma	rede_inspecao	35	70
operador_6_1	1	nenhuma	rede_6_1	35	70
operador_6_2	1	nenhuma	rede_6_2	35	70
operador_6_3	1	nenhuma	rede_6_3	35	70
operador_101	1	nenhuma	rede_101	35	70
operador_102	1	nenhuma	rede_102	35	70
operador_limpeza	2	nenhuma	rede_limpeza	35	70
operador_Manual_F_1	1	nenhuma	rede_manual	35	70
operador_Manual_F_2	1	nenhuma	rede_manual	35	70
operador_Nutap_1e2_4e5_7e8	1	nenhuma	rede_nutap_1e2_4e5_7e8	35	70
operador_Nutap_3e6	1	nenhuma	rede_nutap_6e3	35	70
operador_Nutap_9a12	1	nenhuma	rede_nutap_9a12	35	70
operador_Super	1	nenhuma	rede_super	35	70
operador_FP_14	1	nenhuma	rede_super	35	70

A Tabela 3.25 mostra a definição da chegada de matéria-prima no sistema.

**Tabela 3.25 – Definição da chegada e seus atributos.**

Nome	Locations	Quantidade por vez	Ocorrências	Período [min]
bobina	deposito_materia_prima	2000	infinitas	10

O Anexo A traz os descritivos dos processos de fabricação de cada tipo de porca.

### **3.5. Verificação do modelo**

O objetivo da verificação é analisar qualitativamente se o modelo elaborado no ProModel traduz adequadamente o modelo idealizado para o sistema de manufatura da fábrica em questão.

Durante a elaboração do modelo, foram adotadas duas técnicas de verificação. A primeira delas foi realizar simulações passo a passo do sistema – ou seja: elaborou-se um modelo da chegada de matéria-prima até as estampadeiras e verificou-se se houve a chegada de bobinas nas máquinas, depois um novo modelo da chegada de matéria-prima até os *buffers* das estampadeiras e verificou-se a chegada de peças estampadas, e assim por diante até a saída do sistema como um todo. A segunda técnica foi a simulação da produção de cada uma das sete porcas separadamente, a fim de detectar eventuais erros mais facilmente.

Empregando as técnicas citadas acima e não tendo nenhum erro ou *warning* acusado pelo ProModel, o modelo em si pode ser considerado como verificado.

### **3.6. Validação**

A validação tem como objetivo confrontar o modelo elaborado com dados do sistema de manufatura real. Portanto, o objetivo final é comparar os resultados de simulações do modelo com os dados descritos no item 3.2.

Antes de apresentar os resultados de validação do modelo, é apresentado o método utilizado para a calibração do modelo. Este procedimento foi necessário para reproduzir em software uma realidade em que os sete tipos de porcas escolhidos como escopo do trabalho estivessem sendo produzidas no sistema.

### 3.6.1. Calibração do modelo

Para que o modelo atendesse às faixas de produção de cada uma das porcas listadas na Tabela 3.8, foi necessário realizar alguns ajustes a partir dos dados de produtividade em pleno funcionamento das estampadeiras (vide Tabelas 3.1 e 3.2). Tal manipulação é válida desde que dentro da faixa de variação de 15% originada das condições de operação. A Tabela 3.26 mostra os valores reais obtidos na fábrica, os valores adotados no modelo e os respectivos erros. Estes valores adotados no modelo foram os utilizados para o cálculo da taxa de parada (Equação 3.1).

**Tabela 3.26 – Produtividades das estampadeiras adotadas no modelo.**

Máquina	Produtividade real [peças/hora]	Produtividade no modelo [peças/hora]	Erro
National 1/4"	5800	5600	3,4%
National 3/8"	3964	3736	5,8%
L. Shyang 19B	3060	3200	4,6%
National 84	6232	5882	5,6%
KLP 6.1	10000	10714	7,1%
KLP 6.2	10000	9231	9,2%
KLP 6.3	10000	9231	9,2%
KLP 101	8000	7895	1,3%

As informações acima demonstram que os ajustes nestes dados foram válidos, pois todos têm erro dentro da variação de 15% prevista.

### 3.6.2. Comparação de resultados

Considerando os ajustes citados no subitem acima, os resultados da simulação do modelo seguem apresentados na Tabela 3.27. Tais resultados foram obtidos por meio da simulação da fábrica operando durante 1110 horas e com um tempo de preparação de 185 horas<sup>16</sup>.

A Figura 3.13 trás os gráficos de *status* das estampadeiras, das rosqueadeiras e das máquinas de limpeza; máquinas nas quais foi implementada a lógica de concorrência. Pode-se observar que as taxas de parada (*down*) coincidiram com os valores calculados para as estampadeiras

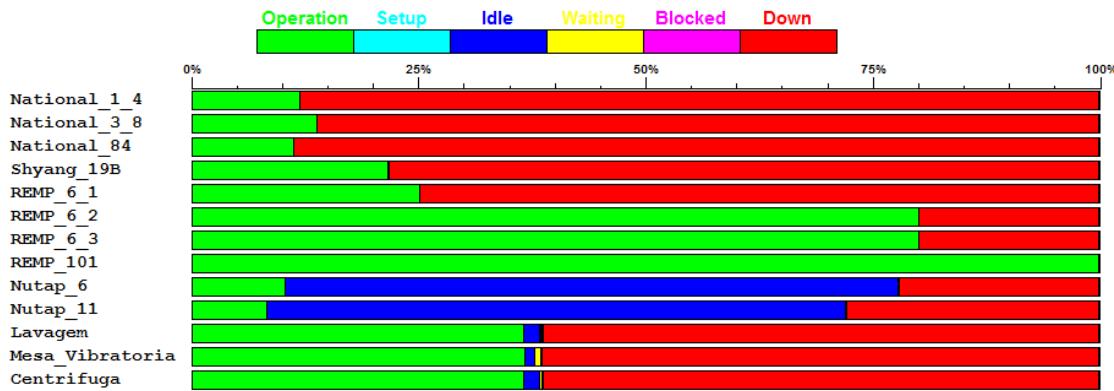
---

<sup>16</sup> Mais detalhes sobre estas definições de tempo de simulação no item 3.7.

(Tabela 3.10), com as estimativas da fábrica para as rosqueadeiras e com o percentual simulado para as máquinas de limpeza.

**Tabela 3.27 – Comparação dos resultados da simulação com os dados reais.**

<b>Tipo</b>	<b>Faixa de produção mensal real</b>	<b>Produção mensal no modelo</b>
HBMS 617	80.000 a 120.000	93.333
HSMF 588	80.000 a 100.000	88.000
HSMS 580	60.000 a 100.000	74.000
HSMS 903	100.000 a 120.000	100.000
HQMS 330	1.600.000 a 3.200.000	1.713.333
HQMS 337	1.000.000 a 1.300.000	1.130.000
HQMS 638	300.000 a 400.000	360.000



**Figura 3.13 – Gráficos de status das estampadeiras, das rosqueadeiras NUTAP 6 e 11 e das máquinas do setor de limpeza.**

Com os resultados apresentados, o modelo pode ser considerado validado. No próximo item é apresentada a análise do modelo.

### **3.7. Projeto dos experimentos de simulação**

Para determinar como realizar os experimentos de simulação, foi necessário determinar o tempo necessário para a simulação e o eventual tempo de preparação. O tempo de preparação é o tempo inicial no qual a simulação é executada, mas cujos resultados não são computados nos resultados finais. Tal artifício é usado para eliminar o comportamento transiente do sistema no início de operação, o que não interessa para a análise. Assim,

os resultados obtidos se referem apenas aos resultados do tempo de operação e o sistema é analisado em seu regime permanente.

Para determinar os tempos de operação e de preparação, foram realizadas simulações variando estes tempos. Os resultados destas simulações estão na Tabela 3.28 a seguir. Observa-se que a ausência do tempo de preparação prejudica a produção principalmente das porcas com maiores volumes de produção (HQMS 330 e 337). Com a adição de um mês de tempo de preparação, os valores de produção passam a ter uma menor variação.

**Tabela 3.28 – Resultados dos testes para determinação dos tempos de operação e preparação.**

Tempo de preparação [meses]	Tempo de operação [meses]	Produção de porcas mensal [lotes]						
		617	588	580	903	330	337	638
0	1	10,0	8,0	5,0	3,0	33,0	45,0	3,0
0	2	11,0	9,5	6,0	3,0	38,0	51,0	3,5
0	3	11,3	10,0	6,0	3,3	39,3	53,0	4,0
1	1	12,0	11,0	7,0	3,0	43,0	57,0	4,0
1	2	12,0	11,0	6,5	3,5	42,5	57,0	4,5
1	3	11,7	11,0	6,7	3,3	42,7	56,7	4,3
1	4	11,8	11,3	6,5	3,3	42,8	56,3	4,3
1	5	11,8	11,2	6,4	3,4	43,0	56,2	4,2
1	6	11,7	11,0	6,2	3,3	42,8	56,5	4,5

Portanto, todos os experimentos de simulação realizados tiveram a seguinte configuração:

- 185 horas (um mês<sup>17</sup>) de preparação;
- 1110 horas (seis meses) de operação.

### **3.8. Análise do modelo**

Após a validação e verificação do modelo, a próxima etapa do trabalho é analisar o que efetivamente está ocorrendo no chão de fábrica, não apenas observando o modelo, mas também cruzando os resultados de simulações com informações obtidas em visitas feitas à fábrica e com informações fornecidas por funcionários da fábrica.

---

<sup>17</sup> Um mês equivale a 21 dias úteis. Um dia útil equivale a 8,8 horas.

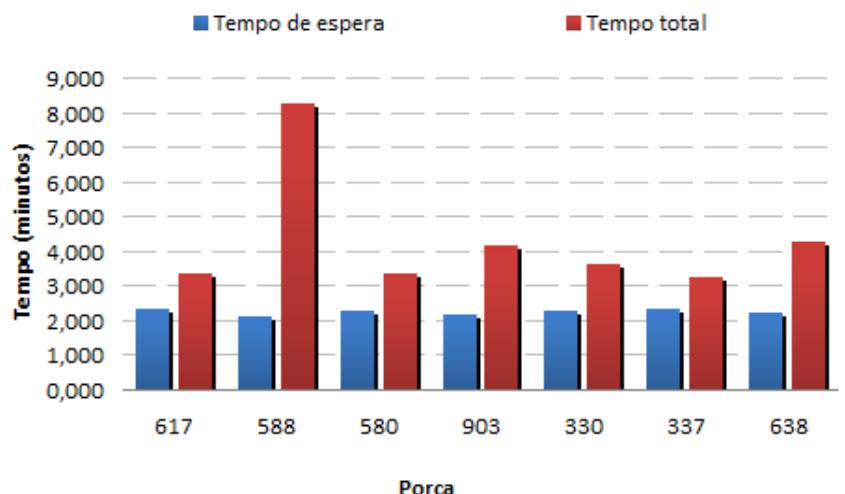
O primeiro resultado que merece destaque foi a baixa taxa de utilização das empilhadeiras (0,34%), o que pode ser resultante da premissa adotada com relação à disponibilidade de matéria-prima no modelo. Deste modo, é perfeitamente possível a utilização de apenas uma empilhadeira, o que logo foi implementado no modelo para as análises a seguir.

Ao longo das visitas na Heral e com o conhecimento tomado sobre o processo, acreditava-se que o setor de inspeção seria o gargalo do sistema. Isto não é incorreto considerando alguns eventos como necessidade de reinspeção por problemas em lote, reinspeção dupla com 100% de qualidade (o que leva cerca de seis vezes mais tempo para realizar) e até suspeitas de sabotagem. Apesar de se tratar de um gargalo, este setor não consiste num limitador de produção, pois quando necessário são tomadas medidas excepcionais como aumento de turno ou envio para inspeção externa. Optou-se por não modelar tais excepcionalidades da inspeção tanto para facilitar a análise quanto por ser praticamente o último processo da linha.

Desconsiderando o setor de inspeção como candidato a gargalo do sistema, partiu-se para o setor de limpeza. Observou-se que existe um grande acúmulo de lotes de peças no setor de estoque:

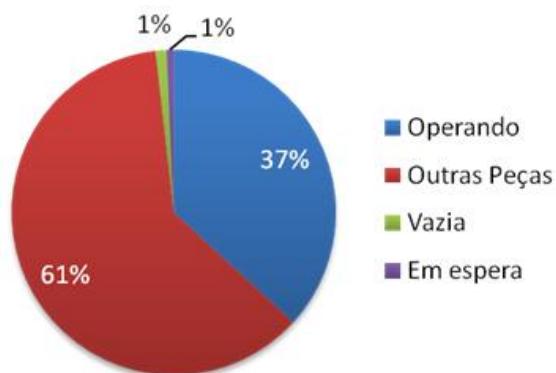
- 51 lotes de peças acumulados na entrada do estoque de *blanks* furados, que é o local de armazenamento de peças antes de elas passarem pela mesa vibratória;
- 11 lotes de peças aguardando na saída do estoque de *blanks* furados para serem rosqueadas;
- 11 lotes de peças aguardando na entrada do estoque de porcas prontas para serem lavadas.

Pôde-se observar também a existência do gargalo observando o tempo de permanência de entidades no sistema à espera de algum recurso. Conforme o gráfico mostrado na Figura 3.14, é possível visualizar que quase todas as porcas passam mais de metade do tempo esperando ser processada.



**Figura 3.14 – Tempos de espera em comparação com os tempos totais no sistema.**

Dado o problema de acúmulo de peças antes da mesa vibratória, é importante verificar o estado de utilização desta máquina, ilustrado pela Figura 3.15. A maior parte do tempo de utilização consiste na parada que simula a utilização da máquina por outras porcas que não foram consideradas no escopo do trabalho. Em apenas 2% do tempo a máquina não está em operação devido ao fato de os operadores terem que buscar lotes de peças em todas as estamparias para serem processados, o que não significa que a máquina não esteja trabalhando em sua plenitude. Para comprovar tal fato, foi realizado um teste dobrando a produtividade das estampadeiras a fim de sobrecarregar a mesa vibratória, tendo como resultado a lotação da entrada do estoque de *blanks* furados e a não modificação do estado de utilização da mesa vibratória. Portanto, chega-se à conclusão de que a mesa vibratória é o gargalo do sistema produtivo.



**Figura 3.15 – Estado de utilização da mesa vibratória.**

Existem diversos meios de buscar eliminar esse gargalo, mas mudanças no processo para melhorar sua eficiência ou aumentar a capacidade dos equipamentos exigem uma análise detalhada do processo e das máquinas, atividades que estão fora do escopo desse trabalho. Uma alternativa para resolver este gargalo é o acréscimo de uma nova mesa vibratória idêntica à utilizada atualmente. Esta alternativa também é interessante do ponto de vista de reduzir a dependência da fábrica em relação a uma única máquina deste tipo, cuja quebra pode causar transtornos caso não haja uma máquina reserva.

## 4. Propostas de Melhorias

Nesta segunda etapa do trabalho, o objetivo é propor melhorias no sistema de manufatura estudado. Estas melhorias serão implementadas passo a passo, eliminando o gargalo existente e analisando o novo gargalo que surge. Neste capítulo são também especificadas as modificações realizadas nos elementos de modelagem.

A primeira proposta de melhoria se concentra em eliminar o ponto de gargalo detectado na mesa vibratória. Como já foi comentado no item 3.7, as propostas de melhoria não vão se ater a modificações nas capacidades das máquinas e em melhorias no processo (redução de tempos de *setup* e manutenção, por exemplo), pois tais modificações exigem análises mais complexas que fogem do escopo deste trabalho. As propostas seguintes terão como objetivo mover o ponto de gargalo gerado pela proposta anterior, até chegar num cenário onde o limitante da produção seja a própria quantidade de porcas estampadas.

### 4.1. Adição de uma segunda mesa vibratória

Conforme apresentado no item 3.7, a primeira proposta de melhoria é a adição de uma nova mesa vibratória no setor de limpeza. Além da expectativa de retirar o gargalo gerado por esta máquina, outra vantagem desta proposta é a redução da dependência do sistema em relação à única máquina do tipo. Uma alternativa para a compra de uma segunda máquina pode ser a adoção de um turno extra para a operação de retirada de cavaco, o que tem um custo inferior porém mantém a dependência da fábrica em relação à única mesa vibratória.

A Tabela 4.1 trás a nova definição dos lugares do setor de limpeza para esta nova proposta, com destaque para a definição da segunda mesa vibratória. A Tabela 4.2 trás as novas definições dos recursos, com destaque para a eliminação de uma das empilhadeiras conforme discutido no item 3.8.

**Tabela 4.1 – Nova definição dos lugares do setor de limpeza e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>18</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
Centrifuga	1	1	50 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO
Lavagem	1	1	50 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO
Mesa_Vibratoria	1	2	50 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO

**Tabela 4.2 – Nova definição dos recursos e seus atributos.**

Nome	Unidades	Paradas	Rede de trabalho	Velocidade em serviço [m/min]	Velocidade em vazio [m/min]
carregador_de_pallets	3	nenhuma	rede_limpeza	35	70
embalador	2	nenhuma	rede_pesagem	35	70
empilhadeira	1	nenhuma	rede_distribuicao	80	160
inspetor	3	nenhuma	rede_inspeciao	35	70
operador_6_1	1	nenhuma	rede_6_1	35	70
operador_6_2	1	nenhuma	rede_6_2	35	70
operador_6_3	1	nenhuma	rede_6_3	35	70
operador_101	1	nenhuma	rede_101	35	70
operador_102	1	nenhuma	rede_102	35	70
operador_limpeza	2	nenhuma	rede_limpeza	35	70
operador_Manual_F_1	1	nenhuma	rede_manual	35	70
operador_Manual_F_2	1	nenhuma	rede_manual	35	70
operador_Nutap_1e2_4e5_7e8	1	nenhuma	rede_nutap_1e2_4e5_7e8	35	70
operador_Nutap_3e6	1	nenhuma	rede_nutap_6e3	35	70
operador_Nutap_9a12	1	nenhuma	rede_nutap_9a12	35	70
operador_Super	1	nenhuma	rede_super	35	70
operador_FP_14	1	nenhuma	rede_super	35	70

O acréscimo da segunda mesa vibratória levou a um pequeno aumento na produção de porcas, como mostra a Tabela 4.3. Este aumento discreto se deve à presença do gargalo agora em outro local da fábrica.

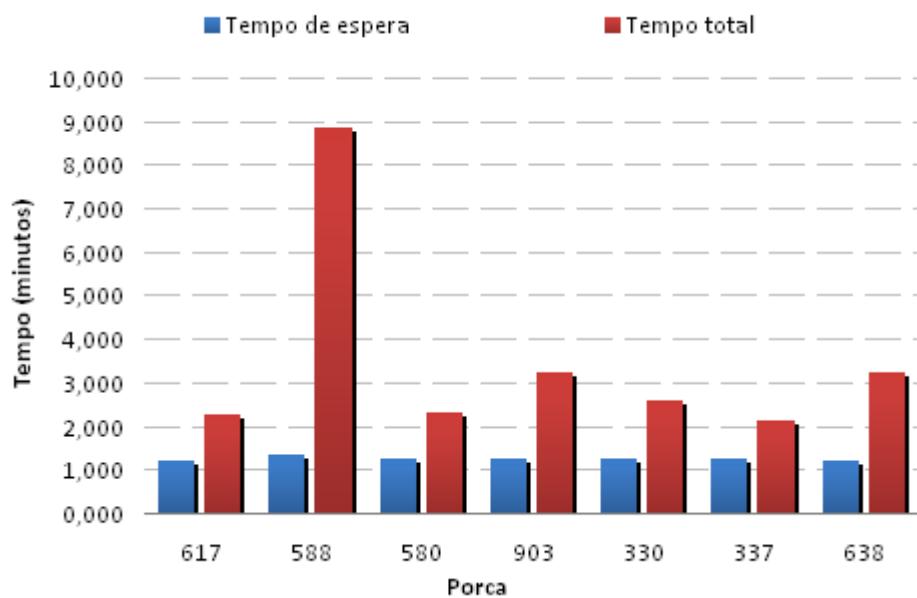
A princípio não era esperada uma queda de produção como ocorreu para a porca HSMF 588. Entretanto, este comportamento é justificado pelo fato de mais peças estampadas chegarem na saída do estoque de *blanks* furados e, no caso da porca 588, tais peças ficam bloqueadas pelo gargalo criado pela rosqueadeira manual responsável pelo seu rosqueamento. Voltando aos resultados da simulação do modelo da fábrica atual, a rosqueadeira manual já possuia uma taxa de operação de 99%, o que denuncia que para o caso específico da HSMF 588 o rosqueamento também limita sua produção total.

<sup>18</sup> Capacidade em número de lotes.

**Tabela 4.3 – Comparação dos resultados da simulação com os dados reais.**

<b>Tipo</b>	<b>Produção mensal no modelo inicial</b>	<b>Produção mensal com a melhoria</b>	<b>Ganho</b>
HBMS 617	93.333	94.667	+ 1,4%
HSMF 588	88.000	85.333	- 3,0%
HSMS 580	74.000	74.000	0%
HSMS 903	100.000	110.000	10%
HQMS 330	1.713.333	1.720.000	+ 0,4%
HQMS 337	1.130.000	1.136.667	+ 0,6%
HQMS 638	360.000	360.000	0%
<b>TOTAL</b>	<b>3.558.666</b>	<b>3.580.667</b>	<b>+ 0,6%</b>

Apesar de a instalação de uma nova mesa vibratória não aumentar significativamente a produção da fábrica, ela reduz o tempo de permanência médio das peças no sistema de 20% a 30%, como mostra o gráfico da Figura 4.1.

**Figura 4.1 – Tempos de espera em comparação com os tempos totais no sistema com a segunda mesa vibratória.**

Outros resultados interessantes obtidos com a adição da segunda mesa vibratória foram:

- Redução do tempo de utilização por máquina de 37% para 19%;
- Redução do acúmulo máximo de lotes de peças estampadas na entrada do estoque de *blanks* furados de 51 para 14, o que representa uma melhoria na utilização do espaço físico deste setor;

- Acúmulo máximo de 14 lotes de peças estampadas aguardando pelo rosqueamento na saída do estoque de *blanks* furados;
- Aumento do acúmulo máximo de lotes aguardando pela lavagem e centrifugação na entrada do estoque de porcas prontas de 10 para 30, o que representa uma piora na utilização do espaço físico deste setor.

Dentre todas as rosqueadeiras, apenas a manual apresenta taxa de operação de praticamente 100%, o que explica parcialmente o acúmulo de lotes de peças para a porca HSMF 588 na saída do estoque de *blanks* furados. Entretanto, outras peças também se acumulam neste setor, mas não devido às respectivas rosqueadeiras estarem em seus limites de produção, e sim por terem uma velocidade de processamento inferior à velocidade de chegada de peças. Esta distinção entre a rosqueadeira manual e as demais indica a necessidade de tratar este eventual gargalo de maneiras distintas. No entanto o rosqueamento não é o gargalo principal da produção, pois mesmo que fosse possível ter rosqueamento quase que instantâneo a produção ainda estaria igualmente limitada pela lavagem e centrifugação das porcas.

#### **4.2. Adição de uma segunda centrífuga e de uma segunda máquina de lavagem**

A segunda proposta de melhoria, analogamente à primeira, consiste na adição de uma centrífuga e de uma máquina de lavagem. As vantagens desta propostas são as mesmas da proposta anterior: aumentar o fluxo produtivo pelo setor de limpeza e reduzir a dependência da fábrica em relação às únicas máquinas de limpeza e de centrífuga atualmente instaladas. Uma alternativa para a compra destas máquinas também pode ser a adoção de turno extra, o que tem um custo inferior porém mantém a dependência da fábrica em relação a tais máquinas.

Pode-se comprovar que a lavagem e centrifugação limitam a produção da fábrica por alguns meios. Sabe-se que ambas demoram o mesmo tempo

para processar um lote de porcas e vêm diretamente uma em seguida da outra na linha de produção. Pode-se tratá-las como se fossem uma única máquina para efeitos de tratamento do gargalo, pois qualquer melhoria na lavagem será automaticamente limitada pela centrifugação e qualquer melhoria somente na centrifugação não será notada pois estaria sendo limitado pela lavagem.

A Tabela 4.4 trás a nova definição dos lugares do setor de limpeza para esta nova proposta, com destaque para a definição da segunda máquina de lavagem e da segunda centrífuga. Vale ressaltar que as alterações feitas no item 4.1 permanecem nesta proposta de melhoria.

**Tabela 4.4 – Nova definição dos lugares do setor de limpeza e seus atributos.**

Nome	Capacidade <sup>19</sup>	Unidades	Paradas	Lógica
Centrifuga	1	2	50 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO
Lavagem	1	2	50 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO
Mesa_Vibratoria	1	2	50 min a cada parada	prioridade para o mais antigo; FIFO

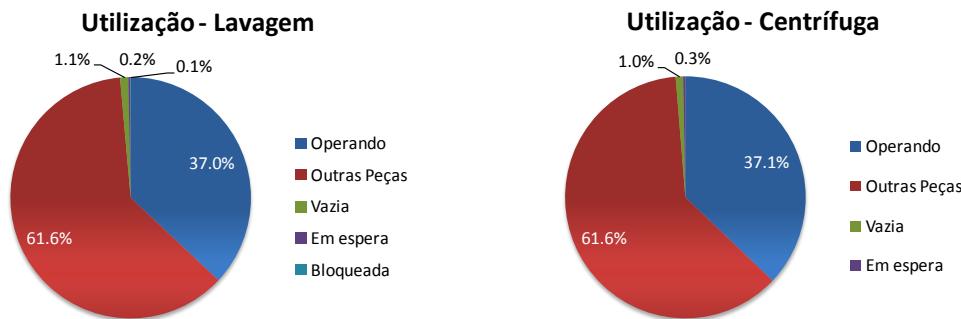
Analogamente à mesa vibratória, conforme mostrando na Figura 4.2, para a máquina de lavagem e centrífuga o tempo em vazio e em espera representam apenas o tempo equivalente do operador levar o lote processado e buscar um lote novo, e não o fato de que a máquina esteja sem demanda. Também se pode observar, conforme comentado no item 4.1, há um acúmulo de lotes de porcas na entrada do estoque de porcas prontas (imediatamente anterior à lavagem e centrifugação) três vezes maior que na configuração original da fábrica.

Existem alguns meios de tratar esse gargalo, mas como propor melhorias no processo para diminuir o tempo individual de lavagem e centrifugação ou aumentar suas capacidades está fora do escopo deste trabalho, será considerada a solução de acrescentar uma nova máquina de lavagem e uma nova centrífuga. Considera-se essa solução por existir espaço físico suficiente para essas novas máquinas, especialmente ao se considerar que com duas máquinas será necessário utilizar muito menos espaço para

---

<sup>19</sup> Capacidade em número de lotes.

estocar peças aguardando essa etapa do processo. A solução escolhida, apesar de talvez mais custosa, pode eliminar a total dependência da produção em apenas um equipamento, conforme também ocorria com a mesa vibratória.



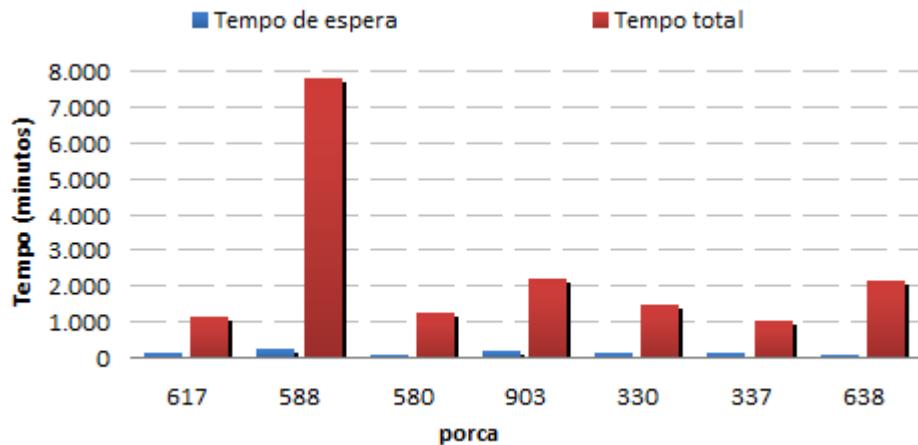
**Figura 4.2 – Estado de utilização da máquina de lavagem e da centrífuga.**

Após o acréscimo de uma segunda máquina de lavagem e uma segunda centrífuga pôde-se observar no modelo que a produção total da fábrica aumentou para algumas porcas em relação aos resultados apresentados no item 4.1, conforme mostra a Tabela 4.5, mas em termos gerais isso não foi um aumento significativo da produção. Considerando o aumento de produção em relação ao modelo inicial da fábrica, destaca-se apenas o aumento de 15% na produção da porca HSMS 903.

**Tabela 4.5 – Comparação dos resultados da adição de uma máquina de lavagem e de uma centrífuga extras com os resultados da proposta anterior.**

Tipo	Produção mensal com a melhoria 1	Produção mensal com a melhoria 2	Ganho
HBMS 617	94.667	94.667	0%
HSMF 588	85.333	88.000	+3,1%
HSMS 580	74.000	76.000	+2,7%
HSMS 903	110.000	115.000	+5%
HQMS 330	1.720.000	1.786.666	+3,9%
HQMS 337	1.136.667	1.166.666	+2,6%
HQMS 638	360.000	360.000	0%
<b>TOTAL</b>	<b>3.580.667</b>	<b>3.687.000</b>	<b>+3,0%</b>

A Figura 4.3 mostra que o tempo de espera por recursos caiu a patamares significativamente menores do que os inicialmente observados, e representam um percentual bastante pequeno do tempo total que a peça permanece no sistema, conforme pode ser visto no gráfico abaixo.



**Figura 4.3 – Tempos de espera em comparação com os tempos totais no sistema com a segunda máquina de lavagem e centrífuga.**

Outros resultados interessantes obtidos com a adição da segunda máquina de lavagem e da segunda centrífuga foram:

- Redução do tempo de utilização por máquina de 37% para 19%;
- Diminuição do acúmulo máximo de lotes aguardando pela lavagem e centrifugação na entrada do estoque de porcas prontas de 30 para 4, o que representa uma melhora na utilização do espaço físico deste setor.
- Acúmulo de no máximo 2 lotes na saída do estoque de porcas prontas, número bastante inferior à capacidade deste estoque (75).

Pode-se agora analisar novamente o sistema como um todo e verificar se existe algum outro gargalo limitando a produção ou se o limitante tem se tornado as próprias estampadeiras que não estão produzindo peças suficientes para utilizar a totalidade dos equipamentos agora presentes. A nova análise do sistema mostra que a rosqueadeira manual é o único equipamento que está trabalhando 100% do tempo e com um acúmulo significativo de peças em sua entrada.

#### **4.3. Redução no tempo de rosqueamento manual**

Esta proposta de melhoria tem como objetivo melhorar o desempenho do rosqueamento manual e, consequentemente, aumentar a produção da

porca HSMF 588. Por se tratar de um processo manual, supõe-se que poderia se conseguir uma melhoria de desempenho de cerca de 20% apenas investindo no operador, fazendo com esta máquina deixe de ser o gargalo da produção da porca HSMF 588. Vale ressaltar que as alterações feitas no item 4.2 permanecem nesta proposta de melhoria.

O ajuste a ser feito no modelo é a redução do tempo de rosqueamento de um lote para 800 minutos (vide passo 71 da Tabela A.2). Os resultados desta melhoria em comparação com os resultados da melhoria proposta no item 4.2 estão na Tabela 4.6.

**Tabela 4.6 – Comparaçao dos resultados da redução do tempo de rosqueamento manual com os resultados da proposta anterior.**

<b>Tipo</b>	<b>Produção mensal com a melhoria 2</b>	<b>Produção mensal com a melhoria 3</b>	<b>Ganho</b>
HBMS 617	94.667	94.667	0%
HSMF 588	88.000	94.667	+7,6%
HSMS 580	76.000	76.000	0%
HSMS 903	115.000	115.000	0%
HQMS 330	1.786.666	1.786.666	0%
HQMS 337	1.166.666	1.166.666	0%
HQMS 638	360.000	360.000	0%
<b>TOTAL</b>	<b>3.687.000</b>	<b>3.687.000</b>	<b>0,2%</b>

Analizando cada equipamento da fábrica vê-se agora que nenhum está em operação 100% do tempo, e, portanto pode-se concluir que o limitante da produção total da fábrica passou a ser as estampadeiras, que não estão introduzindo na fábrica quantidade de peças suficiente para utilizar a totalidade dos equipamentos disponíveis. A partir deste ponto é possível reorganizar a produção para permitir que as peças fiquem menos tempo aguardando recursos, bloqueadas ou em movimento; mas a produção total está limitada pelo numero de peças estampadas e para proporcionar uma maior produção de lotes de porcas é preciso aumentar o volume de peças estampadas.

Por fim, observa-se também que o setor de inspeção tem se tornado mais requisitado e está a cerca de 5% de seu limite de capacidade. Isso indica que assim que houver um aumento da produção nas estampadeiras, o setor de inspeção muito provavelmente será o gargalo da fábrica e precisará ser tratado.

## 5. Conclusões

### 5.1. Conclusões gerais

Apesar do escopo limitado deste trabalho, a elaboração do mesmo permitiu uma análise bastante completa e detalhada do funcionamento de uma fábrica de médio porte. Uma vez que a fábrica inteira está interligada pôde-se, através da análise da produção, obter uma visão dos principais desafios existentes na fábrica como um todo e de como estes são tratados na prática.

Inicialmente pôde ser visto que a boa gestão de uma fábrica é totalmente dependente de um bom sistema de levantamento e armazenamento de informações. É preciso ter em mente que para ter sucesso num mercado de extrema competitividade é preciso que a produção funcione em perfeita harmonia com os setores de vendas e compras. Esta harmonia só é possível se houver informações confiáveis e atualizadas, que são constantemente consolidadas para facilitar análises e visualizações. É impossível gerenciar a produção sem saber o que foi vendido ou vender sem se saber o que se é capaz de produzir. Por ser o setor de maior complexidade, é preciso dar atenção especial à produção, para que essa possa ser claramente monitorada e esteja em constante contato com a gestão.

Outro ponto importante é a necessidade de se institucionalizar processos, métodos e decisões. É preciso que uma empresa tenha procedimentos característicos e bem definidos, de forma que a entrada e saída de profissionais não afete as características essenciais da fábrica. Empresas institucionalizadas também transmitem maior confiança para clientes, mostrando serem menos dependentes de algumas pessoas chaves.

Pode-se observar que a organização de uma linha de produção é de extrema complexidade e envolve uma enormidade de fatores. O monitoramento e controle de gargalos é de grande importância uma vez que limita a produção total da fábrica e impede que melhorias em outros setores refletem em um aumento da produção.

Justamente por se tratar de algo complexo e quase sempre não linear, a utilização de softwares capazes de simular linhas de produção com elevado

grau de realidade tem se tornado mais e mais comum. Foi possível através deste trabalho comprovar a capacidade de um modelo em software representar de forma realista um linha de produção e permitir que esta seja testada e manipulada de forma rápida e com relativa facilidade.

## **5.2. Conclusões Específicas Heral**

No caso específico da fábrica em estudo, a Heral, é possível acrescentar algumas conclusões e recomendações observadas ao longo da elaboração deste trabalho.

No inicio do trabalho, as primeiras análises levaram à idéia de que o setor de torque deveria ser trocado de lugar com o setor de estampagem REMP-KLP. Após a conclusão do modelo e estudo dos processos e tempos pode-se concluir que o benefício direto na produção desta realocação não seria significativo devido à pouca influência do tempo de transporte de materiais no processo. No entanto acredita-se que esta mudança de layout proporcionaria uma melhor organização e distribuição das máquinas na fábrica, tendo o potencial de evitar acidentes e confusões no transporte de peças e bobinas.

Conforme exposto anteriormente, o levantamento feito na fábrica por meio de observações e conversas com os responsáveis indicou que o principal gargalo da produção seria o setor de inspeção. No entanto, no modelo proposto com os tempos de inspeção médios adquiridos na fábrica não houve um gargalo na inspeção. Após diversas verificações e a comprovação de que os tempos de inspeção adotados estavam corretos foi possível concluir que o problema da inspeção estava em efeitos excepcionais, ou seja, a necessidade de reinspeção de lotes ou da chamada inspeção dupla com 100% de qualidade. Pode-se concluir que com um controle correto da produção, do estoque e do transporte para evitar sabotagens e misturadas accidentais de lotes; a inspeção deixará de ser um problema, uma vez que precisará ser feita apenas uma vez por lote. Apesar de a redução de custos ser o principal fator limitante para investimentos na fábrica, acredita-se que investimentos em métodos de inspeção automatizados sejam importantes para permitir um maior crescimento da produção.

Outra situação encontrada e que se deve abordar é a de porcas que passam por processos especiais fora da Heral e principalmente as estampadas fora da Heral. Muitas vezes o tratamento químico ou térmico é impossível de ser feito na Heral, mas acredita-se que toda a estampagem de porcas da Heral deve ser feita dentro da Heral. Isto permitiria que o controle da produção destas máquinas fosse feito muito mais eficiente e rapidamente, evitando o custo de transporte e risco de contaminações e acidentes. A desvantagem seria a redução do espaço interno no chão de fábrica.

Durante o período de levantamento das informações necessárias para a elaboração do modelo, por diversas vezes observou-se discrepâncias de informações fornecidas pela gestão e pelo chão de fábrica. Estas diferenças existiam em informações importantes como quantidade de peças que uma determinada máquina produzia por hora e quais as peças que passam por determinados processos. Isto demonstra a importância de se ter um canal de comunicação eficiente entre os diversos setores da fábrica, de modo a todos poderem trabalhar juntos buscando soluções para os mesmos problemas com base nas mesmas premissas.

Observou-se também a existência de uma quantidade enorme de bobinas estocadas na fábrica. Apesar de ter se tratado de uma tentativa de criar estoque para evitar o impacto do aumento de preços, acredita-se que é preciso fazer um estudo mais detalhado para analisar se os custos e riscos de estocagem de grande quantidade de matéria prima compensam o aumento de preço.

Outra consideração, que foge do escopo deste trabalho mas que deve ser feita, é sobre a configuração atual do setor de lavagem. O carregamento e descarregamento das máquinas exigem excessivamente o operador do ponto de vista físico, impedindo que este permaneça nesse posto em longo prazo devido a riscos de saúde. É preciso implementar um sistema que torne os processos desse setor menos dependentes da força física do operador.

Por fim, conclui-se que existem máquinas com o potencial de travarem a fábrica inteira. Isto ocorre no setor de limpeza e deve ser evitado, pois proporciona um risco muito alto de travamento quase completo da produção. Outro exemplo de equipamento crítico é o compressor responsável por

fornecer ar comprimido para as estampadeiras, cuja parada já causou grandes prejuízos à linha de produção.

### **5.3. Próximos passos**

Um dos principais benefícios deste trabalho é a possibilidade de propor um cronograma de melhorias o qual deve ser seguido para melhorar a situação atual da Heral, focando não num crescimento em volume, mas sim uma melhora de margens e principalmente um crescimento do EBITDA (lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização).

Antes de se tratar os gargalos, conforme proposto e feito neste trabalho, é preciso implementar um sistema mais eficiente e confiável de monitoramento dos processos e armazenamento de informações. A elaboração de tal método está além do escopo deste trabalho, mas acredita-se que pode consistir de algo simples como uma ficha que acompanhe um lote de inicio ao fim, onde é documentado exatamente por quais processos passou e o horário de entrada e saída de cada processo. Estes dados poderiam então ser consolidados, alimentando uma base de dados no momento da embalagem das porcas. Isto permitirá uma documentação oficial e consolidada da produção.

Após o levantamento completo e correto da produção é preciso incorporar uma análise financeira para determinar quais porcas possuem melhores margens e quais possuem margens negativas. É preciso ter consciência de quais porcas dão prejuízo à empresa para que se possa começar a trabalhar num aumento de preços ou abandono de sua produção.

Após adquirir informações mais completas e confiáveis de todas as porcas produzidas e a decisão de mudanças ou não nos volumes produzidos, deve-se recalibrar o modelo criado para ajustar sua representatividade conforme a nova produção da Heral. Devem-se ajustar principalmente os tempos de parada para compensar possíveis incrementos ou decrementos na ocupação relativa das peças escolhidas em cada máquina. Então será possível analisar se a eliminação da produção de peças com margens negativas e inclusão de peças com maiores margens mudará os gargalos observados atualmente. Acredita-se que após estas melhorias os gargalos podem não mais

serem os que são observados hoje. Com o modelo recalibrado é possível partir para a implementação de melhorias para o tratamento dos gargalos, conforme feito neste trabalho. Apesar da possibilidade de os gargalos mudarem de local, acredita-se que devem ficar restritos aos locais tratados neste trabalho, permitindo que a maioria das observações, conclusões e propostas continuem válidas e aplicáveis.

Quando se idealizou a elaboração deste projeto, acreditava-se que os passos citados e considerados prévios ao tratamento dos gargalos da produção já eram realizados pela fábrica, uma vez que são considerados básicos na gestão de qualquer empresa, e poder-se-ia partir para o tratamento dos gargalos da produção. No entanto, dado que os passos iniciais do real conhecimento da produção, receitas e despesas ainda estão bastante defasados; é preciso consolidá-los antes de poder implementar o tratamento de gargalos proposto. É imprescindível conhecer o sistema em si antes de propor melhorias para ele.

## Anexo A – Descritivos dos processos de fabricação

Os descritivos são exibidos em forma de tabelas, nas quais cada linha corresponde a uma ação atribuída a uma entidade. No campo “entrada” é definida a entidade em questão e o local onde ela se encontra. No campo “operação” é definida, se for o caso, qual a operação à qual a entidade será sujeita – por exemplo, a espera por algum tempo (“WAIT”) ou o agrupamento de  $n$  unidades da entidade (“GROUP  $n$ ”). No campo “saída” é definida qual entidade sairá do local de entrada e qual será o seu destino, sendo possível definir a entidade de saída como sendo a entidade de entrada (ou seja, a entidade não se altera nesta ação) e/ou definir o local de destino como sendo o local de entrada (ou seja, a entidade permanece no mesmo local). No campo “lógica de movimentação” é definido como é feita a movimentação da entidade de um local para o outro – por exemplo, determinando quais recursos serão utilizados para tal (“GET” e “MOVE WITH [...] THEN FREE”).

Passo	Entidade	Origem	Lugar	Operação	Destino		Lógica de Movimentação
					Entidade	Lugar	
1	bobina	deposito_materia_prima		WAIT 500 MIN	bobina	Shiyang_19B	MOVE WITH empliladeira THEN FREE
2	bobina	Shiyang_19B		SPLIT 20 AS blank_furado_617	blank_furado_617	Shiyang_19B	
10	blank_furado_617	Shiyang_19B		GROUP 8 AS lote_blank_furado_617	blank_furado_617	buffer_Shiyang_19B	
34	blank_furado_617	buffer_Shiyang_19B			lote_blank_furado_617	buffer_Shiyang_19B	
35	lote_blank_furado_617	buffer_Shiyang_19B			lote_blank_furado_617	entada_estoque_blanks_furados	GET 1 operador_limpeza FREE 1 operador_de_pallets THEN FREE
42	lote_blank_furado_617	entada_estoque_blanks_furados			lote_blank_furado_617	Mesa_Vibratoria	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE GET 1 operador_limpeza FREE 1 operador_de_pallets THEN FREE
49	lote_blank_furado_617	Mesa_Vibratoria		WAIT 30 MIN	lote_blank_furado_617	saida_estoque_blanks_furados	GET 1 operador_limpeza MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE 1 operador_limpeza
56	lote_blank_furado_617	saida_estoque_blanks_furados			lote_blank_furado_617	Buffer_Ent_Super_01	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE GET 1 operador_Super FREE operador_Super
63	lote_blank_furado_617	Buffer_Ent_Super_01		WAIT 320 MIN	lote_blank_furado_617	Super_1	MOVE WITH operador_Super THEN FREE
70	lote_blank_furado_617	Super_1			lote_porca_617	Buffer_Sai_Super_01	MOVE WITH operador_Super THEN FREE GET operador_Super
77	lote_porca_617	Buffer_Sai_Super_01			lote_porca_617	entrada_estoque_porcas	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE operador_Super
84	lote_porca_617	entrada_estoque_porcas			lote_porca_617	Lavagem	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
91	lote_porca_617	Lavagem			lote_porca_617	Centrifuga	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
98	lote_porca_617	Centrifuga			lote_porca_617	saida_estoque_porcas	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE GET inspetor
105	lote_porca_617	saida_estoque_porcas			lote_porca_617	Buffer_Ent_Inspetaco	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE inspetor
112	lote_porca_617	Buffer_Ent_Inspetaco			lote_porca_617	Inspetaco	MOVE WITH inspetor THEN FREE
119	lote_porca_617	Inspetaco		USE inspetor FOR n(220..10) MIN	lote_porca_617	Buffer_Sai_Inspetaco	GET embalador
126	lote_porca_617	Buffer_Sai_Inspetaco			lote_porca_617	Pesagem_Embalagem	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE embalador
133	lote_porca_617	Pesagem_Embalagem		WAIT 24 MIN	lote_porca_617	EXIT	

Tabela A.1 – Descritivo do processo de fabricação da porca HBMS 617.

Passo	Entidade	Origem	Lugar	Operação	Destino		Lógica de Movimentação
					Entidade	Lugar	
1					bobina	National_1_4	MOVE WITH empiladeira THEN FREE
3	bobina	National_1_4		WAIT 1000 MIN	blank_furado_588	National_1_4	
11	blank_furado_588	National_1_4		SPLIT 70 AS blank_furado_588	blank_furado_588	buffer_National_1_4	
36	blank_furado_588	buffer_National_1_4		GROUP 8 AS lote_blank_furado_588	lote_blank_furado_588	buffer_National_1_4	
37	lote_blank_furado_588	buffer_National_1_4			lote_blank_furado_588	entrada_estoque_blanks_furados	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE 1 operador_limpeza
43	lote_blank_furado_588	entrada_estoque_blanks_furados			lote_blank_furado_588	Mesa_Vibratoria	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE 1 operador_limpeza
50	lote_blank_furado_588	Mesa_Vibratoria		WAIT 30 MIN	lote_blank_furado_588	saida_estoque_blanks_furados	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE 1 operador_limpeza
57	lote_blank_furado_588	saida_estoque_blanks_furados			lote_blank_furado_588	Buffer_Ent_F_1	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE operador_Manual_F_1
64	lote_blank_furado_588	Buffer_Ent_F_1			lote_blank_furado_588	F_1	MOVE WITH operador_Manual_F_1 THEN FREE
71	lote_blank_furado_588	F_1		USE operador_Manual_F_1 FOR 1000 MIN	lote_porca_588	Buffer_Sai_F_1	MOVE WITH operador_Manual_F_1 THEN FREE
78	lote_porca_588	Buffer_Sai_F_1			lote_porca_588	entrad estoque porcas	GET operador_Manual_F_1 MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE operador_Manual_F_1
85	lote_porca_588	entrad estoque porcas			lote_porca_588	Lavagem	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
92	lote_porca_588	Lavagem		WAIT 30	lote_porca_588	Centrifuga	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
99	lote_porca_588	Centrifuga		WAIT 30	lote_porca_588	saida estoque porcas	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
106	lote_porca_588	saida estoque porcas			lote_porca_588	Buffer_Ent_Inspcaao	GET inspetor MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE inspetor
113	lote_porca_588	Buffer_Ent_Inspcaao		Inspecao	lote_porca_588	Buffer_Sai_Inspcaao	MOVE WITH inspetor THEN FREE
120	lote_porca_588	Inspecao		USE inspetor FOR n(230,10) MIN	lote_porca_588		GET embalador
127	lote_porca_588	Buffer_Sai_Inspcaao			lote_porca_588	Pesagem_Embalagem	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE embalador
134	lote_porca_588	Pesagem_Embalagem		WAIT 24 MIN	lote_porca_588	EXIT	

Tabela A.2 – Descritivo do processo de fabricação da porca HSMF 588.

Passo	Entidade	Origem	Lugar	Operação	Destino		Lógica de Movimentação
					Entidade	Lugar	
1					bobina	National_3_8	MOVE WITH empiladeira THEN FREE
4	bobina	National_3_8		WAIT 600 MIN	blank_furado_580	National_3_8	
12	blank_furado_580	National_3_8		SPLIT 30 AS blank_furado_580	blank_furado_580	National_3_8	
38	blank_furado_580	buffer_National_3_8		GROUP 12 AS lote_blank_furado_580	blank_furado_580	buffer_National_3_8	
39	lote_blank_furado_580	buffer_National_3_8			lote_blank_furado_580	lote_blank_furado_580	GET 1 operador_limpeza FREE 1 operador_de_pallets THEN FREE
44	lote_blank_furado_580	entrada_estoque_blanks_furados			lote_blank_furado_580	entrad_a_estoque_blanks_furados	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE GET 1 operador_limpeza MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE 1 operador_limpeza
51	lote_blank_furado_580	Mesa_Vibratoria		WAIT 30 MIN	lote_blank_furado_580	said_a_estoque_blanks_furados	GET 1 operador_limpeza MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE 1 operador_limpeza
58	lote_blank_furado_580	said_a_estoque_blanks_furados			lote_blank_furado_580	lote_blank_furado_580	GET 1 operador_Nutap_9a12 MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE operador_Nutap_9a12
65	lote_blank_furado_580	Buffer_Ent_Nutap_11			lote_blank_furado_580	lote_porca_580	MOVE WITH operador_Nutap_9a12 THEN FREE MOVE WITH operador_Nutap_9a12 THEN FREE
72	lote_blank_furado_580	Nutap_11		WAIT 150 MIN	lote_porca_580	lote_porca_580	GET 1 operador_Nutap_9a12 MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE operador_Nutap_9a12
79	lote_porca_580	Buffer_Sai_Nutap_11			lote_porca_580	entrada_estoque_porcas	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE GET inspetor
86	lote_porca_580	entrada_estoque_porcas			lote_porca_580	Lavagem	
93	lote_porca_580	Lavagem			lote_porca_580	Centrifuga	
100	lote_porca_580	Centrifuga			lote_porca_580	saida_estoque_porcas	
107	lote_porca_580	said_a_estoque_porcas			lote_porca_580	Buffer_Ent_Inspetaco	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE inspetor
114	lote_porca_580	Buffer_Ent_Inspetaco			lote_porca_580	Inspetaco	MOVE WITH inspetor THEN FREE
121	lote_porca_580	Inspetaco		USE inspetor FOR n(205..10) MIN	lote_porca_580	Buffer_Sai_Inspetaco	GET embalador
128	lote_porca_580	Buffer_Sai_Inspetaco			lote_porca_580	Pesagem_Embalagem	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE embalador
135	lote_porca_580	Pesagem_Embalagem		WAIT 24 MIN	lote_porca_580	EXIT	

Tabela A.3 – Descritivo do processo de fabricação da porca HSMS 580.

Passo	Entidade	Origem	Lugar	Operação	Destino		Lógica de Movimentação
					Entidade	Lugar	
1					bobina	National_84	MOVE WITH empilhadeira THEN FREE
5	bobina	National_84		WAIT 1200 MIN	blank_furado_903	National_84	
40	blank_furado_903	buffer_National_84		SPLIT 10 AS blank_furado_903 GROUP 30 AS lota_blank_furado_903	lote_blank_furado_903	buffer_National_84	
41	lote_blank_furado_903	buffer_National_84			lote_blank_furado_903	entrada_estoque_blanks_furados	GET 1 operador_limpeza FREE 1 operador_limpeza
45	lote_blank_furado_903	entrad aestoque blanks furados			lote_blank_furado_903	Mesa_Vibratoria	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE GET 1 operador_limpeza FREE 1 operador_limpeza
52	lote_blank_furado_903	Mesa_Vibratoria		WAIT 30 MIN	lote_blank_furado_903	saida_estoque_blanks_furados	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE GET 1 operador_limpeza FREE 1 operador_limpeza
59	lote_blank_furado_903	saida_estoque_blanks_furados			lote_blank_furado_903	Buffer_Ent_Nutap_06	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE GET 1 operador_Nutap_3e6 FREE operador_Nutap_3e6
66	lote_blank_furado_903	Buffer_Ent_Nutap_06			lote_blank_furado_903	Nutap_6	MOVE WITH operador_Nutap_3e6 THEN FREE
73	lote_blank_furado_903	Nutap_6		WAIT 330 MIN	lote_porca_903	Buffer_Sai_Nutap_06	MOVE WITH operador_Nutap_3e6 THEN FREE GET 1 operador_Nutap_3e6
80	lote_porca_903	Buffer_Sai_Nutap_06			lote_porca_903	entrada_estoque_porcas	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE operador_Nutap_3e6
87	lote_porca_903	entrada_estoque_porcas			lote_porca_903	Lavagem	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
94	lote_porca_903	Lavagem			lote_porca_903	Centrifuga	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
101	lote_porca_903	Centrifuga			lote_porca_903	saida_estoque_porcas	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE GET inspetor
108	lote_porca_903	saida_estoque_porcas			lote_porca_903	Buffer_Ent_Inspetaco	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE inspetor
115	lote_porca_903	Buffer_Ent_Inspetaco			lote_porca_903	Inspecaco	MOVE WITH inspetor THEN FREE
122	lote_porca_903	Inspecaco		USE inspetor FOR n(250..10) MIN	lote_porca_903	Buffer_Sai_Inspetaco	GET embalador
129	lote_porca_903	Buffer_Sai_Inspetaco			lote_porca_903	Pesagem_Embalagem	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE embalador
136	lote_porca_903	Pesagem_Embalagem		WAIT 24 MIN	lote_porca_903	EXIT	

Tabela A.4 – Descritivo do processo de fabricação da porca HSMS 903.

Passo	Entidade	Origem	Lugar	Operação	Destino		Lógica de Movimentação
					Entidade	Lugar	
1					bobina	FEMP_6_2	MOVE WITH empiladeira THEN FREE
7	bobina	REMP_6_2	SPLIT 1200 MIN	SPLIT 120 AS blank_estampado	bobina	FEMP_6_3	MOVE WITH empiladeira THEN FREE
8	bobina	REMP_6_3	WAIT 1200 MIN	SPLIT 120 AS blank_estampado	blank_estampado	REMP_6_2	
15	blank_estampado	REMP_6_2	buffer_int_6_2	buffer_int_6_2	blank_estampado	buffer_int_6_2	
16	blank_estampado	REMP_6_3	buffer_int_6_2	GROUP 40 AS lotе blank_estampado	blank_estampado	buffer_int_6_3	
20	blank_estampado	buffer_int_6_2	buffer_int_6_2	buffer_int_6_2	lotе blank_estampado	buffer_int_6_2	MOVE WITH operador_6_2 THEN FREE
21	lotе blank_estampado	buffer_int_6_2	buffer_int_6_2	buffer_int_6_2	lotе blank_estampado	KLP_6_2	
22	blank_estampado	buffer_int_6_3	buffer_int_6_3	buffer_int_6_3	lotе blank_estampado	buffer_int_6_3	
23	lotе blank_estampado	buffer_int_6_3	buffer_int_6_3	buffer_int_6_3	lotе blank_estampado	KLP_6_3	MOVE WITH operador_6_3 THEN FREE
27	lotе blank_estampado	KLP_6_2			lotе blank furado_330	buffer_saida_6_2	
28	lotе blank_estampado	KLP_6_3			lotе blank furado_330	buffer_saida_6_3	
31	lotе blank furado_330	buffer_saida_6_2			lotе blank furado_330	entrad_estoque_blanks_furados	GET 1 operador_limpeza
32	lotе blank furado_330	buffer_saida_6_3			lotе blank furado_330	entrad_estoque_blanks_furados	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE
46	lotе blank furado_330	entrad_estoque_blanks_furados			lotе blank furado_330	Mesa_Vibratoria	GET 1 operador_limpeza
53	lotе blank furado_330	Mesa_Vibratoria	WAIT 30 MIN		lotе blank furado_330	said_estoque_blanks_furados	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE
60	lotе blank furado_330	said_estoque_blanks_furados			lotе blank furado_330	Buffer_Ent_Nutap_07	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE
67	lotе blank furado_330	Buffer_Ent_Nutap_07			lotе blank furado_330	Nutap_7	MOVE WITH operador_Nutap_1e2_4e5_7e8 THEN FREE
74	lotе blank furado_330	Nutap_7	WAIT 440 MIN		lotе porca_330	Buffer_Sai_Nutap_07	MOVE WITH operador_Nutap_1e2_4e5_7e8 THEN FREE
81	lotе porca_330	Buffer_Sai_Nutap_07			lotе porca_330	entrada_estoque_porcas	GET 1 operador_Nutap_1e2_4e5_7e8
88	lotе porca_330	entrad_estoque_porcas			lotе porca_330	Lavagem	MOVE WITH carregador_limpeza THEN FREE
95	lotе porca_330	Lavagem	WAIT 30		lotе porca_330	Centrifuga	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
102	lotе porca_330	Centrifuga	WAIT 30		lotе porca_330	said_estoque_porcas	MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
109	lotе porca_330	said_estoque_porcas			lotе porca_330	Buffer_Ent_Inspcaco	GET inspetor
116	lotе porca_330	Buffer_Ent_Inspcaco	Inspecaco		lotе porca_330	Inspecaco	MOVE WITH inspetor THEN FREE
123	lotе porca_330	Inspecaco	USE inspetor FOR n(265..10) MIN		lotе porca_330	Buffer_Sai_Inspcaco	GET embalador
130	lotе porca_330	Buffer_Sai_Inspcaco			lotе porca_330	Pesagem_Embalagem	MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE
137	lotе porca_330	Pesagem_Embalagem	WAIT 24 MIN		lotе porca_330	EXIT	FREE embalador

Tabela A.5 – Descritivo do processo de fabricação da porca HQMS 330.

Passo	Entidade	Origem	Lugar	Operação	Entidade	Destino	Lugar	Lógica de Movimentação	
								FREE	MOVE
1					bobina		FEMP_101		MOVE WITH empilhadaria THEN FREE
9	bobina	REMP_101		WAIT 950 MIN	blank_estampado		FEMP_101		
17	blank_estampado	REMP_101		SPLIT 100 AS blank_estampado	blank_estampado		buffer_int_101		
24	blank_estampado	REMP_101		GROUP 20 AS lota_blank_estampado	lota_blank_estampado		buffer_int_101		
25	lote_blank_estampado	buffer_int_101			lote_blank_estampado	KLP_101			MOVE WITH operador_101 THEN FREE
29	lote_blank_estampado	KLP_101			lote_blank_furado_337	buffer_saida_101			
33	lote_blank_furado_337	buffer_saida_101			lote_blank_furado_337	entrada_estoque_blanks_furados			MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE 1 operador_limpeza
47	lote_blank_furado_337	entrada_estoque_blanks_furados			lote_blank_furado_337	Mesa_Vibratoria			GET 1 operador_limpeza
54	lote_blank_furado_337	Mesa_Vibratoria		WAIT 30 MIN	lote_blank_furado_337	saida_estoque_blanks_furados			MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE 1 operador_limpeza
61	lote_blank_furado_337	saida_estoque_blanks_furados			lote_blank_furado_337	Buffer_Ent_Nutap_08			MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE operador_Nutap_1e2_4e5_7e8
68	lote_blank_furado_337	Buffer_Ent_Nutap_08			lote_blank_furado_337	Nutap_8			MOVE WITH operador_Nutap_1e2_4e5_7e8 THEN FREE
75	lote_blank_furado_337	Nutap_8		WAIT 170 MIN	lote_porca_337	Buffer_Sai_Nutap_08			MOVE WITH operador_Nutap_1e2_4e5_7e8 THEN FREE GET 1 operador_Nutap_1e2_4e5_7e8
82	lote_porca_337	Buffer_Sai_Nutap_08			lote_porca_337	entrada_estoque_porcas			MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE operador_Nutap_1e2_4e5_7e8
89	lote_porca_337	entrada_estoque_porcas			lote_porca_337	Lavagem			MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
96	lote_porca_337	Lavagem		WAIT 30	lote_porca_337	Centrifuga			MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
103	lote_porca_337	Centrifuga		WAIT 30	lote_porca_337	saida_estoque_porcas			MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
110	lote_porca_337	saida_estoque_porcas			lote_porca_337	Buffer_Ent_Inspetaco			GET inspetor MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE inspetor
117	lote_porca_337	Buffer_Ent_Inspetaco			lote_porca_337	Inspeciao			MOVE WITH inspetor THEN FREE
124	lote_porca_337	Inspeciao		USE inspetor FOR n(160..10) MIN	lote_porca_337	Buffer_Sai_Inspetaco			GET embalador
131	lote_porca_337	Buffer_Sai_Inspetaco			lote_porca_337	Pesagem_Embalagem			MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE FREE embalador
138	lote_porca_337	Pesagem_Embalagem		WAIT 24 MIN	lote_porca_337	EXIT			

Tabela A.6 – Descritivo do processo de fabricação da porca HQMS 337.

Passo	Entidade	Origem	Lugar	Operação	Entidade	Destino	Lugar	Lógica de Movimentação	
								FEMP_6_1	MOVE WITH empiladeira THEN FREE
1									
6	bobina	REMP_6_1	SPLIT 150 AS blank_estampado	blank_estampado	REMP_6_1				
14	blank_estampado	REMP_6_1		blank_estampado	buffer_int_6_1				
18	blank_estampado	buffer_int_6_1	GROUP 80 AS lote_blank_estampado	lote_blank_estampado	buffer_int_6_1				
19	lote_blank_estampado	buffer_int_6_1		lote_blank_estampado	KLP_6_1				MOVE WITH operador_6_1 THEN FREE
26	lote_blank_estampado	KLP_6_1		lote_blank_furado_638	buffer_saida_6_1				
30	lote_blank_furado_638	buffer_saida_6_1		lote_blank_furado_638	entrada_estoque_blanks_furados				GET 1 operador_limpeza
48	lote_blank_furado_638	entrada_estoque_blanks_furados		lote_blank_furado_638	Mesa_Vibratoria				MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE
55	lote_blank_furado_638	Mesa_Vibratoria	WAIT 30 MIN	lote_blank_furado_638	saida_estoque_blanks_furados				FREE 1 operador_limpeza
62	lote_blank_furado_638	saida_estoque_blanks_furados		lote_blank_furado_638	Buffer_Ent_FP_14				GET 1 operador_limpeza
69	lote_blank_furado_638	Buffer_Ent_FP_14		lote_blank_furado_638	FP_14				MOVE WITH operador FP_14 THEN FREE
76	lote_blank_furado_638	FP_14	WAIT 1050 MIN	lote_porca_638	Buffer_Sai_FP_14				MOVE WITH operador FP_14 THEN FREE
83	lote_porca_638	Buffer_Sai_FP_14		lote_porca_638	entrad estoque porcas				GET 1 operador_de_pallets THEN FREE
90	lote_porca_638	entrad estoque porcas		lote_porca_638	Lavagem				MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
97	lote_porca_638	Lavagem	WAIT 30	lote_porca_638	Centrifuga				MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
104	lote_porca_638	Centrifuga	WAIT 30	lote_porca_638	saida estoque porcas				MOVE WITH operador_limpeza THEN FREE
111	lote_porca_638	saida estoque porcas		lote_porca_638	Buffer_Ent_Inspcaao				GET inspetor
118	lote_porca_638	Buffer_Ent_Inspcaao	Inspecao	lote_porca_638	Inspecao				MOVE WITH inspetor THEN FREE
125	lote_porca_638	Inspecao	USE inspetor FOR n(250,..10) MIN	lote_porca_638	Buffer_Sai_Inspcaao				GET embalador
132	lote_porca_638	Buffer_Sai_Inspcaao		lote_porca_638	Pesagem_Embalagem				MOVE WITH carregador_de_pallets THEN FREE
139	lote_porca_638	Pesagem_Embalagem	WAIT 24 MIN	lote_porca_638	EXIT				FREE embalador

Tabela A.7 – Descritivo do processo de fabricação da porca HQMS 638.

## Referências Bibliográficas

- BARUDY, D.P.; DIZ, M.A.R.; IWABE, C. **Análise Cinemática da Marcha em Indivíduos com Acidente Vascular Encefálico.** Revista Neurociências, volume 16, nº 4. São Paulo, 2008.
- BENNETT, B.S. **Simulation Fundamentals.** Ed. Prentice Hall International series in systems and control engineering, Englewood Cliffs, 2008.
- BENSON, D. **Simulation Modeling and Optimization Using ProModel.** 1997 Winter Simulation Conference. Binghamton, 1997.
- CARSON, Y.; MARIA, A. **Simulation Optimization: Methods and Applications.** 1997 Winter Simulation Conference. Binghamton, 1997.
- CASSANDRAS, C.G.; LAFORTUNE, S. **Introduction to Discret Event Systems.** Ed. Springer, 2008.
- CELLIER, F.E. **Continuous System Modeling.** Ed. Springer-Verlag, New York, 1991.
- CURY, J.E.R. **Teoria de Controle Supervisório de Sistemas a Eventos Discretos.** V Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Canela, 2001.
- FERSCHA, A. **Parallel and Distributed Simulation of Discret Event Systems.** Contribuição para o livro “Handbook of Parallel and Distributing Computing”, Viena, 1995.
- FUJII, G.M.; WATANABE, G.K. **Modelagem, Simulação e Análise do Sistema Metroviário de São Paulo.** Trabalho de Formatura, Escola Politécnica, São Paulo, 2002.
- INÁCIO, S. R. L. **A Força do Core Business.** Site <http://www.artigos.com/artigos/sociais/administracao/lideranca/a-forca-do-core-business-4944/artigo/> acessado dia 10/04/2010.
- JUNQUEIRA, F. **Modelagem de Sistemas de Movimentação de Materiais em Ambiente Fabril Utilizando Redes de Petri Interpretadas.** Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica, São Paulo, 2001.
- MIYAGI, P.E. **Controle Programável – Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos.** Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1996.

- MUSCAT, A.; FLEURY, A. Indicadores da Qualidade e Produtividade na Indústria Brasileira. **Revista Indicadores da Qualidade.** N 2, PP 88-107, 1993.
- OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno.** Editora Pearson, São Paulo, 2007.
- PEGDEN, C. D.; SADOWSKI, R.P.; SHANNON, R.E. **Introduction to Simulation Using SIMAN.** Mc Graw Hill, 1990.
- SCHAPPO, A. J. **Um Método Utilizando Simulação Discreta e Projeto Experimental para Avaliar o Fluxo na Manufatura Enxuta.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- TOLEDO DO BRASIL INDÚSTRIA DE BALANÇAS LTDA. **Manual de Segurança e Saúde do Trabalho.** São Bernardo do Campo, 2008.