



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Simulação de uma Linha de Produção de Segmentos para a Indústria Automóvel**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

**Autor**

**Diogo Pereira Grosso**

**Orientador**

**Professor Doutor Cristóvão Silva**

**Júri**

**Presidente** Professor Doutor José Luís Afonso  
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

**Vogais**

Professor Doutor Pedro Mariano Simões Neto  
Professor Assistente Convidado da Universidade de Coimbra  
Professor Doutor Luís Miguel Ferreira  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

**Coimbra, Julho, 2012**

## **Agradecimentos**

Este trabalho surge no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial frequentado na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Quero deixar expresso os meus agradecimentos a todos os que me apoiaram neste trabalho, salientado o meu orientador, o professor Doutor Cristóvão Silva pelo apoio sempre esclarecedor durante a elaboração deste trabalho.

Por último agradeço à minha namorada, família e amigos pelo apoio e paciência durante este tempo, por vezes complicado de compatibilização entre a vida académica e pessoal.

## Resumo

A procura por métodos melhores de trabalho e a optimização de processos de fabrico, têm como objectivo a obtenção de uma melhor e maior produção com o menor custo possível, o chamado aumento de produtividade.

A indústria automóvel, nos seus dois subsectores mais significativos (construção e montagem e a fabricação de componentes), é o motor essencial do crescimento das exportações, da inovação e do emprego nacional. No entanto, a indústria automóvel apresenta uma grande preocupação com o aumento da competitividade no sector.

Este trabalho, surge devido ao facto de uma empresa portuguesa do ramo automóvel, nomeadamente no fabrico de segmentos para motores, ter sentido que duas das linhas de produção que eles possuem não serem suficientemente produtivas e competitivas em relação à concorrência.

Os objectivos desta dissertação são, com o auxílio da simulação, analisar o layout de duas linhas de fabricação de segmentos de motor, analisar os critérios de desempenho e verificar pontos onde a produtividade pode ser incrementada. Por fim propôs-se dois layouts alternativos a fim de aumentar a produtividade e apresentar as suas vantagens e desvantagens em relação ao layout actual.

Concluiu-se que no modelo actual que foi estudado, existe um diferencial de produtividade muito elevado de equipamento para equipamento, o que provoca alguns estrangulamentos ao longo do sistema produtivo actual. Dos dois modelos alternativos que foram propostos, o segundo pareceu ser muito interessante a ser estudado pela empresa, não só pela diminuição do número equipamentos necessários, como também pelo aumento de utilização dos equipamentos.

**Palavras-chave:** Produtividade, indústria, automóvel, segmentos, motor, layout, simulação, competitividade, estrangulamentos, linhas, produção.

## Abstract

The search for better methods of work and optimization of manufacturing processes, are aimed at achieving a better and higher production at the lowest possible cost, called the increase of productivity.

The automotive industry, in its two most significant subsectors (construction and assembly and component manufacturing), is the key driver of export growth, innovation and national employment. However, the automotive industry is showing a great concern about the increasing competitiveness in the sector.

This work arises due to a Portuguese company in the automotive industry, particularly in the manufacture of engine segments, have felt that the two production lines that they have are not sufficiently productive and competitive in relation to competition.

The objectives of this dissertation, with the help of the simulation, analyze the layout of two manufacturing lines engine segments, analyzing the performance criteria and check points where productivity can be increased. Finally it was proposed two alternative layouts to increase productivity and present their advantages and disadvantages compared to the current layout.

It was concluded that the present model that has been studied, there is a very high productivity differential for each machine, which causes some bottlenecks during the current production system. Of the two alternative models have been proposed, the second seemed to be very interesting to be studied by the company, not only by reducing the number necessary equipment, as well as by increased use of equipment.

**Keywords:** Productivity, industrial, automotive, segments, engine, layout, simulation, competitiveness, bottlenecks, lines, production.

## Índice

Índice de Figuras.....	vi
Índice de Tabelas .....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objectivos .....	2
1.3. Estrutura da Dissertação.....	3
2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	4
2.1. Conceito de Layouts.....	4
2.1.1. Definição.....	4
2.1.2. Tipos de Layouts .....	5
2.2. Sequenciamento de Operações.....	8
2.2.1. Definição.....	8
2.2.2. Critérios de Desempenho .....	8
2.2.3. Sequenciamento por Flow-shop.....	9
2.3. A Simulação.....	10
2.3.1. O Software Simul8 .....	11
3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO .....	15
3.1. Descrição do layout e dos produtos produzidos na indústria estudada .....	15
3.2. Análise dos dados necessários para a criação do simulador .....	18
3.3. Selecção dos parâmetros para a realização da simulação .....	19
3.4. Criação do modelo de simulação para o layout actual da empresa.....	22
3.5. Modelo de simulação para o primeiro layout alternativo.....	26
3.6. Modelo de simulação para o segundo layout alternativo .....	26
3.7. Limitações dos modelos.....	27
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	29

---

4.1. Série Otto .....	30
4.2. Série I-shaped .....	35
4.3. Comparação dos três modelos analisados anteriormente.....	40
5. CONCLUSÕES .....	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
7. ANEXO A .....	47
8. ANEXO B.....	49
9. ANEXO C.....	51
10. ANEXO D .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de sequenciamento por Flow-shop. ....	9
Figura 2 - Exemplo de um modelo criado no Simul8.....	13
Figura 3 - Exemplo de relatório de dados criados no Simul8.....	14
Figura 4 - Layout do sistema produtivo da indústria estudada.....	15
Figura 5 - Interface de ligação entre o simulador Simul8 e o Microsoft Excel.....	23
Figura 6 - Funcionalidade Jobs Matrix no Simul8 para distinção de rotas para cada tipo de produto.....	24
Figura 7 - Modelo final do simulador para o layout actual. ....	25

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Encomendas da série Otto que foram consideradas para a simulação. ....	20
Tabela 2 - Encomendas da série I-shapped que foram consideradas para a simulação.....	21
Tabela 3 - Equipamentos que são partilhados entre as duas séries. ....	29
Tabela 4 - Comparação das taxas de utilização e tempo médio de espera para a série Otto para os 3 layouts.....	32
Tabela 5 - Comparação dos tempos de produção e datas de entregas real dos 3 layouts para série Otto.....	34
Tabela 6 - Comparação das taxas de utilização e tempo médio de espera para a série I-shapped para os 3 layouts.....	37
Tabela 7 - Comparação dos tempos de produção e datas de entregas real dos 3 layouts para a série I-shapped. ....	39
Tabela 8 - Comparação dos principais critérios de desempenho dos 3 layouts para a série Otto.....	41
Tabela 9 - Comparação dos principais critérios de desempenho dos 3 layouts para a série I-shapped.....	41
Tabela 10 - Comparação do número de equipamentos utilizados nos 3 layouts. ....	42
Tabela 11 - Listagem de rotas para a série otto. ....	47
Tabela 12 - Descrição das siglas de cada operação para a série otto. ....	48
Tabela 13 - Listagem de rotas para a série i-shapped.....	49
Tabela 14 - Descrição das siglas de cada operação para a série i-shapped.....	50
Tabela 15 - Plano de encomendas da série otto. ....	51
Tabela 16 - Plano de encomendas da série i-shapped.....	51
Tabela 17 - Produtividade de cada operação para cada produto da série otto. ....	52
Tabela 18 - Produtividade de cada operação para cada produto da série i-shapped. ....	52



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

No decorrer da história, muitos esforços para o desenvolvimento da indústria, têm sido estreitamente relacionados com a definição de produtividade. A produtividade não é mais do que a eficiência na produção de algo, ou seja, a relação entre uma determinada quantidade produzida e os factores necessários para a obter. A procura por métodos melhores de trabalho e a optimização de processos de fabrico, têm como objectivo a obtenção de uma melhor e maior produção com o menor custo possível, o chamado aumento de produtividade.

Em 2008, um relatório da Associação Industrial Portuguesa, mostrava que a produtividade de Portugal era cerca de 30 por cento inferior à média dos restantes países da União Europeia (Notícia publicada pela TSF), mostrando portanto alguma deficiência em termos produtivos.

É do senso comum que uma empresa só sobrevive no mercado enquanto tem alguma vantagem competitiva em relação aos seus concorrentes. A produtividade é um dos factores que mais influencia a competitividade. Um excelente exemplo de competitividade na indústria é sem dúvida a indústria automóvel.

A indústria automóvel, nos seus dois subsectores mais significativos (construção e montagem e a fabricação de componentes), é o motor essencial do crescimento das exportações, da inovação e do emprego nacional. No entanto, a indústria automóvel apresenta uma grande preocupação com o aumento da competitividade no sector. Segundo uma notícia publicada pelo Diário Económico (02/04/10), o aumento do custo das matérias-primas irá ter um impacto significativo em toda a cadeia de valor até ao consumidor. Na indústria automóvel, quem deverá pagar a factura é a indústria dos

componentes, o que terá impacto na sua competitividade, existindo portanto uma perda de eficiência.

Este trabalho, surge devido ao facto de uma empresa portuguesa do ramo automóvel, nomeadamente no fabrico de segmentos para motor, ter sentido que duas das linhas de produção que eles possuem não serem suficientemente produtivas e competitivas em relação à concorrência.

Uma proposta de melhoria destes indicadores, abordada neste trabalho, é a elaboração de layouts mais eficientes. Por fim, e com o auxílio da simulação irão ser retiradas algumas conclusões úteis para a melhoria do desempenho fabril, alterando ou não o layout.

Uma empresa moderna e inserida na actual economia global, é a que está voltada para o cliente, sem perder a característica de empresa eficiente, com indicadores de produtividade que a colocam no topo entre os seus concorrentes, um objectivo que só é atingido com a procura incessante de melhorias.

## **1.2. Objectivos**

Os objectivos desta dissertação são, com o auxílio da simulação, analisar o layout de duas linhas de fabricação de segmentos de motor, analisar os critérios de desempenho e verificar pontos onde a produtividade pode ser incrementada. Por fim propôs-se dois layouts alternativos a fim de aumentar a produtividade e apresentar as suas vantagens e desvantagens em relação ao layout actual.

### **1.3. Estrutura da Dissertação**

No capítulo dois fez-se uma breve revisão dos conceitos mais importantes que estão envolvidos no desenvolvimento do trabalho.

No capítulo três descreve-se o processo de construção do modelo de simulação actual e de dois alternativos.

No capítulo quatro apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos por simulação e discutem-se as vantagens e desvantagens dos layouts analisados.

No capítulo cinco apresentam-se as conclusões a retirar desta dissertação.

## 2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### 2.1. Conceito de Layouts

#### 2.1.1. Definição

O Layout é o posicionamento no espaço de departamentos, postos de trabalho e máquinas de modo a minimizar os custos de produção, satisfazendo um conjunto de restrições. (Caravilla, 1998)

Na construção de um novo layout ou quando se altera um já existente deve-se ter em conta o modo como os recursos estão distribuídos pelos departamentos, o nível de stocks utilizados, o número e a produtividade dos operários, e mesmo características sociológicas tais como relações entre os operários e comunicação entre grupos, podem influenciar em muito a eficiência de uma empresa. (Anton, Eidelwein, & Diedrich, 2012)

Os factores determinantes a ter em conta na construção de um layout são:

- O Tipo de produto – na medida em que interessa saber se o produto é um bem ou um serviço, se é produzido para stock ou para encomenda;
- O Tipo de processo de produção – em que interessa saber qual a tecnologia utilizada na produção, que materiais são utilizados e também os meios que são utilizados para efectuar esse tipo de serviço.
- Volume de produção – em que o volume de produção tem implicações quanto ao tamanho da fábrica a construir e também na possível capacidade de expansão.

Podem ser definidos diversos critérios de decisão respeitantes ao Layout, no que diz respeito ao objectivo pretendido:

- Minimização de custos de manuseamento de materiais;
- Minimização da distância percorrida pelos clientes;
- Minimização da distância percorrida pelos empregados;

- Maximização da proximidade de departamentos relacionados.

Além disso as soluções possíveis estão normalmente restringidas devido a:

- Limitação de espaço;
- Necessidade de manter localizações fixas para certos departamentos;
- Regulamentos de segurança;
- Regulamentos relativos a incêndio.

## **2.1.2. Tipos de Layouts**

### **2.1.2.1. Layouts Fixos**

Este é o tipo mais básico de layouts e é sempre utilizado quando uma actividade se realiza apenas uma vez. Neste caso, os funcionários e os materiais de fabrico são colocados no local onde vai ser realizado o trabalho. A construção de edifícios, de barragens, de navios etc., é normalmente realizada com este tipo de layout.

Neste tipo de layout os custos de manuseamento de material são muito grandes. Colocam-se os materiais mais usados perto do local de construção, enquanto os materiais que tem menos rotatividade são colocados mais longe.

#### **Vantagens:**

- Melhor planeamento e controlo do trabalho, dado que tudo está orientado para um único objectivo.

#### **Desvantagens:**

- Custos de deslocação de pessoal especializado podem ser elevados;
- Falta de estruturas de apoio, tais como energia eléctrica e água.

### **2.1.2.2. Layouts em Fluxo Contínuo**

Os layouts em fluxo contínuo, são utilizados maioritariamente na indústria de processo como por exemplo a indústria dos cimentos, a produção de produtos químicos e a produção de electricidade. Neste caso, as fábricas representam um elevado investimento de capital, dado que são muito automatizadas e projectadas de modo a funcionarem como uma unidade. Neste caso o layout tem directamente a ver com o processo, e está ligado à estrutura básica da fábrica.

#### **Vantagens**

Processo muito automatizado com elevados índices de produtividade.

#### **Desvantagens**

Custos iniciais de investimento.

### **2.1.2.3. Layouts de Processos Intermitentes**

Neste layout, juntam-se grupos de pessoas ou de máquinas que têm a mesma função. Cada um dos produtos ou cada um dos clientes que passam por alguns departamentos podem não passar por outros, dependendo das necessidades. A indústria metalomecânica ainda utiliza muito este tipo de layout, e normalmente os hospitais também estão assim divididos (existem por exemplo a pediatria, a radiologia, a ortopedia, e outros).

#### **Vantagens:**

- Este layout é mais flexível quando se pretende produzir bens ou realizar serviços que sejam muito variados;
- Podem-se fazer grandes investimentos em equipamento muito especializado e com elevada produtividade.

**Desvantagens:**

- Trabalho tem que ser mais especializado, e por isso menos flexível; (se por exemplo um funcionário está numa quinadeira, será muito difícil que passe para a montagem, se isso for necessário);
- O controlo da produção é muito mais difícil, dado que cada produto tem que ser seguido individualmente ao longo da sua produção;
- É necessário disponibilizar para cada produto, todos os desenhos e as ferramentas dedicadas, e é necessário ter em conta todos os tempos de preparação.

**2.1.2.4. Layouts em Linha**

Os layouts de linhas de produção são obtidos juntando as pessoas e o equipamento de acordo com uma sequência pré-definida de operações a realizar num produto. Costuma-se chamar linha de produção ou linha de montagem, porque normalmente são utilizados transportadores automáticos (com a forma de uma linha recta) que minimizam o transporte de material pelas pessoas. Os layouts em linha são utilizados na montagem de automóveis, nas fábricas de produção de alimentos, e mesmo nos self-services (só que neste caso é o cliente que se movimenta ao longo da linha).

**Vantagens:**

- Resultados muito eficientes;
- Menores custos de transformação do material;
- Operações muito simplificadas, que permitem a utilização de mão-de-obra pouco qualificada (barata);
- Pequenos stocks intermédios.

**Desvantagens:**

- Pouca flexibilidade;
- Efeitos colaterais graves em termos de aborrecimento dos funcionários e de absentismo (tendência para mudança de emprego);
- Elevada dependência entre as diversas operações (uma máquina que deixe de funcionar, pode comprometer a produção);
- É muito importante que a linha esteja bem balanceada.

## 2.2. Sequenciamento de Operações

### 2.2.1. Definição

O sequenciamento de operações consiste em definir prioridades ou ordenar a execução de um conjunto de tarefas, de modo a atingir um determinado objectivo, satisfazendo as restrições existentes. (Silva, 2008)

Os problemas reais produtivos são bastante complexos e as condições alteraram-se muito rapidamente. O objectivo do sequenciamento de operações num sistema produtivo é a sua melhor gestão de recursos e operadores de modo a obter melhores produtividades, os menores custos produtivos possíveis e o cumprimento dos prazos de entrega acordados.

### 2.2.2. Critérios de Desempenho

Os critérios de desempenho para se medir a qualidade do sequenciamento num ambiente produtivo são os seguintes:

- Utilização dos recursos
  - Minimizar o “Makespan” (tempo total necessário para processar todas as ordens de fabrico;
  - Maximizar a percentagem de utilização de recursos;
- Cumprimentos dos prazos de entrega
  - Minimizar o número de ordens de fabrico concluídas após a data de entrega;
  - Minimizar o maior atraso;
  - Minimizar o atraso médio;
  - Minimizar o somatório dos atrasos;
- Nível de stock
  - Minimizar o valor médio do stock intermédio;
  - Minimizar o tempo médio de fluxo.



### 2.2.3. Sequenciamento por Flow-shop

Existem várias configurações possíveis para shop-floors, que implicarão a utilização de regras de sequenciamento distintas. Neste trabalho faz-se apenas uma breve abordagem ao sequenciamento em ambiente Flow-shop, por ser o que foi encontrado no caso de estudo analisado.

O sequenciamento por Flow-shop foi criada por Henry Ford para a produção do Ford T. (Amorim J. F., 2009)

Neste sequenciamento, todas as tarefas têm uma sequência igual ou semelhante para a realização das operações, ao longo de vários equipamentos. Este modelo tem uma estrutura de precedência linear em que estes mesmos equipamentos estão dispostos no espaço da fábrica em forma de linha, uns a seguir aos outros, consoante a sequência das operações a efectuar na produção de um produto. Na figura 1 verifica-se um exemplo de sequenciamento por Flow-shop. (Carvalho, 2008)

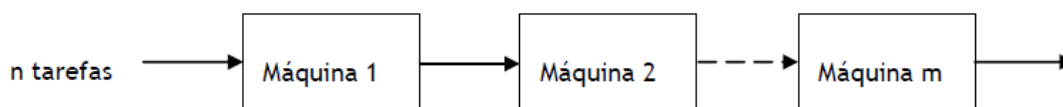


Figura 1 – Exemplo de sequenciamento por Flow-shop.

Os casos típicos de sequenciamentos por Flow-shop são as linhas tradicionais de montagem de automóveis, como por exemplo a AutoEuropa em Palmela. Nestes casos, as máquinas são dispostas em linha de acordo com a sequência necessária para o fabrico e montagem do automóvel.

Este tipo de sequenciamento é caracterizado por uma grande automatização dos processos produtivos, automatização da movimentação dos materiais, uso de equipamento específico, baixa variedade de produtos, grandes taxas de produção, elevada utilização das máquinas, grande produtividade, baixa flexibilidade, baixo grau de formação dos operadores e baixa polivalência dos operadores.

Quando se define uma linha, um dos aspectos a ter mais em atenção é o seu equilíbrio, ou seja, que os tempos de processamento dos postos de trabalho sejam os

mais próximos possível uns dos outros, para que não haja estrangulamentos no sistema e consequentemente filas de espera intermédias. Por outro lado também é igualmente importante que a taxa de produção da linha (quantidade produzida por unidade de tempo) seja adequada à procura externa.

### **2.3. A Simulação**

A Simulação é uma das ferramentas de apoio à decisão que permite projectar e analisar o desempenho de sistemas e de processos complexos. A Simulação pode ser entendida como o processo de construção de um modelo representativo de um sistema real, bem como da realização de experiências com esse modelo com o intuito de conhecer melhor o seu comportamento e avaliar o impacto de estratégias alternativas de operação. (Ferreira, 2003)

Actualmente, os sistemas de produção estão a tornar-se cada vez mais complexos devido às exigências que lhe são impostas, envolvendo a análise de muitas variáveis cuja gestão irá ter, necessariamente, um forte impacto no seu desempenho.

Muitos sectores utilizam a simulação como por exemplo: as indústrias aeroespaciais, aeronáutica e automóvel. Estas estão a utilizar cada vez mais a simulação nas diversas fases do seu processo produtivo.

A simulação tem as seguintes vantagens (Fernandes, 2008):

- Pode ser usada para explorar novas políticas de planeamento dos recursos, procedimentos operativos, regras de decisão, estruturas organizacionais, fluxos de informação, sem ser necessário interromper o normal funcionamento do sistema;
- Permite identificar os pontos de estrangulamento da linha de produção, testar diversas opções, com o intuito de conseguir otimizar o seu funcionamento e melhorar a produtividade, identificando as causas dos atrasos no fluxo de materiais e de informação;

- Permite conhecer melhor o sistema e identificar quais as variáveis que realmente influenciam o seu desempenho.

Apesar de este sistema ter inúmeras vantagens, também tem algumas desvantagens:

- A simulação não fornece soluções óptimas para os problemas em estudo – permite, todavia, avaliar o comportamento do sistema mediante determinados cenários, para esse efeito;

- Se o modelo não for uma representação do sistema real em estudo, os resultados da simulação são pouco válidos por não retratarem o sistema real e trarão poucas novas informações para o sistema real.

### **2.3.1. O Software Simul8**

O Simul8 é um software da empresa Visual8 e é um dos mais vendidos em todo o mundo na área da simulação discreta. É um software muito utilizado nas áreas da produção, de serviços, call-centers e logística, dado à sua vasta gama de opções para caracterização de modelos.

Este software apresenta características interactivas e gráficas que permitem ao utilizador criar um modelo gráfico do sistema a simular com bastante simplicidade.

O Simul8 permite a integração de dados entre diversos softwares, tais como o Word, Excel, Autocad o que possibilita a exportação de dados de um destes softwares para o Simul8. É possível ainda importar e simular modelos criados em softwares para criar fluxogramas de processos como o: Visio, Flowcharter, Igrafx, Mega e Salamander. (Moreira, 2003)

Os principais componentes para fazer um modelo de simulação simples são os seguintes:

**Work Entry Point** - Este componente representa a entrada dos objectos/itens que vão circular dentro do sistema. Este componente permite bastantes configurações como, a selecção de intervalos de tempo entre chegadas dos objectos ou itens. É possível também imputar alguns atributos em forma de Labels entre outras opções disponíveis.

**Storage Bin** - É uma fila de espera que se introduz antes de um posto de trabalho (Workcenter) para colocar os itens ou objectos em espera até o posto ficar disponível. Com esta fila de espera é possível monitorizar os tempos de espera médios, os picos e também a taxa de utilização da mesma.

**Work Center** - São os postos de trabalho do sistema que podem representar um equipamento ou uma actividade. Estes Work Center são bastante configuráveis quanto ao tempo de trabalho, tempo de setup, atribuição de atributos nos Itens e também quanto ao método de selecção das rotas de entrada e de saída.

**Work Exit Point** - Estes componentes representam a saída dos objectos ou itens do sistema (Workitems). Com este componente é possível analisar os objectos que saíram do sistema como também dados estáticos do sistema como o tempo de cada objecto no sistema.

**Resource** - São os chamados recursos que podem ser por exemplo um grupo de operadores ou equipamentos. Este recurso é usado quando se tem dois Workcenter (uma actividade) que, são ambas efectuadas no mesmo equipamento, sendo este um recurso partilhado para as duas workcenters.

Na figura dois encontra-se um modelo de um sistema de atendimento de chamadas com apenas um funcionário a atender. Como se pode ver na figura este sistema é constituído por dois Work Entry Point, que neste caso entram como objecto em cada chamada, uma Storage Bin, três workcenters e três Work Exit Point.

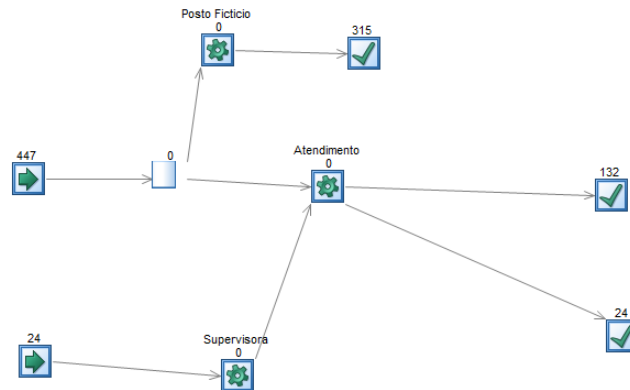


Figura 2 - Exemplo de um modelo criado no Simul8.

Após a definição e caracterização do modelo faz-se a execução do mesmo para retirar alguns resultados e conseqüentemente as conclusões. Para executar o modelo tem de se definir alguns campos como o tempo de aquecimento (Warm Up Period) e o tempo de simulação.

O tempo de aquecimento é o tempo que a simulação será executada antes de começar a recolher os resultados. Isso permite que as filas (e outros aspectos presentes na simulação) entrem em condições consideradas típicas para o sistema que se está a simular.

O tempo de simulação é o tempo que se pretende simular um determinado sistema e durante esse tempo haverá recolha de dados.

Por fim executa-se o modelo e retiram-se os dados para análise.

Na figura 3 encontra-se um exemplo de relatório de dados, feito através do Simul8. Estes resultados podem ser depois exportados para outros softwares para posterior análise.

The screenshot shows the SIMUL8 Results Manager interface. At the top, there is a navigation bar with tabs for 'KPIs', 'KPI History', 'Scenarios', 'All Object Results', and 'Custom Reports'. Below the navigation bar, the text 'from most recent run only.' is displayed. The main content is a table with two columns: 'Object' and 'Result'. The table lists various performance metrics for different objects in the simulation, including 'Work Complete 1', 'Work Complete 2', 'Work Complete 3', 'Work Entry Point 1', and 'Work Entry Point 2'. The metrics include 'Maximum use', 'Current Contents', 'Change Over %', 'Off Shift %', 'Resource Starved %', 'Number Completed', 'In System less than time', '% In System less than time limit', 'St Dev of', and 'Maximum Time in System'.

Object	Result	
	Maximum use	1.00
	Current Contents	0.00
	Change Over %	0.00
	Off Shift %	0.00
	Resource Starved %	0.00
Work Complete 1	Number Completed	488.00
	"In System less than" time	10.00
	% In System less than time limit	15.98
	St Dev of	5.50
	Maximum Time in System	40.44
	Minimum Time in System	3.11
Work Complete 2	Average Time in System	5.02
	Number Completed	23.00
	"In System less than" time	10.00
	% In System less than time limit	100.00
	St Dev of	1.23
	Maximum Time in System	7.19
	Minimum Time in System	3.41
Work Complete 3	Average Time in System	21.33
	Number Completed	13.00
	"In System less than" time	10.00
	% In System less than time limit	0.00
	St Dev of	0.00
	Maximum Time in System	21.33
	Minimum Time in System	21.33
Work Entry Point 1	Number Entered	522.00
	Number Lost	0.00
	Net Number Entered	522.00
Work Entry Point 2	Number Entered	23.00
	Number Lost	0.00
	Net Number Entered	23.00

Figura 3 - Exemplo de relatório de dados criados no Simul8.

### 3. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

#### 3.1. Descrição do layout e dos produtos produzidos na indústria estudada

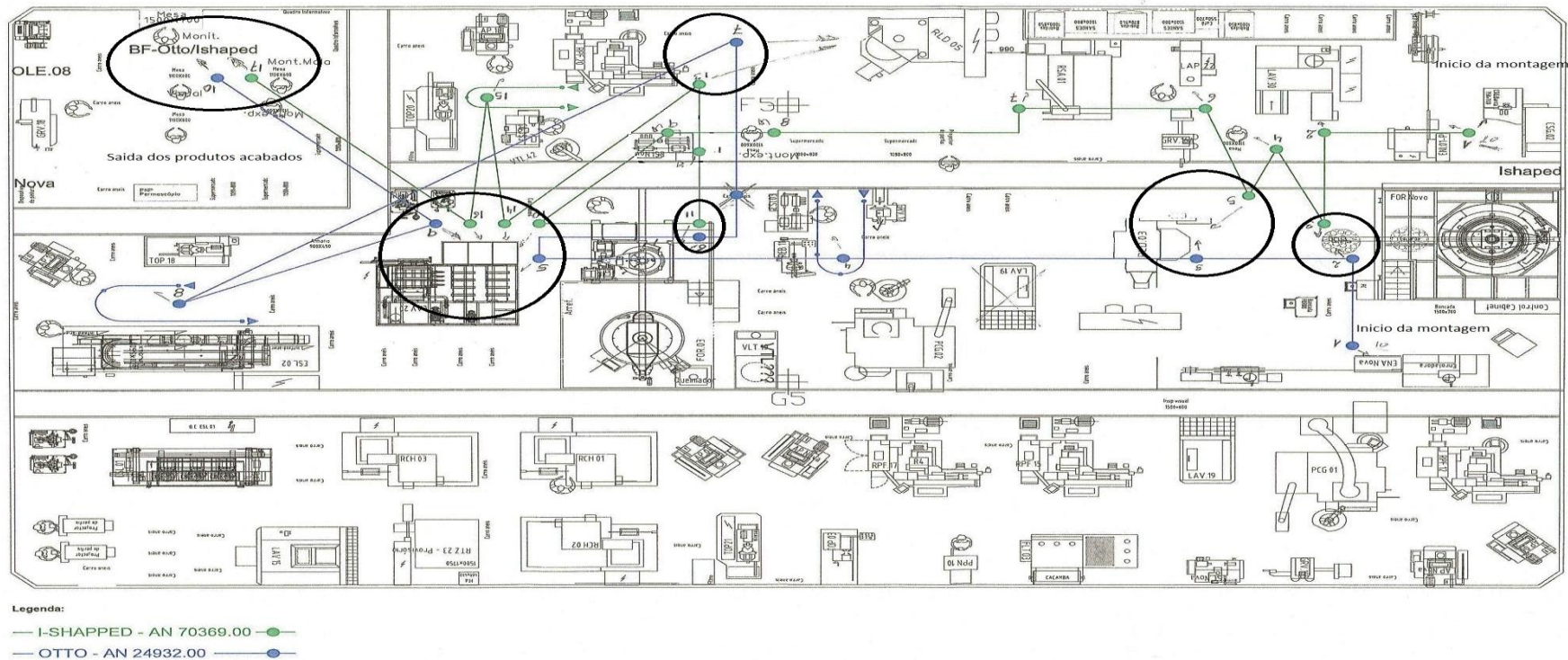


Figura 4 - Layout do sistema produtivo da indústria estudada.

O layout de produção que se estudou é o que se encontra na figura 4 (figura acima) que representa duas linhas de fabricação de segmentos de motor. Conforme se pode verificar na figura, existem duas linhas de fabricação de segmentos, a linha azul e a verde. A linha azul representa o fabrico da série de produtos Otto e a linha verde a série I-Shapped. Cada ponto azul ou verde ao longo das duas linhas representam um conjunto de operações. Como se pode analisar na figura acima, com um círculo sobre as operações, representa alguns equipamentos/recursos que são partilhados pelas duas linhas (Otto e I-shapped). Para além disso existem operações que são efectuadas mais do que uma vez nos mesmos equipamentos. No total existem seis equipamentos que são partilhados entre a produção das duas séries.

O fluxo da produção destas duas linhas é da direita para a esquerda, sendo que estas séries são produzidas segundo um sequenciamento do tipo Flow-shop em que na generalidade todos os produtos seguem sempre a mesma sequência de produção. No entanto, existem algumas excepções em que alguns produtos carecem de determinadas suboperações no seu processo de fabrico.

A série Otto é constituída por dez subprodutos. A sua produção é feita ao longo de dez conjuntos de operações, sendo que existem cerca de vinte e três operações no total. Cada subproduto passa por cada conjunto de operações sendo que cada um tem algumas especificações e carecem de determinadas operações. Na tabela 11 que se encontra no anexo A, pode-se verificar os dez tipos de subprodutos da série Otto e também as operações que estes subprodutos têm que efectuar ao longo da sua produção. É de referir também que as operações que estão com letra N, significam que não existem no subproduto visualizado. As operações com a letra X com fundo verde, significam que existe essa operação para o subproduto visualizado. Por fim as operações que tiverem contornos a preto e com a letra X significam que tem uma ordem de produção diferente da generalidade dos outros subprodutos.



Na tabela 12 que se encontra no anexo A representa os significados das siglas de cada operação que estão na tabela 11 da serie Otto.

A série Otto sofre operações ao longo da sua produção tais como: enrolamento de anel, lavagens, forno de alívio de tensões, rectificações, escovamento, lapidações, rebaixos e gravações a laser.

A série I-shaped, por sua vez, é constituída por dezanove subprodutos, sendo produzida ao longo de dezassete conjuntos de operações, sendo no total vinte e uma operações.

Cada subproduto passa por cada conjunto de operações sendo que cada um tem algumas especificações e carecem de determinadas operações. Na tabela 13 que se encontra no anexo B, pode-se verificar os dezanove subprodutos da série I-shaped e também as operações que estes subprodutos têm que efectuar ao longo da sua produção. É de referir também que as operações que estão com letra N, significam que não existem no subproduto visualizado. As operações com a letra O com fundo branco, significam que a operação para esse subproduto é opcional. As operações com a letra X com fundo verde, significam que existe essa operação para o subproduto visualizado. Por fim as operações que tiverem contornos a preto e com a letra X significam que tem uma ordem de produção diferente da generalidade dos outros subprodutos.

Na tabela 14 que se encontra no anexo B representa os significados das siglas de cada operação que estão na tabela 13 da série I-shaped.

A série I-shaped sofre operações ao longo da sua produção tais como: enrolamento de anel, lavagens, forno de alívio de tensões, decapagem, rectificações, escovamento, lapidações e gravações a laser.

### **3.2. Análise dos dados necessários para a criação do simulador**

Para a elaboração do simulador foram necessários alguns dados tais como um histórico de planos de produção para cada série, os tempos de processamento de cada operação para cada subproduto e também os tempos de setup.

Foi fornecido pela empresa, um plano de encomendas tanto para a série Otto como para a I-shaped. Este plano foi lançado no final de Novembro do ano passado e tem como intuito fazer um planeamento da produção para cerca de quatro semanas. Nas tabelas 15 e 16 do anexo C encontra-se os planos de produção da série Otto e I-shaped respectivamente. Com estas tabelas e também após discussão dos dados com a empresa foi possível verificar que a quantidade de encomenda para cada subproduto é na generalidade fixa variando de modelo para modelo consoante as dimensões de cada segmento de motor. Para além das quantidades de encomendas para subprodutos, este plano também tem a data prevista de entrega e a situação em que se encontra uma encomenda no momento em que o ficheiro apresentado foi gerado. Uma vez mais nas tabelas analisadas a operação que está com um X e a verde significa que esta já foi processada, a operação que está com um P e a amarelo significa que esta se encontra em processamento no momento e a que está com a letra O significa que é opcional.

Foram igualmente facultadas pela empresa, tabelas com a produtividade de cada operação para cada subproduto das duas séries. Estas tabelas requereram algum tratamento devido ao facto de os dados referentes à produtividade que se encontravam nas tabelas, estarem por cada peça e também por unidade de tempo (por hora). Para uma melhor análise e posteriormente leitura dos dados para o simulador fizeram-se duas tabelas, uma para a série Otto e outra para a I-shaped com os tempos de operação para cada subproduto para a quantidade de encomenda típica

analisada, que se encontra nas tabelas 17 e 18 do anexo D. Nestas duas tabelas também se pode visualizar que operações sofrem cada referência de cada produto.

Outro dos dados necessários foram os tempos de setup. Após análise junto da empresa foi possível saber que existem tempos de setup quando há mudança de lote num equipamento, mas que os valores são muito baixos, em relação ao tempo total de processamento de cada produto. Infelizmente não foi possível confirmar o valor certo dos tempos de setup, sendo que no simulador estes foram ignorados.

Por fim, outros dos dados que não foram considerados, foram os tempos de movimentação de matéria-prima entre operações, devido ao facto de serem muito baixos e assim não relevantes tendo em conta o tempo total de fabrico das encomendas.

### **3.3. Selecção dos parâmetros para a realização da simulação**

Para a realização das simulações teve-se que definir vários parâmetros como o tempo de aquecimento (Warm up time), o tempo de simulação, o número de series a realizar e o número de encomendas a simular no sistema.

O tempo de aquecimento é o tempo que se define para colocar uma produção a funcionar antes de começar a registar resultados. Isto é particularmente importante porque as indústrias normalmente não trabalham em vazio. Para se ter os resultados próximos aos da realidade, definiu-se este tempo em cinco dias para que o sistema produtivo esteja a funcionar em pleno.

O tempo de simulação definiu-se em vinte e cinco dias para se ter um bom intervalo para uma análise mais precisa dos resultados e realizou-se uma série de cinco trials, i.e., cinco corridas de cada modelo.

Foi tido também em conta que a empresa no qual se está a fazer o estudo funciona 24 horas por dia, durante os cinco dias úteis, estando encerrada ao fim de semana.

As encomendas que foram simuladas no simulador foram as que estavam no plano de produção, que já foi anteriormente citado e que se encontra no anexo C. Apenas as encomendas que não se encontravam em processamento foram consideradas. Da série Otto as encomendas seleccionadas são cerca de treze e da serie I-shaped são cerca de dezassete.

Na tabela 1 encontram-se as encomendas da série Otto que foram alvo de estudo. Tipicamente cada referência tem uma quantidade de encomenda associada, e tem a data de entrega planeada para posteriormente fazer a análise se foram produzidas dentro do prazo planeado.

Para uma melhor aproximação dos resultados em relação à realidade foram lançadas no simulador três vezes estas encomendas, ou seja encomendas de trinta e nove produtos, assim como para análise e discussão de resultados foram tidas em conta apenas a segunda gama de encomendas.

<b>Série Otto</b>			
Nº	Referência do produto	Quantidade	Data de Entrega Planeada
7	AN0072089-00B00950	5000	07-Dez
5	AN0071278-00B00950	12000	13-Dez
5	AN0071278-00B00950	12000	13-Dez
5	AN0071278-00B00950	12000	13-Dez
10	AN0074142-00000950	5000	14-Dez
5	AN0071278-00B00950	12000	20-Dez
10	AN0074142-00000950	5000	20-Dez
10	AN0074142-00000950	5000	20-Dez
10	AN0074142-00000950	2500	23-Dez
1	AN0024932-00000950	12000	23-Dez
9	AN0072326-00000950	6000	23-Dez
5	AN0071278-00B00950	12000	23-Dez
5	AN0071278-00B00950	12000	23-Dez

**Tabela 1 - Encomendas da série Otto que foram consideradas para a simulação.**

Na tabela 2 encontram-se as encomendas da série I-shaped que foram alvo de estudo. Tipicamente cada referência tem uma quantidade de encomenda associada, e tem a data de entrega planeada para posteriormente fazer a análise se foram produzidas dentro do prazo planeado.

Para uma melhor aproximação dos resultados em relação à realidade foram lançadas no simulador três vezes estas encomendas, ou seja encomendas de cinquenta e um produtos e para análise e discussão de resultados foram tidas em conta apenas a segunda gama de encomendas.

Série I-shaped			
Nº	Referência do produto	Quantidade	Data de Entrega Planeada
15	AN0070445-00000950	2800	07-Dez
15	AN0070445-00000950	2800	07-Dez
15	AN0070445-00000950	2800	07-Dez
15	AN0070445-00000950	2800	07-Dez
15	AN0070445-00000950	2800	07-Dez
3	AN0070369-00000950	2800	13-Dez
3	AN0070369-00000950	2800	13-Dez
16	AN0072106-00B00950	8000	13-Dez
16	AN0072106-00B00950	8000	13-Dez
18	AN0072920-00B00950	8000	13-Dez
7	AN0070445-00000950	2800	16-Dez
7	AN0070445-00000950	2800	16-Dez
7	AN0070445-00000950	2800	16-Dez
7	AN0070445-00000950	2800	15-Dez
9	AN0070740-00000950	2000	16-Dez
9	AN0070740-00000950	2000	16-Dez
9	AN0070740-00000950	2000	16-Dez

**Tabela 2 - Encomendas da série I-shaped que foram consideradas para a simulação.**

### **3.4. Criação do modelo de simulação para o layout actual da empresa**

Após a recolha e tratamento dos dados iniciou-se a criação dos modelos no simulador Simul8.

O objecto que circula no sistema considerou-se como encomenda devido ao facto de a empresa produzir sempre encomendas de clientes e não para produção de stock interno e também devido aos dados fornecidos sobre a produtividade serem em unidades produzidas por unidade de tempo (por hora).

Como no layout da fábrica havia duas linhas de fabrico de séries diferentes (I-shaped e a Otto) construíram-se duas linhas de montagem, tal como no layout que foi fornecido. Nas operações partilhadas (operações que são feitas na linha I-shaped e na Otto) colocaram-se Resources (Recursos), para que assim se garanta que haja apenas um equipamento disponível para as duas linhas.

Para a entrada das encomendas no sistema e também para a definição das rotas de cada produto fez-se uma interface de ligação entre o simulador Simul8 e o Microsoft Excel, como se pode ver na figura 5. Isto permitiu a simplificação na parte das entradas de encomendas no sistema e também na definição das rotas, sendo a qualquer momento possível carregar as encomendas que se pretendem simular sem ter que interferir no próprio simulador.

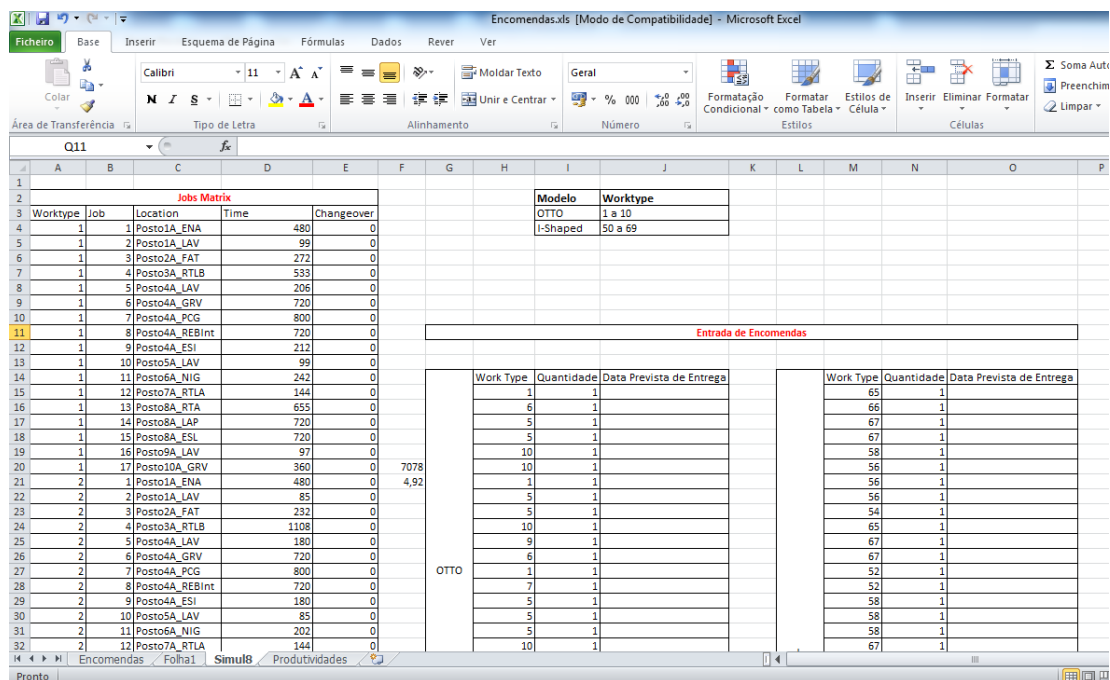
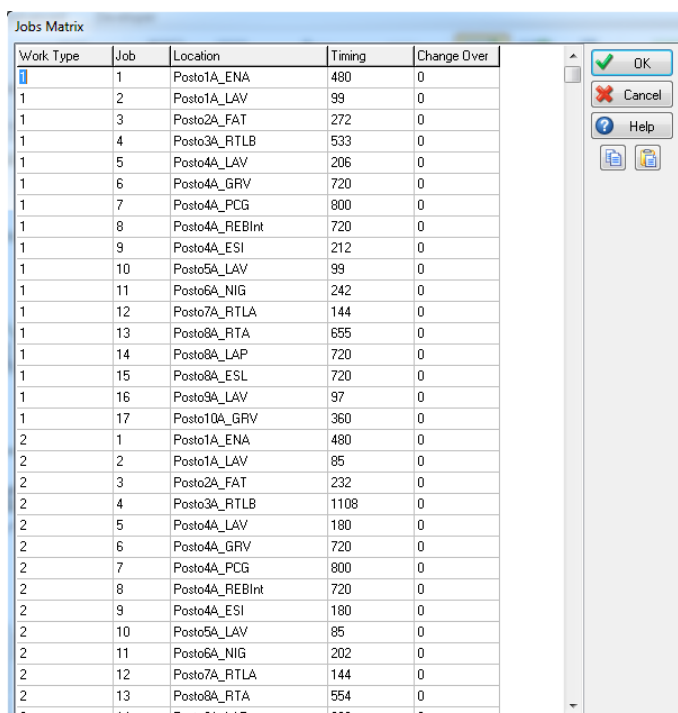


Figura 5 - Interface de ligação entre o simulador Simul8 e o Microsoft Excel.

Para distinguir as rotas utilizou-se a opção Jobs Matrix, como está apresentado na figura 6, em que esta opção permite que se definam as rotas para cada uma das referências de segmentos e também definir o tempo de cada operação. Como neste modelo havia cerca de vinte e nove referências de produtos, considerando as gamas Otto e I-Shaped, esta opção tornou-se a mais eficaz para fazer a distinção de rotas e dos tempos de processamento associados.



Work Type	Job	Location	Timing	Change Over
1	1	Posto1A_ENA	480	0
1	2	Posto1A_LAV	99	0
1	3	Posto2A_FAT	272	0
1	4	Posto3A_RTLLB	533	0
1	5	Posto4A_LAV	206	0
1	6	Posto4A_GRV	720	0
1	7	Posto4A_PCG	800	0
1	8	Posto4A_REBInt	720	0
1	9	Posto4A_ESI	212	0
1	10	Posto5A_LAV	99	0
1	11	Posto6A_NIG	242	0
1	12	Posto7A_RTLLA	144	0
1	13	Posto8A_RTA	655	0
1	14	Posto8A_LAP	720	0
1	15	Posto8A_ESL	720	0
1	16	Posto9A_LAV	97	0
1	17	Posto10A_GRV	360	0
2	1	Posto1A_ENA	480	0
2	2	Posto1A_LAV	85	0
2	3	Posto2A_FAT	232	0
2	4	Posto3A_RTLLB	1108	0
2	5	Posto4A_LAV	180	0
2	6	Posto4A_GRV	720	0
2	7	Posto4A_PCG	800	0
2	8	Posto4A_REBInt	720	0
2	9	Posto4A_ESI	180	0
2	10	Posto5A_LAV	85	0
2	11	Posto6A_NIG	202	0
2	12	Posto7A_RTLLA	144	0
2	13	Posto8A_RTA	554	0

Figura 6 - Funcionalidade Jobs Matrix no Simul8 para distinção de rotas para cada tipo de produto.

Em conjunto com os Jobs Matrix criaram-se algumas labels (etiquetas) como a “Work Type”, “Job” e “Time”. As labels “Work Type” e “Job” têm o objectivo de distinguir cada uma das encomendas no sistema para que a funcionalidade Jobs Matrix funcione correctamente. A label “Time” tem o objectivo de guardar numa variável o tempo de entrada e saída de cada encomenda no sistema, para depois poder fazer uma análise sobre os tempos de produção de cada encomenda.

Por fim a figura 7 representa o aspecto do modelo final do simulador. Este layout consiste no modelo de produção das duas séries de segmentos de motor, a gama Otto e I-shaped. O modelo de simulação foi criado sobre o fundo do layout de fabrico, em que cada operação (Work Center) está junto de um ponto (conjunto de operações) para uma melhor percepção e análise do utilizador.



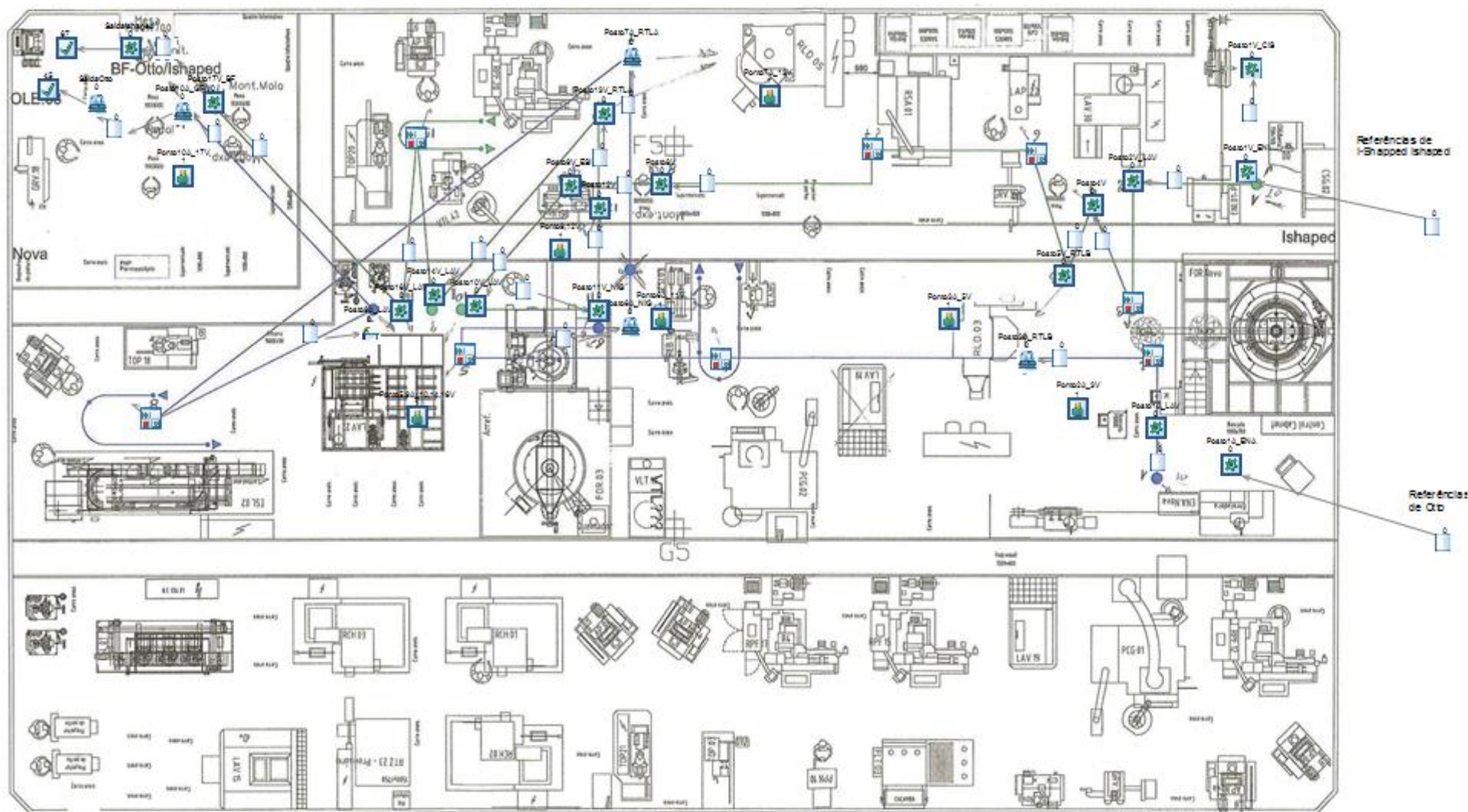


Figura 7 - Modelo final do simulador para o layout actual.

### **3.5. Modelo de simulação para o primeiro layout alternativo**

O primeiro layout alternativo proposto consiste em duas linhas (Otto e I-shaped) totalmente independentes sem que haja qualquer equipamento partilhado entre a produção das séries Otto e I-shaped. A empresa inclusive fez a proposta de estudo deste layout devido ao facto de ter sentido que no layout actual, existiam alguns equipamentos que criavam algum estrangulamento no fluxo de produção. Portanto vão-se comparar o layout actual com esta proposta alternativa, para verificar se esta conduz a alguma melhoria no tempo de produção de cada encomenda, na redução de atrasos de entrega de encomendas em relação ao planeado e/ou na taxa de utilização de cada equipamento.

Para a construção do modelo para esta alternativa de layout, apenas foi necessário editar o modelo do layout actual e excluir os equipamentos que estavam partilhados, neste caso os chamados recursos, no software Simul8.

Os parâmetros para efectuar as simulações foram iguais para todos os modelos de simulação realizados.

### **3.6. Modelo de simulação para o segundo layout alternativo**

O segundo layout alternativo proposto consiste na produção das duas séries (Otto e I-shaped) com partilha de um maior número de equipamentos para além dos que existem no layout actual, sempre que haja as mesmas operações nas duas series.

No total foram utilizados doze equipamentos partilhados em que se realizam cerca de trinta e uma operações entre as séries Otto e I-shaped.

Esta opção foi tomada porque se verificou, através de testes preliminares que no layout actual as taxas de utilização dos equipamentos para as duas séries eram na generalidade bastante reduzidos, o que quer dizer que estão em sub-rendimento. Para uma melhoria na produtividade é muito importante que haja o mínimo de equipamentos necessários para fazer as operações, com uma taxa de utilização elevada e com o mínimo de desperdícios.

Portanto esta alternativa será comparada com o layout actual e também com o primeiro layout alternativo, para verificar se houve um incremento na taxa de utilização dos equipamentos e se houve alguma melhoria ou uma degradação no tempo de produção de cada encomenda e por fim verificar se houve uma redução ou incremento de atrasos de entrega de encomendas em relação ao planeado.

Para a construção do modelo para este layout, apenas foi necessário editar o modelo do layout real e partilhar os equipamentos em todas as operações que sejam semelhantes nas duas linhas.

Os parâmetros para efectuar as simulações foram iguais para todos os modelos de simulação realizados.

### **3.7. Limitações dos modelos**

Numa fase inicial a cooperação entre a empresa e o departamento de engenharia mecânica da Universidade de Coimbra foi total, com a empresa a entregar dados iniciais quando o departamento pediu para a elaboração da dissertação. Com o avançar do tempo foram necessários mais alguns dados para a elaboração do modelo de simulação que foram sendo solicitados à empresa. No entanto, verificou-se uma quebra de interesse e cooperação por parte da empresa com o DEM para a elaboração deste projecto. Quando eram solicitados dados ou pedidos de reunião a resposta não existia ou a empresa referia que a carga de trabalho a que estava sujeita não lhe permitia responder aos pedidos.

Devido ao facto do trabalho estar bastante avançado e a data de entrega da dissertação estar próxima, decidiu-se continuar com este trabalho até ao fim tendo que ter em atenção que os resultados obtidos no modelo de simulação não terem sido aferidos por um responsável da empresa para verificar a validade dos mesmos.

Outra das limitações do modelo é a questão dos tempos de mudança de ferramenta em cada equipamento. Após uma reunião com um elemento da empresa foi possível saber que existem tempos de mudança de ferramentas e de manutenção sempre que existe uma mudança de produto a entrar nos equipamentos. Contudo, não foi possível saber esses mesmos tempos, dado que não houve respostas por parte deles, como foi anteriormente citado. Posto isto, os tempos de setup não foram tidos em conta para a realização do simulador.

Por fim, outro dos dados que não foram considerados, foram os tempos de movimentação de matéria-prima entre operações, devido ao facto de serem muito baixos e assim não relevantes tendo em conta o tempo total de fabrico das encomendas.

Finalmente a quebra de contactos imposta pela empresa obrigou a definição de várias assunções que não puderam ser verificadas. Por exemplo, assumiu-se que a transferência de um lote entre dois equipamentos só ocorre quando este está concluído. Durante os testes de simulação percebeu-se que o desempenho do sistema, essencialmente no que diz respeito à taxa de ocupação dos equipamentos, poderia ser melhor se os lotes fossem sendo transferidos entre equipamento em sub lotes. No entanto, não foi possível verificar se esta é a opção da empresa. Muitas outras situações reais poderiam ter sido integradas no simulador mas a ausência de dados não o permitiu.

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Depois de concluída a construção e definição do modelo fez-se a análise e discussão dos resultados obtidos. Por isso mesmo foram analisados e discutidos os resultados para o layout actual e também para dois layouts alternativos a fim de se analisar os prós e contras de cada um e verificar qual o melhor para melhorar a produtividade.

Na tabela 3 visualizam-se os equipamentos que são partilhados por ambas as séries. Como se pode visualizar no layout actual há cerca de seis equipamentos partilhados com uma taxa de utilização média de cinquenta e cinco por cento. No segundo layout alternativo, há cerca de doze equipamentos partilhados com uma taxa de utilização semelhante ao primeiro, com cinquenta e seis por cento. A taxa de utilização nos dois layouts é semelhante, contudo existe o dobro dos equipamentos partilhados no segundo layout alternativo.

Nº	Equipamento/Operação Partilhada	Operações efectuadas		Layout Actual	Layout Alternativo 2
		Série Otto	Série I-shaped	Utilização	Utilização
1	Forno alívio tensões	2A	3V	42,99%	42,99%
2	Rectificação lateral bruta	3A	4V	84,90%	84,90%
3	Lavagem	5A e 9A	8V,11V e 13V	51,84%	52,51%
4	Nitruração Gasosa	6A	9V	45,80%	47,38%
5	Rectificação Lateral Acabada	7A	10V	55,05%	55,62%
6	Gravação Laser	10A	14V	49,60%	49,60%
7	Lavagem	1A e 4A	2V e 5V	N	35,51%
8	Escovamento Externo	4A e 8A	6V e 12V	N	56,56%
9	Gravação Engraver	4A	5V	N	49,52%
10	Lapidação Bruta	4A	6V	N	28,37%
11	Lapidação Acabada	8A	12V	N	92,58%
12	Rectificação Topo Acabada	8A	12V	N	72,56%
				<b>Média</b>	<b>Média</b>
				<b>55,03%</b>	<b>55,68%</b>

Tabela 3 - Equipamentos que são partilhados entre as duas séries.

---

## 4.1. Série Otto

Na tabela 4 são visualizadas as taxas de utilização em cada operação, os tempos de espera de cada encomenda em cada operação e a média do número de encomendas em fila de espera para cada equipamento, dos três layouts.

Pode-se visualizar que existe uma diferença substancial da taxa de utilização de equipamento para equipamento. Isto deve-se do facto de haver uma diferença bastante elevada de produtividade em cada operação, o que pode criar alguns estrangulamentos no fluxo da produção.

No layout actual as taxas de utilização dos equipamentos em média são cerca de trinta e oito por cento, havendo muita diferença de utilização entre eles. Isto deve-se ao facto de haver uma diferença bastante elevada de produtividade de operação para operação, o que pode criar alguns estrangulamentos no fluxo de produção.

Outro dos pontos que se pode analisar é que existem cerca de três operações neste layout e no segundo alternativo (2A- forno de alívio tensões e 3A- rectificação lateral bruta e 8A- rebaixo interno) que tem tempos de espera muito elevados, o que cria pontos de estrangulamento no sistema. As duas primeiras correspondem a operações que são realizadas em equipamentos partilhados. No caso da operação no forno de alívio de tensões, pode-se constatar que a sua produtividade é bastante reduzida em relação às operações anteriores, o que provoca um estrangulamento no sistema e cria tempos médios de espera muito elevados.

As tabelas com as produtividades de ambas as séries podem ser visualizadas no anexo D.

No primeiro layout alternativo as taxas de utilização dos equipamentos são mais reduzidas em relação ao primeiro layout. Isto deve-se ao facto que no layout dois, as linhas serem totalmente independentes e por isso cada equipamento só realiza operações da sua linha, o que provoca uma diminuição da taxa de utilização dos mesmos.

Contudo no segundo layout alternativo as taxas de utilização em muitos equipamentos subiram consideravelmente em relação ao primeiro layout. Isto porque houve um aumento do número de equipamentos que foram partilhados entre as duas linhas e assim conseguiu-se uma melhor taxa de utilização dos mesmos.

No layout actual, em média cada encomenda demora cerca de 932 minutos até ser começada a ser processada em cada equipamento, o que demonstra ser um valor bastante elevado e sinal que existe alguns equipamentos a criar estrangulamento no fluxo produtivo.

No primeiro layout alternativo houve uma considerável melhoria, esse tempo baixou quase cerca de 100 minutos para 837 minutos, o que é normal fruto das linhas serem totalmente independentes.

Contudo, no segundo layout alternativo esse tempo aumentou para cerca de 924 minutos, que é muito próximo do tempo do layout actual.

A análise destes resultados deve ser feita com algum cuidado porque como referido anteriormente, estes não foram aferidos com algum elemento da empresa para verificar a sua validade.

Série Otto									
Operação	Layout actual			Layout alternativo 1			Layout alternativo 2		
	Taxa de utilização	Média do tempo de espera (em min.)	Equipamento Partilhado	Taxa de utilização	Média do tempo de espera (em min.)	Equipamento Partilhado	Taxa de utilização	Média do tempo de espera (em min.)	Equipamento Partilhado
1A - Enrolamento Anel	18,33%	0	N	18,33%	0	N	18,33%	0	N
1A - Lavagem	3,78%	0	N	3,78%	0	N	35,51%	0	7
2A - Forno Alivio tensões	42,99%	3799	1	13,94%	69	N	42,99%	3799	1
3A - Rectificação lateral bruta	84,90%	8930	2	51,81%	7395	N	84,90%	8930	2
4A - Lapidação bruta	4,08%	0	N	3,70%	0	N	28,37%	162	10
4A - Lavagem	13,58%	0	N	12,29%	0	N	35,51%	3	7
4A - Gravação Engraver	46,87%	94	N	44,30%	307	N	49,52%	93	9
4A - Rectificação perfil	65,71%	269	N	63,95%	1421	N	65,71%	249	N
4A - Rebaixo Interno	6,00%	0	N	6,00%	0	N	6,00%	0	N
4A - Escovamento Interno	18,56%	13	N	18,51%	10	N	18,56%	36	N
4A - Escovamento Externo	5,00%	0	N	5,00%	0	N	56,56%	0	8
5A - Escovamento Lateral	19,33%	0	N	18,22%	0	N	19,33%	0	N
5A - Lavagem	51,84%	40	3	6,78%	0	N	52,51%	13	3
6A - Nitruração Gasosa	45,80%	70	4	20,23%	2	N	47,38%	81	4
7A - Rectificação lateral acabada	55,05%	144	5	27,79%	18	N	55,62%	112	5
8A - Rectificação topo acabada	43,35%	29	N	43,03%	25	N	72,56%	110	12
8A - Lapidação acabada	57,76%	193	N	56,79%	259	N	92,58%	418	11
8A - Rebaixo Interno	93,91%	5868	N	95,46%	8047	N	93,47%	5261	N
8A - Escovamento Lateral	20,00%	42	N	20,00%	11	N	20,00%	43	N
9A - Lavagem	51,84%	46	3	6,86%	0	N	52,51%	31	3
10A - Gravação laser	49,60%	40	6	30,67%	13	N	49,60%	53	6
	<b>Média</b>	<b>Média</b>		<b>Média</b>	<b>Média</b>		<b>Média</b>	<b>Média</b>	
	<b>38,01%</b>	<b>932</b>		<b>27,02%</b>	<b>837</b>		<b>47,50%</b>	<b>924</b>	

Nota: As operações que estão com fundo colorido, são efectuadas em equipamentos partilhados entre as duas linhas, sendo que a % de utilização refere-se à do equipamento

Tabela 4 - Comparação das taxas de utilização e tempo médio de espera para a série Otto para os 3 layouts.



Na tabela 5 fez-se uma análise para os três layouts do tempo de cada encomenda na linha produção, o tempo desde a encomenda à entrega ao cliente e uma comparação da data real de entrega relativamente à prevista.

Pode-se verificar que no layout actual o tempo médio de produção de cada encomenda é cerca de aproximadamente de quinze dias, sendo que o tempo desde o lançamento da encomenda no sistema até a entrega sobe ligeiramente para cerca de dezasseis dias. Já no primeiro layout alternativo o tempo médio de produção diminui, como era de esperar, para cerca de doze dias sendo que o tempo desde o lançamento no sistema até a entrega sobe para quatorze dias. Este resultado está em conta com o esperado, devido do facto de as duas linhas serem totalmente independentes o que leva a haver menos utilização dos equipamentos e por isso menos estrangulamentos e consequentemente menos tempo de produção. Contudo no segundo layout alternativo, o tempo médio de produção aumentou para quinze dias, sendo que o tempo desde o lançamento no sistema até a entrega sobe para cerca de dezasseis dias.

Em relação às datas de entrega pode-se verificar que nos três layouts houve falhas nas datas de entrega em relação ao previsto. No layout actual, das treze encomendas analisadas, cerca de seis foram entregues com atraso, com uma média de atraso de cerca três dias. No primeiro layout alternativo, cinco das encomendas analisadas foram entregues com atraso, sendo que o atraso foi menor, com uma média de dois dias. Este menor atraso justifica-se com o tempo médio de produção ter diminuído em um dia em relação aos outros layouts e consequentemente o atraso médio também diminui. Contudo no segundo layout alternativo houve uma degradação no atraso, sendo que as encomendas realizadas foram entregues com três dias de atraso, tal como no layout actual.

Os valores do tempo de produção de cada encomenda parecem bastante elevados e talvez não representem totalmente a realidade. Na realidade as encomendas talvez sejam repartidas em vários lotes e dessa forma os tempos de produção das encomendas reduziriam.

Contudo, como enunciado anteriormente não foi possível confirmar a validade dos resultados com um elemento da empresa.

Série Otto															
			Layout actual				Layout Alternativo 1				Layout Alternativo 2				
Nº referenci a	Referênci a do Produto	Númer o de Operaç ões	Temp o na linha em dias	Tempo total desde encomen da à entrega (em dias)	Data de Entreg a Real	Atraso na Entreg a (em dias)	Temp o na linha em dias	Tempo total desde encomen da à entrega (em dias)	Data de Entreg a Real	Atraso na Entreg a (em dias)	Temp o na linha em dias	Tempo total desde encomen da à entrega (em dias)	Data de Entreg a Real	Atraso na Entreg a (em dias)	Data de Entreg a Previst a
7	AN0072089	15	8,36	8,36	08-Dez	1	4,85	4,85	02-Dez	0	8,60	8,60	08-Dez	1	07-Dez
5	AN0071278	15	9,35	9,68	09-Dez	0	7,48	7,81	07-Dez	0	10,21	10,54	12-Dez	0	13-Dez
5	AN0071278	15	9,91	10,58	12-Dez	0	7,81	8,48	08-Dez	0	10,43	11,10	13-Dez	0	13-Dez
5	AN0071278	15	10,68	11,68	13-Dez	0	8,14	9,14	09-Dez	0	11,04	12,04	14-Dez	1	13-Dez
10	AN0074142	18	16,12	17,25	21-Dez	7	15,29	16,43	20-Dez	6	15,84	16,98	20-Dez	6	14-Dez
5	AN0071278	15	11,27	12,75	14-Dez	0	8,61	10,09	12-Dez	0	11,38	12,85	14-Dez	0	20-Dez
10	AN0074142	18	17,38	18,99	22-Dez	2	17,00	18,61	22-Dez	2	17,38	18,99	22-Dez	2	20-Dez
10	AN0074142	18	19,28	21,03	27-Dez	7	18,82	20,57	26-Dez	6	19,57	21,32	27-Dez	7	20-Dez
10	AN0074142	18	21,25	23,14	29-Dez	6	20,77	22,66	28-Dez	5	22,05	23,94	29-Dez	6	23-Dez
1	AN0024932	17	13,49	15,71	19-Dez	0	10,05	12,28	14-Dez	0	12,85	15,07	19-Dez	0	23-Dez
9	AN0072326	20	23,68	26,07	03-Jan	11	23,29	25,68	02-Jan	10	23,79	26,18	03-Jan	11	23-Dez
5	AN0071278	15	13,58	16,30	20-Dez	0	9,99	12,71	14-Dez	0	13,58	16,30	20-Dez	0	23-Dez
5	AN0071278	15	14,10	17,15	21-Dez	0	10,32	13,38	15-Dez	0	14,91	17,96	21-Dez	0	23-Dez
			<b>Média</b>	<b>Média</b>		<b>Média</b>	<b>Média</b>	<b>Média</b>		<b>Média</b>	<b>Média</b>	<b>Média</b>		<b>Média</b>	
			<b>14,50</b>	<b>16,05</b>		<b>2,62</b>	<b>12,49</b>	<b>14,05</b>		<b>2,23</b>	<b>14,74</b>	<b>16,30</b>		<b>2,62</b>	

Tabela 5 - Comparação dos tempos de produção e datas de entregas real dos 3 layouts para série Otto.

---

## 4.2. Série I-shaped

Na tabela 6 são mostradas as taxas de espera e de utilização em cada operação, os tempos de espera de cada encomenda em cada operação e a média do número de encomendas em fila de espera para cada equipamento, dos três layouts.

Pode-se visualizar que existe uma diferença substancial da taxa de utilização de equipamento para equipamento. Isto deve-se do facto de haver uma diferença bastante elevada de produtividade em cada operação, o que pode criar alguns estrangulamentos no fluxo da produção.

No layout actual as taxas de utilização dos equipamentos em média são cerca de trinta por cento, havendo muita diferença de utilização entre eles. Isto deve-se ao facto de haver uma diferença bastante elevada de produtividade de operação para operação, o que pode criar alguns estrangulamentos no fluxo da produção.

Outro dos pontos que se pode analisar é que existe cerca de duas operações no layout de chão de fábrica (3V- forno de alívio tensões e 4V- rectificação lateral bruta) que tem tempos de espera muito elevados, o que cria pontos de estrangulamento no sistema. Estas operações são realizadas em equipamentos partilhados. No caso da operação no forno de alívio de tensões, pode-se constatar que a sua produtividade é bastante reduzida em relação às operações anteriores, o que provoca um estrangulamento no sistema e cria tempos médios de espera muito elevados.

As tabelas com as produtividades de ambas as series podem ser visualizadas no anexo D.

No primeiro layout alternativo as taxas de utilização dos equipamentos são mais reduzidas em relação ao primeiro layout com uma média de quatorze por cento. Isto deve-se ao facto de neste layout, as linhas serem totalmente independentes e por isso

cada equipamento só realiza operações da sua linha, o que provoca uma diminuição da taxa de utilização dos mesmos.

Contudo no segundo layout alternativo as taxas de utilização em muitos equipamentos subiram consideravelmente em relação ao primeiro layout. A média de utilização subiu de trinta por cento no layout actual para cerca de quarenta e dois por cento. Isto porque houve um aumento do número de equipamentos que foram partilhados entre as duas linhas e assim conseguiu-se uma melhor taxa de utilização dos mesmos.

No layout actual, em média cada encomenda demora cerca de 908 minutos até começar a ser processada em cada equipamento, o que demonstra ser um valor bastante elevado e sinal que existem alguns equipamentos a criar estrangulamento no fluxo produtivo.

No primeiro layout alternativo houve uma significativa melhoria, esse tempo baixou cerca de 700 minutos para 212 minutos, o que é normal fruto das linhas serem totalmente independentes e assim ter reduzido os estrangulamentos no sistema.

Contudo no segundo layout alternativo esse tempo aumentou para cerca de 996 minutos, que é um pouco superior ao tempo do layout actual, que também é normal visto que neste layout alternativo o número de equipamentos partilhados é bastante elevado, o que faz com que a taxa de utilização aumente e crie alguns estrangulamentos.

A análise destes resultados deve ser feita com algum cuidado porque como referido anteriormente, estes não foram aferidos com algum elemento da empresa para verificar a sua validade.

Série I-shaped									
Operação	Layout actual			Layout alternativo 1			Layout alternativo 2		
	Taxa de utilização	Média do tempo de espera (em min.)	Equipamento Partilhado	Taxa de utilização	Média do tempo de espera (em min.)	Equipamento Partilhado	Taxa de utilização	Média do tempo de espera (em min.)	Equipamento Partilhado
1V - Enrolamento Anel	8,93%	0	N	8,93%	0	N	8,93%	0	N
1V - Corte Anel	10,04%	200	N	10,04%	200	N	10,04%	200	N
2V - Lavagem	5,09%	0	N	5,09%	0	N	35,51%	0	7
3V - Forno Alivio tensões	42,99%	8269	1	17,38%	1601	N	42,99%	8269	1
3V - Decapagem	0,19%	164	N	0,19%	0	N	0,19%	164	N
4V - Rectificação lateral bruta	84,90%	10529	2	17,62%	242	N	84,90%	10529	2
5V - Lavagem	12,06%	0	N	7,83%	1	N	35,51%	11	7
5V - Gravação engraver	2,49%	0	N	1,24%	19	N	49,52%	468	9
6V - Rectificação perfil acabada	24,89%	144	N	16,98%	466	N	24,89%	146	N
6V - Lapidação bruta	24,20%	26	N	15,00%	135	N	28,37%	48	10
6V - Escovamento externo	25,14%	10	N	16,73%	60	N	56,56%	28	8
7V - Escovamento interno	15,88%	4	N	10,58%	7	N	16,19%	50	N
8V - Lavagem	51,84%	35	3	8,52%	2	N	35,51%	48	7
9V - Nitruração gasosa	45,80%	30	4	18,69%	83	N	47,38%	58	4
10V - Rectificação lateral acabada	55,05%	146	5	19,73%	292	N	55,62%	203	5
11V - Lavagem	51,84%	84	3	9,79%	6	N	52,51%	98	3
12V - Rectificação perfil acabada	9,15%	28	N	6,67%	147	N	10,00%	1	N
12V - Rectificação topo acabada	29,21%	25	N	23,72%	273	N	72,56%	241	12
12V - Escovamento externo	26,18%	8	N	21,56%	38	N	56,56%	11	8
12V - Lapidação acabada	34,88%	185	N	32,18%	1086	N	92,58%	1221	10
13V - Lavagem	51,84%	37	3	12,03%	8	N	52,51%	29	3
14V - Gravação laser	49,60%	53	6	17,42%	7	N	49,60%	87	6
	<b>Média</b>	<b>Média</b>		<b>Média</b>	<b>Média</b>		<b>Média</b>	<b>Média</b>	
	<b>30,10%</b>	<b>908</b>		<b>13,54%</b>	<b>212</b>		<b>41,75%</b>	<b>996</b>	

Nota: As operações que estão com fundo colorido, são efectuadas em equipamentos partilhados entre as duas linhas, sendo que a % de utilização refere-se à do equipamento

Tabela 6 - Comparação das taxas de utilização e tempo médio de espera para a série I-shaped para os 3 layouts.

Na tabela 7 fez-se uma análise para os três layouts o tempo de cada encomenda na linha produção, o tempo desde a encomenda à entrega ao cliente e uma comparação data real de entrega relativamente à prevista.

Pode-se verificar que no layout actual o tempo médio de produção de cada encomenda é cerca de aproximadamente de quatorze dias, sendo que o tempo desde o lançamento da encomenda no sistema até a entrega sobe ligeiramente para cerca de quinze dias. Já no primeiro layout alternativo o tempo médio de produção diminui para cerca de 1/3, para cinco dias, sendo que o tempo desde o lançamento no sistema até a entrega sobe para seis dias. Este resultado está em conta com o esperado, devido ao facto de as duas linhas serem totalmente independentes que leva a haver menos utilização dos equipamentos e por isso menos estrangulamentos e consequentemente menos tempo de produção. Contudo no segundo layout alternativo, o tempo médio de produção aumentou para quinze dias, sendo que o tempo desde o lançamento no sistema até a entrega sobe para cerca de dezasseis dias, o que se trata de um valor semelhante ao do layout actual.

Em relação às datas de entrega pode-se verificar que dos três layouts, dois deles houve falhas nas datas de entrega em relação ao previsto. No layout actual, todas as encomendas foram entregues com atraso, com uma média de atraso de cerca cinco dias. No primeiro layout alternativo, nenhuma das encomendas foi entregue com atraso. Neste layout houve uma considerável melhoria porque o tempo médio de produção diminuiu um terço em relação aos outros layouts e consequentemente o atraso na entrega das encomendas acabou. Contudo no segundo layout alternativo houve uma degradação no atraso, sendo que as encomendas realizadas foram entregues com sete dias de atraso, sendo superior aos dois layouts analisados anteriormente.

Os valores do tempo de produção de cada encomenda parecem bastante elevados e talvez não representem totalmente a realidade. Na realidade as encomendas talvez sejam repartidas em vários lotes e dessa forma os tempos de produção das encomendas reduziriam.

Contudo, como já enunciei anteriormente não foi possível confirmar a validade dos resultados com um elemento da empresa.

Série I-shaped															
			Layout actual				Layout Alternativo 1				Layout Alternativo 2				
Nº referenci a	Referênci a do Produto	Númer o de Operaç ões	Temp o na linha em dias	Tempo total desde encomen da à entrega (em dias)	Data de Entrega Real	Atraso na Entreg a (em dias)	Tempo na linha em dias	Tempo total desde encomen da à entrega (em dias)	Data de Entrega Real	Atraso na Entreg a (em dias)	Tempo na linha em dias	Tempo total desde encomen da à entrega (em dias)	Data de Entreg a Real	Atraso na Entreg a (em dias)	Data de Entreg a Previst a
15	AN0070445	18	9,27	9,27	09-Dez	2	4,00	4,00	01-Dez	0	11,44	11,44	13-Dez	6	07-Dez
15	AN0070445	18	10,04	10,15	12-Dez	5	4,00	4,11	02-Dez	0	11,90	12,00	13-Dez	6	07-Dez
15	AN0070445	18	10,54	10,75	12-Dez	5	4,21	4,42	02-Dez	0	12,73	12,94	14-Dez	7	07-Dez
15	AN0070445	18	11,26	11,58	13-Dez	6	4,42	4,73	02-Dez	0	12,83	13,14	15-Dez	8	07-Dez
15	AN0070445	18	11,49	11,90	13-Dez	6	4,62	5,04	05-Dez	0	13,34	13,76	15-Dez	8	07-Dez
3	AN0070369	19	13,10	13,64	14-Dez	1	3,64	4,18	02-Dez	0	13,54	14,08	16-Dez	3	13-Dez
3	AN0070369	19	13,25	13,92	14-Dez	1	3,92	4,59	02-Dez	0	13,63	14,31	16-Dez	3	13-Dez
16	AN0072106	18	14,10	15,05	19-Dez	6	4,60	5,56	05-Dez	0	14,68	15,64	19-Dez	6	13-Dez
16	AN0072106	18	14,47	15,70	19-Dez	6	4,66	5,89	05-Dez	0	14,88	16,11	20-Dez	7	13-Dez
18	AN0072920	19	14,77	16,28	20-Dez	7	5,18	6,69	06-Dez	0	15,10	16,61	20-Dez	7	13-Dez
7	AN0070445	18	14,97	16,61	20-Dez	4	4,36	6,00	05-Dez	0	15,55	17,19	21-Dez	5	16-Dez
7	AN0070445	18	14,93	16,70	20-Dez	4	4,46	6,23	06-Dez	0	15,75	17,52	21-Dez	5	16-Dez
7	AN0070445	18	15,39	17,29	21-Dez	5	4,90	6,80	06-Dez	0	16,16	18,06	22-Dez	6	16-Dez
7	AN0070445	18	16,31	18,34	22-Dez	7	5,13	7,16	07-Dez	0	16,83	18,86	22-Dez	7	15-Dez
9	AN0070740	18	16,65	18,77	22-Dez	6	5,30	7,42	07-Dez	0	17,51	19,63	23-Dez	7	16-Dez
9	AN0070740	18	17,09	19,30	23-Dez	7	5,52	7,73	07-Dez	0	18,17	20,39	26-Dez	10	16-Dez
9	AN0070740	18	18,05	20,36	26-Dez	10	5,86	8,17	08-Dez	0	18,84	21,15	27-Dez	11	16-Dez
			<b>Média</b>	<b>Média</b>		<b>Média</b>	<b>Média</b>	<b>Média</b>		<b>Média</b>	<b>Média</b>	<b>Média</b>		<b>Média</b>	
			<b>13,86</b>	<b>15,04</b>		<b>5,18</b>	<b>4,63</b>	<b>5,81</b>		<b>0,00</b>	<b>14,88</b>	<b>16,05</b>		<b>6,59</b>	

Tabela 7 - Comparação dos tempos de produção e datas de entregas real dos 3 layouts para a série I-shaped.

---

### **4.3. Comparação dos três modelos analisados anteriormente**

Após a análise dos três modelos podem-se retirar algumas conclusões. No layout actual, na generalidade a taxa de utilização de cada equipamento é relativamente baixa e portanto os equipamentos estão subaproveitados. Como se pode verificar também que em média houve um atraso nas datas de entrega de aproximadamente três, cinco dias nas séries Otto e I-shaped respectivamente, o que significa que o actual layout é um pouco ineficaz. Isto deve-se sobretudo aos vários equipamentos que por terem pouca produtividade criam algum estrangulamento no sistema.

A primeira alternativa que se propôs foi criar duas linhas totalmente independentes, uma para a série Otto e outra para a série I-shaped. Como se pode verificar na tabela 8, os tempos de produção das encomendas em média diminuiram cerca de dois dias, o que é uma expressiva melhoria em relação ao layout actual. Na série I-shaped, conforme apresentado na tabela 9, houve uma redução muito significativa no tempo de produção das encomendas. Em média houve uma redução de cerca nove dias, o que é uma grande evolução em relação ao layout actual. Contudo, este layout requer um investimento avultado da empresa em maquinaria, em espaço e em funcionários.

O segundo layout alternativo foi criado na base do melhor aproveitamento dos equipamentos que estão em funcionamento. São cerca de seis equipamentos que são partilhados entre as duas linhas para além dos seis que já havia no layout actual. Conforme a tabela 8, em relação à série Otto, houve em média um aumento de cerca de sete horas no tempo de produção das encomendas, sendo que o atraso de entrega das encomendas foi em média o mesmo. Em relação à série I-shaped, conforme apresentado na tabela 9, houve um incremento em relação ao layout actual, de um dia em média no tempo de produção das encomendas e também no atraso das entregas em relação à data de entrega prevista. Neste layout cerca de dez equipamentos podiam ser vendidos ou alugados a outras empresas, o que representaria algum encaixe financeiro para a empresa para aplicar em outras áreas da empresa. Para além disso, haveria uma



clara redução de custos porque haveria menos equipamentos em funcionamento e com isso eram necessários menos funcionários. Este layout mostra-se ser bastante interessante devido do facto de se partilhar o dobro dos equipamentos em relação ao layout actual, aumentando as taxas de utilização e também do tempo médio de produção ser semelhante ao layout actual.

Série Otto					
Layout	Taxa de utilização	Média do tempo de espera para efectuar operações (em minutos)	Tempo médio de produção (em dias)	Tempo médio desde lançamento da encomenda até a entrega (em dias)	Atraso médio de entrega (em dias)
1	37,99%	851	14,50	16,05	2,62
2	24,67%	764	12,49	14,05	2,23
3	49,14%	843	14,74	16,30	2,62

Tabela 8 - Comparação dos principais critérios de desempenho dos 3 layouts para a série Otto.

Série I-shaped					
Layout	Taxa de utilização	Média do tempo de espera para efectuar operações (em minutos)	Tempo médio de produção (em dias)	Tempo médio desde lançamento da encomenda até a entrega (em dias)	Atraso médio de entrega (em dias)
1	28,20%	799	13,86	15,04	5,18
2	11,92%	187	4,63	5,81	0,00
3	38,45%	877	14,88	16,05	6,24

Tabela 9 - Comparação dos principais critérios de desempenho dos 3 layouts para a série I-shaped.

Na tabela 10 visualiza-se o número total de equipamentos utilizados nas duas linhas de produção para os três layouts analisados. No layout actual utilizou-se cerca de trinta e seis equipamentos, sendo que neste layout já havia cerca de seis que já eram partilhados entre as séries. No primeiro layout alternativo foram utilizados cerca de quarenta e cinco equipamentos, o que traduz um aumento de cerca de vinte cinco por cento. Por fim no segundo layout alternativo utilizaram-se vinte e seis equipamentos, traduzindo uma redução de vinte cinco per cento em relação ao layout chão de fábrica.

<b>Número Total de equipamentos utilizados nas duas linhas de fabricação</b>		
Layout Real	Layout alternativo 1	Layout alternativo 2
36	45	26
Diferença do número de equipamentos em relação ao layout real	Aumento de 25 %	Descida de 28%

**Tabela 10 - Comparação do número de equipamentos utilizados nos 3 layouts.**

Por fim apesar de todas as limitações que se teve nas construções dos modelos e de todas as opções que se tiveram que admitir, verificou-se que o primeiro layout alternativo apesar de melhorar o tempo de produção das encomendas, reduziria e muito a taxa de utilização dos mesmos e requeria um avultado investimento em maquinaria, espaço e em funcionários. Já o segundo layout parece bastante interessante a ser estudado pela empresa, já que para além de se reduzir o número de equipamentos necessários para fazer a fabricação das duas séries, a taxa de utilização dos equipamentos aumentou de forma expressiva com o tempo médio de produção das encomendas ser semelhante ao do layout actual.

## 5. CONCLUSÕES

Em suma, apesar de ao longo do desenvolvimento deste trabalho ter tido algumas dificuldades na obtenção de dados relevantes para o desenvolvimento do mesmo, foi possível chegar a algumas conclusões.

Pode-se concluir que, no modelo actual que foi estudado, existe um diferencial de produtividade muito elevado de equipamento para equipamento, o que provoca alguns estrangulamentos ao longo do sistema produtivo actual.

No primeiro layout alternativo, que foi estudado e proposto pela empresa, verificou-se que apesar de se ter um aumento de vinte e cinco por cento no número de equipamentos, os resultados não foram os que se esperavam quanto ao tempo médio de produção das encomendas, que não foram substancialmente inferiores em relação ao layout actual. Para além disso, levaria a que existisse uma fraca taxa de utilização dos equipamentos.

Já no segundo layout alternativo que foi proposto, verificou-se que haveria uma diminuição de vinte e oito por cento do número de equipamentos em relação ao layout actual, o que traria uma clara redução dos custos de produção para a empresa. Para além disso levaria a que a taxa de utilização dos equipamentos aumentasse de uma forma significativa com um tempo médio de produção de encomendas semelhante ao do layout actual.

Por fim, esta alternativa parece ser muito interessante a ser estudada pela empresa, não só pela diminuição do número equipamentos necessários, como também pelo aumento de utilização dos equipamentos.

As dificuldades de colaboração não permitem ter uma discussão mais profunda dos resultados obtidos nem verificar a possibilidade da sua implementação na prática. As taxas de utilização obtidas nos cenários analisados parecem ser particularmente baixas e podem indiciar que algumas das assunções tomadas não são as mais correctas. No entanto, considera-se que este trabalho foi útil, permitindo aprofundar conhecimentos na área da simulação e perceber as dificuldades associadas a este tipo de projectos.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amorim, J. F. (2009). *"Um sistema flexível para o escalonamento de operações industriais"*, Tese de mestrado. Obtido em 16 de Maio de 2012, de Universidade do Porto, Portugal: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/57518/1/000142382.pdf>
- Anton, C. I., Eidelwein, H., & Diedrich, H. (2012). *"Proposta de Melhoria no Layout da Produção de uma Empresa do Vale do Taquari"*. Obtido em 20 de Maio de 2012, de Universidade do Rio Grande do Sul, Brasil: <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/download/287/230>
- Borges, F. (2001). *"Layout" (2ª ed.)*. Obtido em 20 de Maio de 2012, de Universidade Federal Fluminense, Brasil: <http://www.uff.br/sta/textos/ar022.pdf>
- Caravilla, M. A. (1998). *"Layouts Balanceamento de Linhas"*. Obtido em 15 de Maio de 2012, de Universidade do Porto, Portugal: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/574/2/760.pdf>
- Carvalho, D. (2008). *"Introdução aos Sistemas de Produção"*. Obtido em 15 de Maio de 2012, de Universidade do Minho, Portugal: <http://pessoais.dps.uminho.pt/jdac/apontamentos/IntrodSistProd.pdf>
- Fernandes, R. C. (2008). *"Simulador de Sistemas de Produção e de Informação Industriais"*, Relatório de Projecto. Obtido em 15 de Maio de 2012, de Universidade do Porto, Portugal: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58325/2/Texto%20integral.pdf>

Ferreira, L. (2003). *"A simulação como ferramenta de apoio à decisão na engenharia da produção – O Sistema GAMS"*. Obtido em 15 de Maio de 2012, de Universidade do Minho, Portugal:  
[http://www3.dsi.uminho.pt/rmac/privatefiles/papers/2003\\_SGAPEIO\\_FerreiraPereiraMachado.pdf](http://www3.dsi.uminho.pt/rmac/privatefiles/papers/2003_SGAPEIO_FerreiraPereiraMachado.pdf)

Moreira, N. A. (2003). *"Introdução à Simulação com o Simul8"*. Obtido em 15 de Maio de 2012, de <http://www.livrosimulacao.eng.br/download/Simul8.pdf>

Silva, C. (26 de Novembro de 2008). "Acetatos sobre Sequenciamento da cadeira de Gestão da Produção do Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial da Universidade de Coimbra".

## 7. ANEXO A

Nº	Família	Referência	Rotas																						
			1		2		3		4						5		6	7	8				9	10	
			ENA	LAV	FAT	RTB	NSY	LAP	LAV	GRV	PCG	REB	ESI	ESE	ESL	LAV	NIG	NSY	RTA	LAP	RCH	ESE	ESL	LAV	BF
1	Otto	AN0024932-00000950	x	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x
2	Otto	AN0024972-00000950	x	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x
3	Otto	AN0070533-00B00950	x	x	x	n	x	x	x	x	x	n	x	n	n	x	x	x	x	x	n	n	x	x	n
4	Otto	AN0070646-00B00750	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x	x	x	n	x	n	x	n	n
5	Otto	AN0071278-00B00950	x	x	x	n	x	n	x	x	x	n	x	n	n	x	x	x	x	x	n	n	n	x	x
6	Otto	AN0072061-00B00950	x	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	n	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x	x
7	Otto	AN0072089-00B00950	x	x	x	n	x	x	x	n	n	n	x	n	n	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x
8	Otto	AN0072192-00B00750	x	x	x	n	x	x	x	n	x	n	x	n	n	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x
9	Otto	AN0072326-00000950	x	x	x	n	x	x	x	x	x	n	x	x	x	x	x	x	x	x	n	x	x	x	x
10	Otto	AN0074142-00000950	x	x	x	n	x	n	x	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	x	n	x	x	x	x

Tabela 11 - Listagem de rotas para a série otto.

<b>Operação</b>			
<b>Abreviatura</b>			<b>Descrição</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>ENA</b>	ENA (Forma)	-	Enrolamento Anel Otto
<b>LAV</b>	LAV MALTA	-	Lavagem
<b>FAT/FON</b>	-	-	Forno Alívio Tensões
<b>RTB/TOP</b>	RTOPB	RTOP	Rectificação de topo bruta
<b>NSY/RLD</b>	RTLB	NSY V5	Rectificação Lateral Bruta
<b>LAP</b>	LAP (Abaulado)	LAP-BRUTA	Lapidação Bruta
<b>LAV</b>	LAV JAVA	-	Lavagem
<b>GRV</b>	GENG	GRV (Engraver)	Gravação Engraver
<b>PCG</b>	-	-	Rectificação Perfil
<b>REB</b>	REB Int	REB	Rebaixo Interno
<b>ESI</b>	-	-	Escovamento Interno
<b>ESE</b>	ESC (Externo)	ESC	Escovamento Externo
<b>ESL</b>	ESL	LOESER	Escovamento Lateral
<b>LAV</b>	LAV MALTA	-	Lavagem
<b>NIG/FON</b>	-	-	Nitruração Gasosa
<b>NSY/RLD</b>	RTLA	NSY V5	Rectificação Lateral Acabada
<b>RTA/TOP</b>	RTOPA	RTOP	Rectificação Topo Acabada
<b>LAP</b>	LAP (Abaulado)	LAP-NO&IS	Lapidação Acabada
<b>RCH</b>	REB Int	RCH	Rebaixo Interno
<b>ESE</b>	ESC (Externo)	ESC	Escovamento Externo
<b>LAV</b>	LAV MALTA	-	Lavagem
<b>DES</b>	-	-	Desmagnetização
<b>FOL/IPL/INS</b>	-	-	Medição folga
<b>FOS</b>	-	-	-
<b>BF</b>	GRV (Laser)	LASER	Gravação Laser

Tabela 12 - Descrição das siglas de cada operação para a série otto.



### 8. ANEXO B

Nº	Família	Referência	Rota																						
			1		2		3		4		5		6		7	8	9	10	11	12			13	14	
			ENI	CIS	LAV	FAT	DEC	NSY	LAV	GRV	RPF	LAP	ESE	ESI	LAV	NIG	NSY	LAV	RPF	RTA	ESE	LAP	LAV	BF	
1	I-Shaped	AN0070341-00B00950	x	x	x	x	n	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	o	n	x	x	x	x	x	
2	I-Shaped	AN0025454-00B00950	x	x	x	x	n	x	x	x	x	n	x	x	x	x	x	o	n	x	x	n	x	x	
3	I-Shaped	AN0070369-00000950	x	x	x	x	n	x	x	x	x	n	x	x	x	x	x	x	x	x	x	n	x	x	
4	I-Shaped	AN0070395-00000950	x	x	x	x	n	x	x	x	x	n	x	x	x	x	x	x	x	x	x	n	x	x	
5	I-Shaped	AN0070419-00000950	x	x	x	x	n	x	x	x	x	n	x	x	x	x	x	x	x	x	x	n	x	x	
6	I-Shaped	AN0070422-00000950	x	x	x	x	n	x	x	x	x	n	x	x	x	x	x	x	x	x	x	n	x	x	
7	I-Shaped	AN0070445-00000950	x	x	x	x	n	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	o	n	x	x	x	x	x	
8	I-Shaped	AN0070707-00000950	x	x	x	x	n	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	o	n	x	x	x	x	x	
9	I-Shaped	AN0070740-00000950	x	x	x	x	n	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	o	n	x	x	x	x	x	
10	I-Shaped	AN0070740-00E00950	x	x	x	x	n	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	o	n	x	x	x	x	x	
11	I-Shaped	AN0070824-00B00750	x	x	x	x	n	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	o	n	x	x	x	x	x	
12	I-Shaped	AN0070824-00B00950	x	x	x	x	n	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	o	n	x	x	x	x	x	
13	I-Shaped	AN0071067-00000950	x	x	x	x	n	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	o	n	x	x	x	x	x	
14	I-Shaped	AN0071950-00000950	x	x	x	x	n	x	x	n	x	n	x	x	x	x	x	o	n	x	x	x	x	x	
15	I-Shaped	AN0072063-00B00950	x	x	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x	x	x	x	o	n	x	n	x	x	x	
16	I-Shaped	AN0072106-00B00950	x	x	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x	x	x	x	o	n	x	n	x	x	x	
17	I-Shaped	AN0072484-00000950	x	x	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x	x	x	x	o	n	x	n	x	x	x	
18	I-Shaped	AN0072920-00000950	x	x	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x	x	x	x	x	n	x	n	x	x	x	
19	I-Shaped	AN0072920-00B00950	x	x	x	x	x	x	x	n	n	x	x	x	x	x	x	x	n	x	n	x	x	x	

Tabela 13 - Listagem de rotas para a série i-shapped.

<b>Operação</b>			
<b>Abreviatura</b>			<b>Descrição</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
ENI	ENRIS	-	Enrolamento Anel I-Shaped
CIS	CSG	-	Corte Anel I-Shaped
DES	-	-	Desmagnetização
LAV	LAV MALTA	-	Lavagem
FAT/FON	-	-	Forno Alívio Tensões
DEC	-	-	Decapagem
MEXP	-	-	Montagem de Expansores
NSY/RLD	RTLB	NSY V7	Rectificação Lateral Bruta
LAV	LAV JAVA	-	Lavagem
GRV	GENG	GRV (Engraver)	Gravação Engraver
RPF/RSA	R7	-	Rectificação Perfil Bruta
LAP	LAP-BRUTA	-	Lapidação Bruta
ESE	ESC	ESC (Externo)	Escovamento Externo
DEXP	-	-	Desmontagem de Expansores
ESI	-	-	Escovamento Interno
LAV	LAV MALTA	-	Lavagem
DES	-	-	Desmagnetização
NIG/FON	-	-	Nitruração Gasosa
ESI	-	-	Escovamento Interno
MEXP	-	-	Montagem de Expansores
NSY/RLD	RTLA	NSY V7	Rectificação Lateral Acabada
LAV	LAV MALTA	-	Lavagem
RPF	R7	RPF Ac	Rectificação Perfil Acabada
RTA/TOP	RTOP	RTOPA	Rectificação Topo Acabada
ESE	ESC	ESC (Externo)	Escovamento Externo
DEXP	-	-	Desmontagem de Expansores
LAP	BOMB	LAP-NO&IS	Lapidação Acabada
LAV	LAV MALTA	-	Lavagem
MEXP	-	-	Montagem de Expansores
LAV	LAV MALTA	-	Lavagem
FOL/IPL/INS	-	-	Medição folga
BF(Bloco Final)	GRV (Laser)	LASER	Gravação Laser

Tabela 14 - Descrição das siglas de cada operação para a série i-shaped.

## 9. ANEXO C

Ref. Otto	Nº material	Ordem	QTD	25-Nov APA
7	AN0072089-00B00950	610075897	5000	07-Dez
5	AN0071278-00B00950		12000	13-Dez
5	AN0071278-00B00950		12000	13-Dez
5	AN0071278-00B00950		12000	13-Dez
10	AN0074142-00000950	651019226	5000	14-Dez
5	AN0071278-00B00950		12000	20-Dez
10	AN0074142-00000950		5000	20-Dez
10	AN0074142-00000950		5000	20-Dez
10	AN0074142-00000950		5000	23-Dez
1	AN0024932-00000950		12000	23-Dez
9	AN0072326-00000950		6000	23-Dez
5	AN0071278-00B00950		12000	23-Dez
5	AN0071278-00B00950		12000	23-Dez

**Tabela 15 - Plano de produção da série otto.**

Ref. I-shapped	Material	Ordem	Qtd.	25-Nov Data Entrega
15	AN0070445-00000950	610075822	2800	07-Dez
15	AN0070445-00000950	610075823	2800	07-Dez
15	AN0070445-00000950	610075824	2800	07-Dez
15	AN0070445-00000950	610075825	2800	07-Dez
15	AN0070445-00000950	610075826	2800	07-Dez
3	AN0070369-00000950	610076056	2800	13-Dez
3	AN0070369-00000950	610076060	2800	13-Dez
16	AN0072106-00B00950	610076051	8000	13-Dez
16	AN0072106-00B00950	610076061	8000	13-Dez
18	AN0072920-00B00950	610076059	8000	13-Dez
7	AN0070445-00000950	610076057	2800	16-Dez
7	AN0070445-00000950	610076058	2800	16-Dez
7	AN0070445-00000950	610076062	2800	16-Dez
7	AN0070707-00000950	610076055	2800	15-Dez
9	AN0070740-00000950	610076052	2000	16-Dez
9	AN0070740-00000950	610076053	2000	16-Dez
9	AN0070740-00000950	610076054	2000	16-Dez

**Tabela 16 - Plano de produção da série i-shapped.**

### 10. ANEXO D

Série Otto																									
Nº	Tempo de Operações por Operação (em minutos)	1		2		3	4						5		6	7	8				9	10		Total	Lote (em unidades)
		ENA	LAV	FAT	RTB	RTLB	LAP	LAV	GRV ENGR	PCG	REB Int	ESI	ESE	ESL	LAV	NIG	RTLA	RTA	LAP	RCH	ESE	ESL	LAV		
1	AN0024932-00000950	480	99	272		533		206	720	800	720	212		99	242	144	655	720			720	97	360	7078	12000
2	AN0024972-00000950	480	85	232		1108		180	720	800	720	180		85	202	144	554	600			1440	85	411	8025	12000
3	AN0070533-00B00950	480	99	313	600	1029	800	206	720	1200		212		99	242	288		800			960	99		8145	12000
4	AN0070646-00B00750	960	379	1036		1440	1200	600	720		1800	480		379	1286	424	1000	1200		411		379	480	14173	12000
5	AN0071278-00B00950	480	99	327		1059		206	720	960		288		99	242	288	600	720				99	480	6666	12000
6	AN0072061-00B00950	160	33	109		209		69	240	320	240	71		33	150	209	200	300				33	120	2494	4000
7	AN0072089-00B00950	200	41	154		261	375	86				88		41	200	261	250	375			200	41	120	2693	5000
8	AN0072192-00B00750	200	41	154		261	375	86		333		88		41	200	261	250	375			200	41	120	3026	5000
9	AN0072326-00000950	240	42	240		144	240	90	360	818		144	600	720	42	72	533	180	240	4000	720	42	180	9649	6000
10	AN0074142-00000950	200	41	154		261		86	300	400		100		400	41	200	261	250	429	3000	400	41	150	6713	5000

Tabela 17 - Produtividade de cada operação para cada produto da série otto.

Série I-Shapped																										
Nº	Tempo de Operações em minutos	1		2	3		4	5			6			7	8	9	10	11	12				13	14	Total	Lote
		ENI	CIS	LAV-30	FAT	DEC	RTLB	LAV-30	GRV ENGR	RPF	LAP	ESE	ESI	LAV-30	NIG	RTLA	LAV-30	RPF	RTA	ESE	LAP	LAV	GRV Laser			
1	AN0070341-00B00950	500	500	300	645		333	300		1000		500	250	300	645	214	300		429	500	667	300	200	7883	5000	
2	AN0025454-00B00950	429	429	250	600		333	250	400	1000		400	240	250	561	214	250		400	400		250	200	6856	5000	
3	AN0070369-00000950	187	187	120	280		187	120	224	460		187	112	120	410	120	120	600	224	187		120	112	4075	2800	
4	AN0070395-00000950	187	187	120	267		187	120	224	460		187	112	120	410	120	120	600	224	187		120	112	4062	2800	
5	AN0070419-00000950	67	67	43	104		67	43	80	120		67	40	43	146	43	43	214	80	67		43	40	1415	1000	
6	AN0070422-00000950	89	89	50	133		67	50	80	200		80	48	50	171	43	50	300	80	80		50	40	1750	1000	
7	AN0070445-00000950	187	187	140	292		187	140		336		187	112	140	205	120	140		224	187	336	140	112	3370	2800	
8	AN0070707-00000950	280	280	168	386		187	168		560		168	140	168	280	120	168		240	168	373	168	112	4134	2800	
9	AN0070740-00000950	133	133	100	233		133	100		343		160	96	100	224	86	100		267	160	267	100	80	2815	2000	
10	AN0070740-00E00950	133	133	100	233		133	100		343		160	96	100	224	86	100		267	160	267	100	80	2815	2000	
11	AN0070824-00B00750	178	178	100	240		133	100		343		160	96	100	224	86	100		160	160	267	100	80	2804	2000	
12	AN0070824-00B00950	178	178	100	240		133	100		343		160	96	100	224	86	100		160	160	267	100	80	2804	2000	
13	AN0071067-00000950	209	178	100	267		133	100		343		160	96	100	224	86	100		160	160	267	100	80	2862	2000	
14	AN0071950-00000950	209	178	100	267		133	100		343		160	96	100	224	86	100		160	160	267	100	80	2862	2000	
15	AN0072063-00B00950	150	150	41	141		200	41			257	150	90	41	110	200	41		120	150	180	41	120	2223	3000	
16	AN0072106-00B00950	400	400	109	356		533	109			686	400	240	109	194	533	109		320	400	480	109	320	5807	8000	
17	AN0072484-00000950	300	300	82	267		400	82			514	300	180	82	145	400	82		240	300	360	82	240	4355	6000	
18	AN0072920-00000950	400	400	109	356	34	533	109			686	240	240	109	194	533	109		320	240	480	109	320	5522	8000	
19	AN0072920-00B00950	400	400	109	356	34	533	109			686	240	240	109	194	533	109		320	240	480	109	320	5522	8000	

Tabela 18 - Produtividade de cada operação para cada produto da série i-shapped.