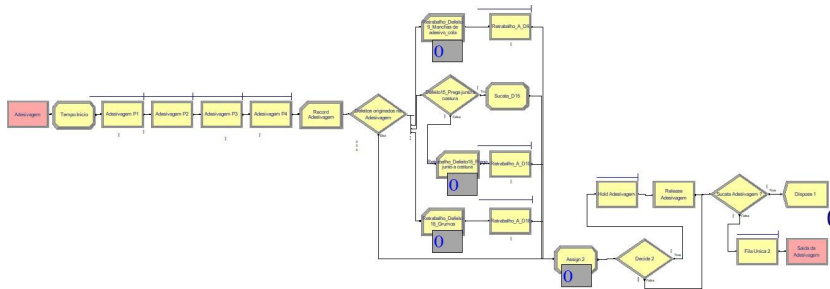


**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**



# **Desenvolvimento e simulação de metodologias *Lean* na produção. Estudo de caso**

**SURAJ NARENDRA NAROTAM LALGI**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor Vitor Manuel Rodrigues Anes

Júri:

Presidente: Doutor Pedro Miguel de Abreu e Silva

Vogais:

Doutora Ana Sofia Martins da Eira Dias

Doutor Vitor Manuel Rodrigues Anes

**novembro de 2023**





**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Departamento de Engenharia Mecânica**

**Desenvolvimento e simulação de metodologias  
*Lean* na produção. Estudo de caso**

**SURAJ NARENDRA NAROTAM LALGI**  
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Mecânica

Orientadores:

Doutor Vitor Manuel Rodrigues Anes

Júri:

Presidente: Doutor Pedro Miguel de Abreu e Silva

Vogais:

Doutora Ana Sofia Martins da Eira Dias

Doutor Vitor Manuel Rodrigues Anes

**novembro de 2023**



# Agradecimentos

Nesta dissertação, alvo de muito esforço e muitas horas dispensadas, não poderia conter esta parte, onde pretendo deixar os meus agradecimentos a todos os envolvidos ao longo de todo este percurso académico até então e a quem me suportou e apoiou.

Às pessoas mais importantes, aos meus familiares, nomeadamente, aos meus pais e as minhas irmãs, sempre me apoiaram e que em momentos maus ou bons, sempre estiveram comigo, transmitindo que confiam em mim e sempre a motivar-me, de modo que sem eles, não seria a pessoa que sou, e nem conseguiria chegar até onde cheguei.

A todos os docentes do ISEL, que sempre me demonstraram apoio e ajudaram-me sempre no que necessitava, mostrando-se sempre disponíveis para ajudar e com os quais pude aprender bastante através das suas aulas e adquirir uma certa base de conhecimentos, de modo que possa auxiliar-me na continuação do meu caminho profissional.

Às amigadas que criei no ISEL, e que pretendo que sejam para a vida, que só com a entajuda de todos, foi possível, ultrapassar os diversos desafios, que foram aparecendo, durante todo este percurso académico.

E um especial agradecimento ao meu orientador desta tese, ao Professor Doutor Vitor Anes, que sempre me orientou, e sempre que precisei, estava disponível para me ajudar nas minhas dificuldades, principalmente no programa *Arena*. Não posso deixar de referir que me transmitiu sempre motivação, por diversas vezes, até mesmo, quando, a presente dissertação, parecia não ter rumo, e, portanto, sem este tipo de orientação, não iria conseguir concluir esta dissertação.



# Resumo

Atualmente, face ao constante aumento de competitividade e globalização dos mais variados mercados de negócio, para a sobrevivência das empresas, que sejam implementadas estratégias, tendo em vista o aumento de eficiência, pois o simples cumprimento dos requisitos por parte do cliente não é suficiente, já que estas devem ser mais competitivas do que a concorrência. Apesar de muitas das vezes, este pensamento remeter para grandes investimentos, por parte das empresas, seria de maior interesse, a aplicação de boas práticas com a constante procura de oportunidades de melhoria e com investimentos de baixo custo.

O termo *Lean thinking* é um termo, que foi desenvolvido pela Toyota, através do seu conhecido *Toyota Sistem Production* (TSP), onde através da sua implementação e com o uso das suas metodologias e ferramentas de trabalho, as empresas aumentam a sua eficiência, evitando também desperdícios numa linha de produção, seja de tempo, de matéria-prima, ou até mão de obra.

Neste documento será mais uma vez provada, a importância do *Lean thinking*, através do uso de uma ferramenta poderosa: a simulação, cada vez mais importante na sociedade, e nomeadamente nas empresas, que conseguem prever como a sua empresa funcionará, com alterações propostas por esta, sem que sejam feitas na realidade, permitindo que as empresas arrisquem sem ter certeza, se o devem fazer. Com a aplicação das ferramentas na simulação, verificou-se o impacto que estas causam, através da redução de desperdícios, aumentando com isso a eficiência, que neste caso pode ser observada por meio da quantidade das peças que saem no final de todos os processos. Como esperado, com as alterações efetuadas, onde se estimou que houve uma redução de cerca de 60 % nas percentagens dos defeitos, para os quais se propuseram melhoria, em que ao invés de se obterem apenas 74 (número de peças que sai sem o *Lean* implementado na empresa), saíram 79 peças no final da linha 4 e havendo uma aproximação às 86 peças, considerando a empresa melhorada com a implementação de metodologias e ferramentas do pensamento *Lean*.

**Palavras-Chave:** *Lean*, *Arena*, Sistema de Produção Toyota, defeitos, eficiência, retrabalho



# Abstract

Currently, given the constant increasing in competitiveness and globalization of the most various business markets, for the survival of the companies, that they are implemented strategies that focus on increasing efficiency, because it is not enough to just meet the needs of customers, you must be more competitive than your competitors. Even if this way of thinking leads to high investments, it would be more interesting for companies to apply good practices to continuously search for improvement opportunities, with low investments.

The term Lean Thinking was developed by Toyota and is known through the Toyota Production System, in which the introduction and application of methods and work tools improve the efficiency of the company by avoiding wastes in a production line, such as of time, raw materials and labor.

In this document, the importance of Lean Thinking is demonstrated once again through a powerful tool: simulation, which is becoming more and more important in society, especially in companies that can predict how they will work with the proposed changes without having to make these changes, which allows the company to take risks without being sure that they will change. In this particular case, the software used is Arena. By applying the tools in simulation, it was possible to observe the impact of the changes on reducing waste and increasing efficiency, which in this case is determined by the number of parts left at the end of all processes. As expected, with the changes made, which included a 60% reduction in the defect rate and for which suggestions for improvement were made on what instead of only obtaining 74 parts (number of parts that came out without Lean implemented on the company), 79 parts were brought out at the exit of line 4, which approaches the 86 parts, considering the company enhanced with the implementation of methodologies and tools of Lean Thinking.

**Key words:** Lean, Arena, Toyota System Production, defects, efficiency, reworking.



# Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>v</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>vii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice</b> .....	<b>xi</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Índice de Tabelas</b> .....	<b>xv</b>
<b>Lista de Siglas e Acrónimos</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1 Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Contextualização da Dissertação .....	1
1.2 Objetivos e Metodologias .....	1
1.3 Organização da Dissertação .....	1
<b>2 Revisão da literatura</b> .....	<b>3</b>
2.1 Contextualização do <i>Lean</i> .....	3
2.1.1 Origem do termo <i>Lean</i> .....	3
2.1.2 Sistema de produção Toyota.....	7
2.1.3 Os sete desperdícios da produção .....	25
2.2 Teoria das Filas de Espera .....	30
2.2.1 Introdução .....	30
2.2.2 Medidas de desempenho.....	31
2.2.3 Caracterização dos sistemas de fila de espera .....	33
2.3 Ferramentas de Simulação .....	38
2.3.1 Ferramentas no auxílio da tomada de decisão .....	38
2.3.2 Simulação .....	39
2.3.3 Terminologia em uso na modelação e simulação de sistemas.....	42
2.3.4 Passos de um estudo de simulação .....	44
2.3.5 Classificação dos modelos de simulação.....	47
2.3.6 Diferentes software de simulação.....	49
<b>3 Estudo de caso</b> .....	<b>59</b>
3.1 Setor da atividade industrial.....	59
3.2 A empresa .....	61
3.3 Contexto do problema industrial.....	62

3.3.1	Etapas do processo de fabrico .....	63
3.3.2	Tempo de produção de uma peça .....	63
3.4	Identificação dos problemas/desafios .....	72
3.5	Análise das Causas Raiz .....	73
3.6	Reavaliação da percentagem individual dos diferentes defeitos.....	78
<b>4</b>	<b>Modelação do Sistema .....</b>	<b>81</b>
<b>5</b>	<b>Propostas para contornar os problemas identificados e respetiva análise .....</b>	<b>93</b>
5.1	Propostas de melhorias para os problemas identificados.....	93
5.2	Análise de resultados e discussão .....	99
<b>6</b>	<b>Conclusão e trabalhos futuros .....</b>	<b>102</b>
	<b>Referências .....</b>	<b>104</b>

# Índice de Figuras

Figura 1 - Princípios da filosofia <i>Lean</i> .....	4
Figura 2 - Representação da casa do TPS.....	8
Figura 3- Esquema ilustrativo dos pilares, ferramentas e métodos, com os quais alcança os seus propósitos .....	9
Figura 4 - O impacto da compra JIT.....	11
Figura 5 - O impacto das Operações JIT .....	11
Figura 6 - Fatores chave que influenciam o JIT .....	13
Figura 7 - Conceito <i>Jidoka</i> .....	14
Figura 8 - Estratégia <i>Red tag</i> aplicada a uma área produtiva .....	16
Figura 9 - Exemplos de aplicação do <i>Seiton</i> : (a) Chão marcado com áreas bem delimitadas; (b) Quadro com ferramentas identificadas.....	17
Figura 10 - Variáveis e ferramentas necessárias para garantir um <i>Heijunka</i> adequado .	20
Figura 11 - Guarda-chuva <i>Kaizen</i> .....	21
Figura 12 - Exemplo de Tipos de carta <i>Kanban</i> : (a) <i>Kanban</i> de produção; (b) <i>Kanban</i> de transporte .....	23
Figura 13 - <i>Trade-off</i> entre o custo de capacidade do serviço e o custo de tempo de espera.....	31
Figura 14 - Sistema de fila única para um canal simples .....	34
Figura 15 - Sistema multicanal com fila única .....	35
Figura 16 - Sistema multicanal com várias filas.....	35
Figura 17 - Várias configurações possíveis de um sistema de acordo com a quantidade de servidores e fases .....	36
Figura 18 - Animação <i>Anylogic</i> .....	50
Figura 19 - Exemplo de simulação em <i>Flexsim</i> .....	51
Figura 20 - Funcionalidade do <i>Simio</i> .....	51
Figura 21 - Produção automóvel desde 1950 a 2014.....	59
Figura 22 - Esquema representativo do processo produtivo com a inclusão de todas as linhas.....	81
Figura 23 - Primeiros módulos da simulação .....	82
Figura 24 - Módulo <i>Seize</i> da Fila unica.....	82
Figura 25 - Módulo <i>Create</i> com a entrada de 90 peças no sistema (linha 4) .....	82
Figura 26 - Posto de trabalho de Adesivagem .....	83

Figura 27 - <i>Assign</i> tempo inicial.....	84
Figura 28 - <i>Process</i> da primeira operação da Adesivagem .....	84
Figura 29 - <i>Decide</i> do posto de Adesivagem e correspondentes módulos de retrabalho das peças.....	85
Figura 30 - Módulo <i>Decide</i> relativo ao defeito 15 .....	87
Figura 31 - Defeito 15: 50 % de probabilidade de a peça ser retrabalhada.....	87
Figura 32 - <i>Assign</i> que indica que a peça vai para a sucata.....	87
Figura 33 - Módulos de Saída da Adesivagem.....	88
Figura 34 – Decisão sobre peças de atributo .....	88
Figura 35 - Definição da variável .....	88
Figura 36 - Visão global dos postos de Pré Posicionamento.....	89
Figura 37 - Visão global dos postos de Dobrar Cantos .....	90
Figura 38 - Percentagens de defeitos para: (a) Posto de Adesivagem; (b) Posto de Pré Posicionamento; (c) Posto de Dobrar Cantos .....	92
Figura 39 – Modelo <i>Arena</i> do Posto de Adesivagem para a proposta 4.....	96
Figura 40 - Modelo de Pre Posicionamento para a proposta 4.....	97
Figura 41 - Modelo de Dobrar Cantos para a proposta 4 .....	98

# Índice de Tabelas

Tabela 1 - Diferenças entre Automação e o <i>Jidoka</i> .....	14
Tabela 2 - Medidas de desempenho e sua simbologia.....	32
Tabela 3 – Evolução das horas extra ao longo do tempo .....	62
Tabela 4 - Tempos de execução dos processos da linha em estudo .....	64
Tabela 5 – Descrição das diversas operações .....	65
Tabela 6 – Causas, origens e percentagens de cada defeito .....	73
Tabela 7 – Percentagens de ocorrência retificadas .....	79
Tabela 8 - Percentagens atualizadas de cada defeito .....	80
Tabela 9 - Tempo de retrabalho consoante o posto e o defeito .....	86
Tabela 10 - Número de defeitos do sistema base e do sistema melhorado.....	99
Tabela 11 - Número de peças que saem do sistema, para cada caso .....	100



# Lista de Siglas e Acrónimos

5S – *Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke.*

ARAN - Associação Nacional do Ramo Automóvel

CV - Cavalo-Vapor

DOE - *Design of Experiments*

FIFO – *First In – First Out*

JIT – *Just-In-Time*

LIFO – *Last In – First Out*

NOK - No Ok

PIB - Produto Interno Bruto

PRI – *Priority Service*

SIRO – *Service In Random Order*

SMED - *Single Minute Exchange of Dies*

STP – Sistema de Produção Toyota

TPM - *Total Productive Maintenance*

TSP – *Toyota System Production*

UAP - Unidade Autónoma de Produção

V&V - Verificação e validação do modelo



# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização da Dissertação

Quando se usava maioritariamente o sistema de Henry Ford, onde a produção, se processava em massa, isto é, em grande quantidade, surge uma nova procura no mercado: a produção com maior variedade de produtos em quantidades baixas. De modo a dar resposta a esta nova procura, surge o pensamento *Lean*, que de momento é imprescindível, face à forte e cada vez maior concorrência do mercado, e onde para uma empresa estar à frente na corrida, deve cada vez mais apresentar melhores relações qualidade/preço.

Para tal, a procura pela perfeição deve ser constante, na qual, todas as máquinas devem trabalhar com a máxima rapidez, sem comprometer a qualidade dos produtos em processamento, bem como também se realça para alcançar ou estar perto da perfeição, a importância da formação contínua prestada aos colaboradores, de modo a se ter conhecimento e estar ciente das evoluções das máquinas, para ser possível trabalhar com estas da maneira mais eficiente.

## 1.2 Objetivos e Metodologias

A presente dissertação aborda o sistema *Lean* e algumas das suas ferramentas mais usada, tem como objetivo demonstrar como as ferramentas *Lean* podem melhorar um processo produtivo. No estudo de caso verificou-se a existência de vários defeitos, alguns com altas percentagens de ocorrência, pelo que se propõem abordagens diferentes das que a empresa adota, através da aplicação do conceito *Lean*, e com a validação dos resultados no *software* de simulação *Arena*.

## 1.3 Organização da Dissertação

Esta dissertação é constituída por seis principais capítulos, que serão descritos abaixo.

- No primeiro capítulo, é relatado a importância do conceito *Lean* na atualidade, e qual o principal objetivo desta dissertação;

- O segundo capítulo refere-se à revisão de literatura, onde são abordados o Sistema de Produção Toyota de onde surge o conceito *Lean* e as suas ferramentas, a Teoria das filas de espera que é a teoria de suporte ao *Arena* e ainda são mencionados os conceitos de simulação e suas características, assim como o referido software em uso neste estudo;
- No terceiro capítulo, é apresentado o setor onde se insere o estudo de caso, a descrição do mesmo, assim como a sua importância a nível industrial;
- No quarto capítulo é explicado como se modelou o sistema no *Arena*, e os pressupostos assumidos;
- No quinto capítulo, são apresentadas propostas de melhoria para os defeitos e a análise dos resultados, após a sua implementação;
- No sexto capítulo é onde se encontram os trabalhos e futuros e conclusões retiradas do estudo efetuado.

## 2 Revisão da literatura

### 2.1 Contextualização do *Lean*

O sistema de produção em massa surge com Henry Ford, foi utilizado com muito êxito pela Ford motor *company*, tendo-se logo imposto como sendo uma referência máxima para a indústria automóvel. A gestão deste, consiste na produção em larga escala de produtos padronizados e recursos a linhas de montagem. No entanto, este sistema de produção não era capaz de dar uma resposta a uma nova demanda do mercado, que surge na altura, onde se pretendia uma produção com menores quantidades e com uma maior variedade de produtos [1][2].

De modo a dar uma resposta a esta procura, surge, com base no STP (Sistema Toyota de Produção), conceito explicado no subcapítulo 2.1.2, o conceito *Lean*, que engloba uma redução de recursos (comparado com a produção em massa), também sendo menor o esforço humano, com menos equipamentos, menos tempos e menores *stocks*. Em consequência, isto tudo, levou a produção com maior qualidade e variedade, podendo destacar-se a menor percentagem de defeitos existentes, após esta implementação [2][3].

#### 2.1.1 Origem do termo *Lean*

O uso do termo *Lean Manufacturing*, ocorre pela primeira vez no livro “A máquina que mudou o mundo”, livro escrito por Jones Womack e Daniel Roos, sendo publicado em 1990 nos estados unidos, destacando que para se ter sucesso na sua implementação, esta gestão deve ser integrada entre todos os setores e com o envolvimento de todos os colaboradores, de modo a poder-se ser alcançado o máximo rendimento e eficiência possível [1].



Figura 1 - Princípios da filosofia *Lean* [1]

Neste livro, foram identificados os cinco princípios, presentes na Figura 1, nos quais o *Lean Manufacturing* assenta, sendo eles:

- i. **Valor:** Definição do valor do produto/serviço a partir das necessidades e perspectiva do cliente, podendo ser descrito como a capacidade de os providenciar no tempo certo e com o preço adequado [2][3]. Apesar da criação de valor ser da parte do produtor, vê-se da perspectiva do cliente, se de facto, este acha aquele bem ou serviço é vantajoso, através da sua qualidade, preço, rapidez ou ainda garantia [4].

Ver, portanto, através dos olhos do cliente implica aceitar a redefinição, sempre que aplicável, com o cliente no foco, onde este poderá inferir nas decisões da empresa, sendo através da elaboração de um novo modelo ou mesmo na melhoria de um existente, podendo indicar por exemplo, processos que não agreguem valor aos produtos [5];

- ii. **Cadeia de valor:** É o caminho por onde passa o valor, e pode ser considerado como sendo o conjunto de todas as atividades a executar, desde as matérias-primas e informação, até se obter um produto ou se realizar um serviço, ou ambos [1][2]. Através dela, além de verem as atividades que agregam valor, também se devem identificar os processos que não geram valor, mas com importância nos processos e na qualidade, e aqueles que não acrescentam nenhum valor, de modo a ser possível identificação de desperdícios, e

consequentemente, realizar alterações de modo a aumentar a eficiência do conjunto de processos [1][3]. O processo com menor fluxo é denominado de *bottleneck* – indicando o fluxo de produção que deve ser seguido [6] .

O conjunto de todas as ações, passa por três tarefas críticas de qualquer negócio

[5]:

- Tarefa de solução de problemas: Começando pela concepção até ao lançamento do produto, incluindo também o projeto detalhado e a engenharia do processo;
- Tarefa de gestão de informação: Vai desde a receção do pedido até à entrega ao cliente, seguindo um cronograma detalhado;
- Tarefa de transformação física: Vai desde a matéria-prima até à entrega do produto acabado ao cliente;

iii. **Fluxo** - Deve-se assegurar que o valor passe pela cadeia sem falhas e que o trabalho seja feito com um fluxo contínuo, e sem que hajam variações na produção, sendo essencial minimizar/remover todo o tipo de desperdícios, constrangimentos como avarias de máquinas, grandes discrepâncias entre os tempos de processos, paragens ou deslocações necessárias [2][3][6][7].

A aplicação das três etapas enumeradas abaixo, facilitará um fluxo contínuo [5]:

1. Após identificado o valor, e toda a cadeia associada a este, não se deve perder o foco no objeto de estudo real, seja ele projeto, pedido ou o próprio produto, não o perdendo de vista desde o início à conclusão da cadeia de valor;

2. Todos os obstáculos ao fluxo contínuo a um produto, ou a uma família destes, deve ser eliminado, mesmo que este exija ignorar fronteiras habituais de tarefas, outros colaboradores, funções ou empresas;

3. Para que o projeto, emissão de pedidos e a fabricação de um determinado produto, possam ocorrer continuamente (sem interrupções) e de modo a eliminar reflexos, sucata e qualquer tipo de paralisação, deve-se repensar continuamente em práticas e ferramentas de trabalho.

Segundo diversos autores, para se verificar um fluxo contínuo, onde uma família de produtos, tenha uma vasta diversidade, é essencial que cada máquina conseguisse ser transformada, quase instantaneamente, de acordo com as especificações de cada produto [5].

Com técnicas agrupadas, como o *Total Productive Maintenance* (TPM) e do *Single Minute Exchange of Dies* (SMED), será possível ter as máquinas 100 % disponíveis, o que levará a uma facilidade neste aspeto. [5]

Além das técnicas referidas, é também fundamental, que o trabalho seja padronizado, para toda a equipa que está no terreno, sendo para isso, importante os funcionários serem qualificados para a execução do trabalho e parar a linha quando necessário, para não deixar que uma peça com defeito vá para a próxima etapa do processo [5];

- iv. **Sistema Pull** - Com este sistema, apenas quando o cliente solicitar é que se inicia a produção, podendo ser por isso associado à produção *Just-In-Time* (JIT) já que a produção apenas é feita com as quantidades desejadas pelo cliente e no momento que este pretender [1][2].

O intuito principal deste tipo de sistema é a redução dos *stocks*, evitando por isto, tanto custos de armazenamento como também processamentos em excessos, consequentemente aumentando eficiência do sistema [1][5].

- v. **Perfeição** - A perfeição deve sempre ser procurada, de acordo, com a filosofia japonesa *Kaizen*. Deve-se sempre tentar melhorar os processos, de modo a minimizar todo o tipo de desperdícios [1][3].

A constante informação e correspondente análise, devem estar presentes, para se melhorar os processos de produção. A constante melhoria dos processos só é possível com o apoio de todas as pessoas envolvidas, desde funcionários, gerência, fornecedores, entre outros. [6][7]

Apesar das inúmeras vantagens em relação à implementação da melhoria continua, existem diversas empresas que não conseguem a sua implementação de forma sustentada, onde é importante identificar as limitações existentes. Algumas das barreiras existentes relativas à implementação do *Lean manufacturing*, são [8]:

- Resistência por parte da gestão de topo;
- Falta de liderança de topo/alto nível de liderança;
- Falta de envolvimento da administração de topo (compromisso e apoio);
- Falta de comunicação entre a administração e os trabalhadores;
- Falta de poder dos trabalhadores;

- Resistência dos trabalhadores;
- Falta de perseverança;
- Falta de consultores e formadores no ambiente fabril;
- Falta de formação para os gestores;
- Diferenças culturais;
- Falta de cooperação e de confiança mútua, entre a direção e os trabalhadores;
- Conflitos multifuncionais;
- Incompatibilidade do *Lean* com os bônus da empresa, recompensas ou sistemas de incentivos;
- Falta de recursos para investir;
- Resposta lenta ao mercado;
- Falta de partilha de informações ou comunicação entre fornecedores e clientes;
- Falta de cooperação dos fornecedores;
- Falta de influência sobre os fornecedores ou falta de envolvimento dos fornecedores na implementação real;
- Falta de colaboração com fornecedores ou falta de parceria estratégica mutuamente benéfica com fornecedores e clientes (*stakeholders* da cadeia de abastecimento);
- Problemas de qualidade com o material fornecido;
- Ausência de um plano sólido estratégico e/ou de planeamento logístico;
- Falta de apoio logístico;
- Problemas com máquinas e configuração de instalações.

### **2.1.2 Sistema de produção Toyota**

Após a segunda guerra mundial e além do referido anteriormente, também se sentia uma escassez dos recursos e também uma concorrência forte no mercado automóvel japonês, o que impulsionou que no Japão viesse a surgir o STP, tendo sido impulsionado por Eiji Toyoda, Taiichi Ohno e Shigeo Shingo. Sendo estes considerados “pais” do STP, o seu objetivo com esta nova implementação era a eliminação do desperdício ou *mudas* (termo em japonês que significa desperdício), nunca perdendo o foco na satisfação do cliente [1]–[3].

A Figura 2 apresenta a filosofia TPS em resumo, sendo a sua representação feita tradicionalmente através de uma casa, que como se pode verificar assenta sobre dois pilares principais: O JIT e o *Jidoka*, tendo como base as ferramentas *Heijunka* e *Kaizen*. Deve-se referir que a estrutura desta casa tornar-se-á mais resistente, no caso de todas os elementos da casa (telhados, colunas e fundações) serem robustos [4].

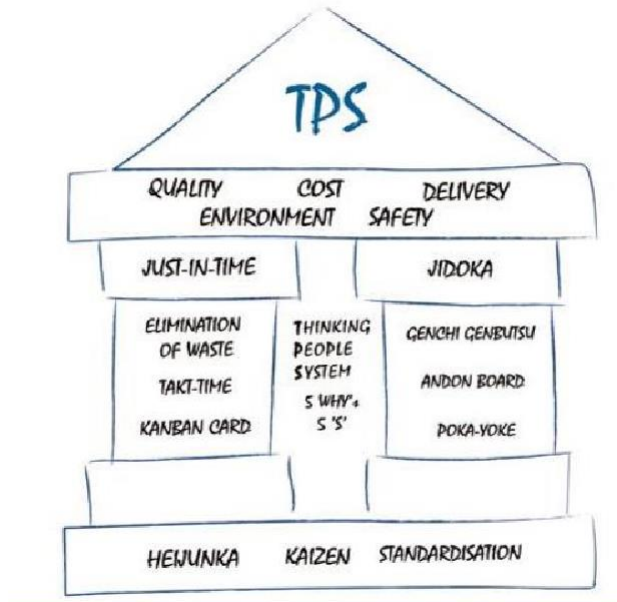


Figura 2 - Representação da casa do TPS [9]

Este sistema também trouxe consigo metas, tais como: a produção decorrer com o menor custo; com qualidade; sem desperdícios; realizar a entrega no tempo certo; tendo em consideração o meio ambiente e também a segurança dos seus colaboradores [1], [4], [9].

Através da Figura 3, pode-se verificar o sistema da casa JIT, com os dois pilares presentes, que com o conjunto de práticas e técnicas, tentam cumprir com as metas da redução de *lead time* e com alta qualidade, através da redução de todos os *mudas* (descritos no subcapítulo 2.1.3) [5].

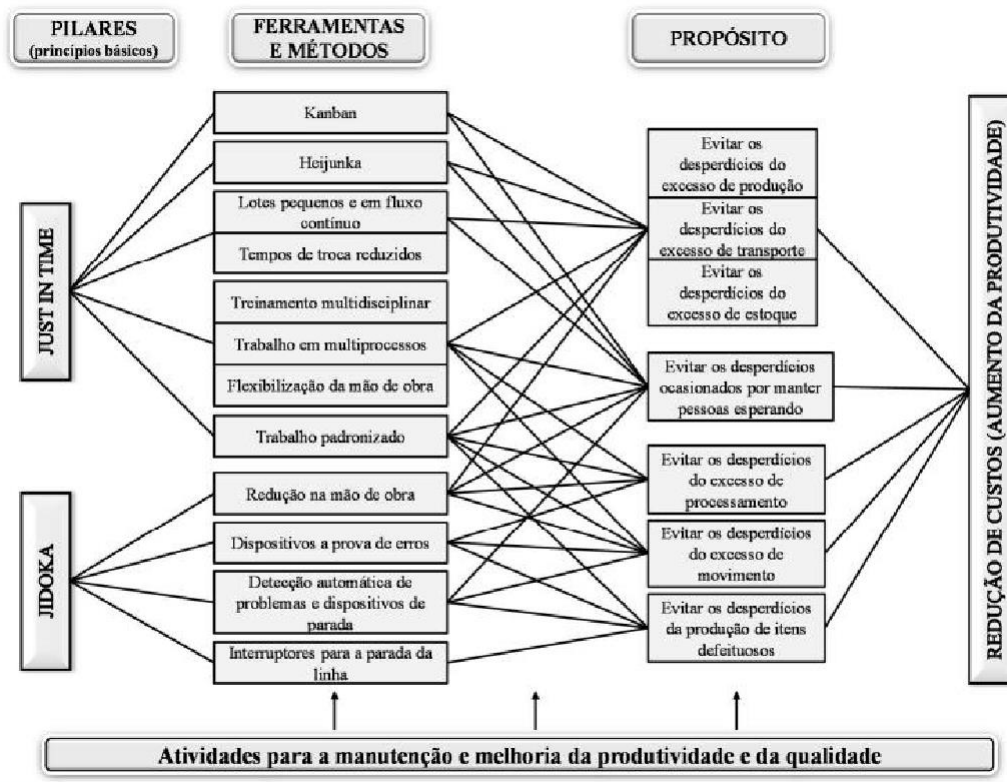


Figura 3- Esquema ilustrativo dos pilares, ferramentas e métodos, com os quais alcança os seus propósitos [9]

De seguida são apresentadas as ferramentas integrantes deste sistema.

### 2.1.2.1 Just-In-Time

Este conceito foi mencionado pela primeira vez, pela Ford no livro “My life and Work”, livro publicado em 1923, onde mencionam que não vale a pena a compra de materiais que não sejam precisos no imediato e que só compram os que fazem parte do plano de produção, tendo em conta a questão logística de transporte [10].

O conceito apenas foi aplicado, em inícios do século XX, no entanto, é falado que a origem do JIT, remonta nos anos 50 [10].

No entanto, verifica-se que por diversas vezes, o JIT é chamado de Sistema de Produção Toyota (SPT), por também se reconhecer que Taiichi Ohno, da Toyota Manufacturing Company, foi quem inventou o JIT, já que este desenvolveu estrategicamente este método, trazendo uma grande vantagem para o Japão, além de que, este não era muito aplicado como sistema ou estratégia em empresas fabris, onde se tenha verificado os seus benefícios, até então [10].

Outra razão para que o JIT não tivesse um impacto não tão significativo na Ford, foi o facto destes, na altura, trabalharem com uma pequena variedade de peças, com grande

volume de produção, enquanto no sistema Toyota, verifica-se uma maioríssima variedade, com pequenos lotes [10].

Este conceito surge na tentativa de evitar *stocks*, trazendo o produto no *timing* certo, onde para isto, será necessário a escolha de fornecedores, para o fazer. Também será importante na lista de fornecedores dos diferentes materiais que se conste os fornecedores onde oferecem uma maior confiança, de modo que o risco de falhas seja menor [11].

Com este objetivo da entrega no tempo certo, o JIT traz diversas vantagens e será muito útil em empresas que possuem diversos tipos de inventários, tendo em consideração as tentativas das empresas em aproximar o seu *stock* a zero, além de que eliminaria também eventuais transações desnecessárias entre empresas [10].

É usual verificar-se a entrega faseada ao longo de um projeto de pequenas quantidades, no entanto, este tipo de fornecimento é arriscado, já que quaisquer falhas põem em risco toda a produção. Daí a importância da constante comunicação entre cliente e fornecedor. Um exemplo de um caso que pôs em causa o fornecimento a diversas indústrias, da Toyota, foi o terramoto no Japão em 2011, em que toda a cadeia de fornecimentos desta empresa, em diversos países, foi afetada [11].

O JIT pode ser aplicado na venda, compra e operações. Abaixo será explicado cada uma destas vertentes [12].

- **Compra JIT** – Este sistema é focado na compra de materiais, baseado nas necessidades atuais e urgentes do cliente, com zero desperdício e o mínimo de *stock*, onde consequentemente levará à redução de custos na compra de materiais, assim como os custos de posse [12].

A compra JIT é um método que desenvolve uma relação duradoura, de qualidade e flexível, fortalecendo-a com uma coordenação de confiança. Basicamente, os compradores e os fornecedores serão dependentes um do outro logisticamente, através de entregas pequenas e fáceis com frequência [12].

Resumidamente, a compra JIT é definida por ser uma prática onde se tem materiais de alta qualidade, através de um número limitado de fornecedores, fornecimentos de alta performance, redução de *stock* e custo de materiais [12].

Na **Error! Reference source not found.** é possível verificar o impacto da implementação da compra JIT sobre as empresas.

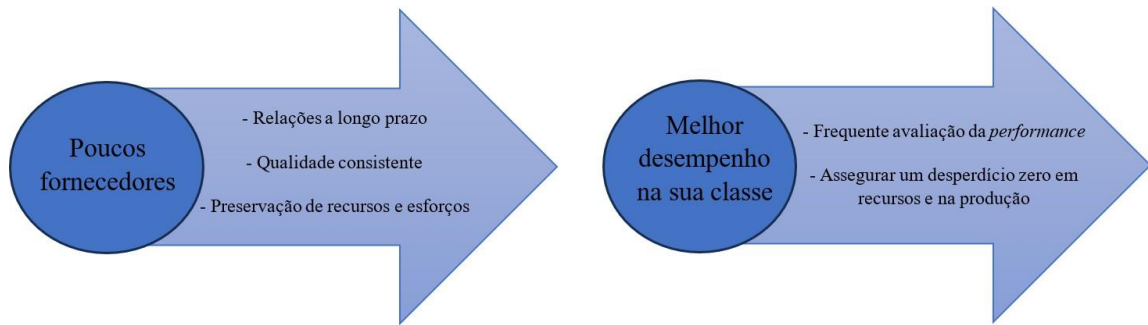


Figura 4 - O impacto da compra JIT. Adaptado de [12]

- Operação JIT - É conhecida por tornar um sistema o mais eficiente possível, através da remoção de desperdícios, durante a implementação de processos nos negócios. Para a correta implementação deste JIT, são fundamentais três aspetos a serem considerados: uma atitude correta, melhoria contínua e envolvimento de todos os colaboradores da empresa [12].

Um exemplo comum, onde se verifica a implementação de operações JIT, é nos restaurantes, nomeadamente nos McDonald's, onde se verifica que o seu sistema permite assegurar que os ingredientes e os procedimentos são aplicados no tempo requerido pelos clientes, podendo ser observado que tipo de impactos pode ter a implementação deste tipo de sistemas, na Figura 5 [12].

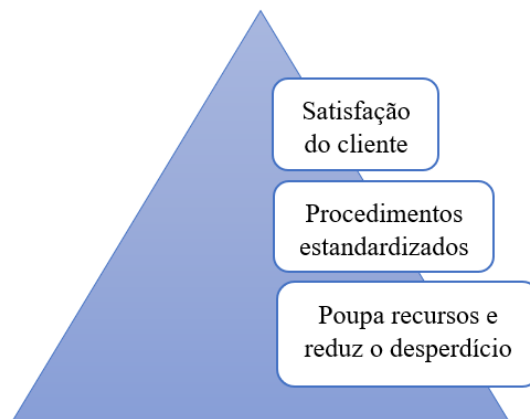


Figura 5 - O impacto das Operações JIT. Adaptado de [12]

Do exemplo McDonald's, pode-se tirar a conclusão, que as operações JIT contribuem positivamente para procedimentos repetitivos ou estandardizados, a satisfação do cliente e ainda reduzir o desperdício, poupando os recursos [12].

Conclui-se que, através da prática da gestão de produção para materiais e serviços, objetivos como a redução de tempos de *setup*, o controlo de materiais e a sincronização de quantidades, de acordo com as necessidades com os fornecedores deverão ser alcançados [12].

- Venda JIT - Esta estratégia aborda a capacidade de uma empresa criar valor durante o processo de venda, onde se verifica a sua produtividade na entrega de produtos com o mínimo desperdício e custo, durante o processo de *marketing* [12].

É possível definir que serão influenciados, aquando da implementação da venda JIT, a integração de diferentes processos, controlo de *performance* interno, descentralização estratégia e *marketing* [12].

Com a implementação das vendas JIT, as empresas conseguiram criar ou desenvolver sistemas de inventário, de um modo eficiente, para darem resposta aos requerimentos que surgem por parte de clientes. Portanto, esta prática, servirá para satisfazer os clientes através da oferta de serviços, num tempo adequado e com zero defeitos [12].

Apresentadas todas as vertentes do JIT, não se pode deixar de referir os quatro elementos-chave que influenciam a performance das práticas JIT, segundo vários autores [12]:

- ❖ **Qualidade:** O contacto com os fornecedores deve se constante, para que se consiga assegurar zero defeitos e desperdícios nos recursos, de modo a conseguir assegurar que no mínimo, a qualidade se mantenha, ou então que melhore.
- ❖ **Trabalho de equipa:** Na resolução de problemas e nas decisões a atuar, deverá ser dada a oportunidade a todos os elementos de uma empresa a participarem e com isto discutirem ideias, tendo em vista, a melhoria contínua em todas as funções. Ao implementar esta metodologia, também se estará a aplicar uma ideologia *Kaizen*.
- ❖ **Educação:** Está relacionado com o desenvolvimento da capacidade dos colaboradores de executar diversos tipos de tarefas, e desse modo,

umentando a sua flexibilidade no meio de trabalho, contribuindo desse modo, a melhoria nas práticas JIT.

- ❖ **Comunicação:** Com o intuito de assegurar que os defeitos sejam mínimos, a comunicação é um aspeto muito importante, já que uma comunicação apropriada entre um comprador e um vendedor reduz os defeitos que possam aparecer com o fornecimento dos materiais. Também se verifica a importância da comunicação, entre trabalhadores e as suas chefias, no sentido de que, com as aplicações JIT, cada trabalhador deve ser capaz de reconhecer o que tem de fazer, assim como do que são responsáveis, com certeza.

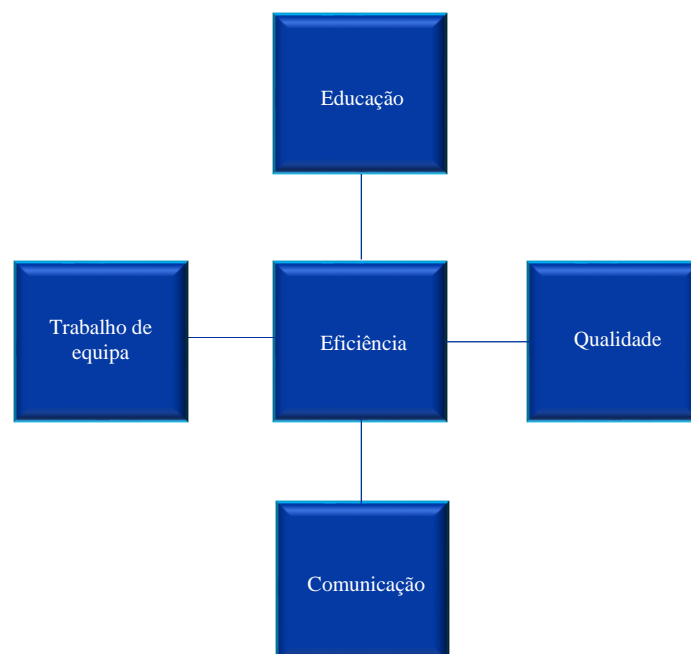


Figura 6 - Fatores chave que influenciam o JIT. Adaptado de [14]

#### 2.1.2.2 *Jidoka*

O outro pilar do SPT é o *Jidoka*, que é um pensamento que se baseia no conceito da máquina ter inteligência para parar um processo produtivo, quando são detetados defeitos ou erros, enquanto se espera pela intervenção humana [13]. Sendo as máquinas capazes de detetar defeitos, e tendo a autonomia de parar um sistema, evita-se que peças com defeitos continuem pelo processo produtivo, sem que sejam reparadas, prevenindo também, o possível agravamento do estado das peças produção [14]. Na figura 7, é representado no que consiste esta metodologia.



Figura 7 - Conceito *Jidoka* [15]

Da tradução deste termo, de japonês para português, vem a palavra *autonomação*. Não se deve confundir com *automação*, já que com este último, a máquina é incapaz de detetar erros, ao contrário, do conceito *Jidoka*, onde a máquina é capaz de detetar erros e parar automaticamente. Na Tabela 1 são apresentadas, as diferenças entre ambos os termos [13].

Tabela 1 - Diferenças entre *Automação* e *Jidoka* [13]

<b>Categoria</b>	<b>Automação</b>	<b><i>Jidoka</i> Autonomação</b>
<b>Pessoas</b>	Observação constante nas máquinas	Não existe a necessidade de uma observação constante sobre as máquinas, consequentemente, verifica-se um aumento de produtividade
<b>Máquinas</b>	A máquina não deteta erros e continuará até ao fim do ciclo ou até alguma pessoa pressionar o botão de paragem	A máquina deteta o erro e para automaticamente
<b>Qualidade</b>	Poderá ocorrer uma produção em massa de defeitos	Os defeitos ou avarias das máquinas são prevenidas pela paragem da mesma
<b>Respostas aos problemas</b>	Identificação tardia dos defeitos, e portanto, também da sua causa raiz	A máquina para ao detetar erros, levando a uma facilidade na deteção da causa raiz dos erros

### 2.1.2.3 5S

A produtividade de um trabalhador, depende muito da motivação deste, onde o ambiente à sua volta é determinante, refletindo nas suas tarefas e na qualidade do produto final. [16]

Com esta mentalidade surge o 5S no Japão, com o intuito de estabelecer e manter a qualidade do ambiente numa organização, onde inicialmente surgiu para ser aplicado na Indústria, mas onde se verifica que os seus princípios não são apenas aplicáveis na indústria, podendo beneficiar desde: pequenas a grandes dimensões; desde laboratórios; oficinas; escritórios; logística; transportes; distribuições; restaurantes; entre outros, já que qualquer destes ambientes beneficiará da sua estrutura e eficiência, sendo relacionado com a melhoria contínua, deve-se sempre averiguar como pensa e trabalha, e tentar melhorar sempre que possível [16]–[18].

Ela está associada à maneira como o nosso espaço de trabalho está organizado. Esta mentalidade, é direcionada no sentido de se pensar de uma maneira mais clara e organizada, refletindo por isso no ambiente de trabalho, não só a nível produtivo, como a nível visual [18].

Os 5S são *Seiri* (Organização), *Seiton* (Arrumação), *Seiso* (Limpeza), *Seiketsu* (Normalização) e *Shitsuke* (Manter) e a aplicação destes promoverá, tanto a organização num local de trabalho, assim como padronização dos processos de trabalho, sendo os principais objetivos desta ferramenta: a promoção de um crescimento contínuo das pessoas; a simplificação do ambiente de trabalho; eliminação das atividades que não acrescentam valor; o aumento da segurança e a eliminação de todos os defeitos, que diretamente ou indiretamente, contribuem para erros, defeitos e acidentes de trabalho [17]. Cada um dos S's tem as suas metas, que podem ser alcançados através de técnicas e medidas associadas, essenciais para atingir a principal meta do 5S, e que serão descritas abaixo.

- ***Seiri* (Organização)**

Para se alcançar um determinado nível de organização, será necessário que os trabalhadores distingam o que é essencial do que não o é, pois de acordo com a mentalidade de cada pessoa, poderão pensar que tudo é necessário, mesmo que seja raramente usado [16][17].

Após a remoção dos elementos desnecessários, os itens necessários, terão de ser classificados, de acordo com a sua frequência de utilização. Ao executar estes passos, é possível resolver diversos problemas com ferramentas e materiais, que estavam a evitar um fluxo de trabalho contínuo, devido à existência de situações, tais como: tempo que se desperdiça a olhar para as ferramentas e materiais desnecessariamente; tendo *stock* desnecessário e riscos para a segurança, devidos à desordem [17].

Por tudo que se referiu, a principal regra, para a aplicação do *Seiri*, será portanto, retirar todos os materiais, equipamentos ou ferramentas que não se usem diariamente, permanecendo apenas os objetos estritamente necessários para a realização do trabalho [17].

Existe o método conhecido, como *Red tag*, que se trata de identificar todo o material que não é usado regularmente e marcá-lo com um identificador vermelho, podendo ser executado por qualquer colaborador, por ser uma tarefa simples. Contudo isso apenas poderá ser feito, após serem adotados critérios bem definidos, como o a frequência de uso, para identificar o material como tal [16][17]. A aplicabilidade deste método é ilustrada na Figura 8.



Figura 8 - Estratégia *Red tag* aplicada a uma área produtiva [16]

- ***Seiton* (Arrumação)**

Esta etapa de arrumação está relacionada com colocar todo o material no seu lugar, isto é, em locais de fácil acesso e de fácil identificação para qualquer pessoa, sendo portanto, neste aspeto fundamental ter um *layout* adequado e prático, de modo a permitir a fácil movimentação dos trabalhadores [17].

Deve-se notar que nada serve a aplicação do *Seiton*, se o *Seiri* não for bem aplicado, já que por mais organizados que estejam todos os materiais, se houver materiais desnecessários, afetarão sempre negativamente a eficiência do fluxo [16].

Tendo tudo em ordem, e sendo bastante importante qualquer elemento da equipa saber onde fica cada material, pode-se optar por auxiliar a fácil identificação através de elementos visuais, como por exemplo, através de: etiquetas; sistemas de cores; pintura no chão à volta de elemento específicos, tais como máquinas e inventários; uso de quadros para a identificação de ferramentas; entre outros, evitando por isso o tempo desperdiçado na procura por materiais no meio do processo produtivo ou o deslocamento de itens para alcançar outros [16][17]. Exemplos de aplicabilidade do *Seiton* estão presentes na Figura 9.



Figura 9 - Exemplos de aplicação do *Seiton* : (a) Chão marcado com áreas bem delimitadas; (b) Quadro com ferramentas identificadas [16]

- ***Seiso* (Limpeza)**

Este S está relacionado com a limpeza. Após a colocação de todos os objetos e ferramentas nos sítios corretos, com esta etapa, deve-se garantir que o local de trabalho esteja limpo, sem sujidades e poeiras, facilitando a deteção de eventuais defeitos. No entanto, verifica-se que muitas das vezes é uma tarefa que não é cumprida, podendo ter diversas razões, tais como, a ausência de tempo ou a existência de tarefas mais prioritárias [16][18].

Ao contrário do que se possa pensar, a limpeza, poderá influenciar na qualidade dos produtos finais, um exemplo ilustrativo será o de uma máquina que tenha uma fuga de óleo, e que no caso do chão estar limpo, esta seria fácil de identificar e consertar-se-ia de seguida, evitando produtos defeituosos ou que a máquina tivesse um dano maior do

que a fuga. No entanto, no caso de chão estar sujo, a identificação da fuga já não seria tão fácil [16].

A limpeza, com a implementação do 5S, será da responsabilidade de todos e deve ser padronizada, através do uso por exemplo, de *checklists* e diagramas, para que no futuro, este sistema de limpeza, se mantenha em funcionamento, além de ter um efeito positivo sobre os trabalhadores, que ao sentirem-se responsáveis de um trabalho que terá um impacto positivo sobre a produção, estarão mais motivados, aumentando a sua eficiência no posto de trabalho [16][17].

- ***Seiketsu (Padronizar)***

Conhecido como normalização ou padronização, certifica que os 3S's anteriores sejam mantidos, já que com a criação de rotinas e de hábitos será possível a aplicação das diferentes tarefas adjacentes aos anteriores S's. Esta ideologia dos 5S, deve ser aplicada diariamente, e não apenas quando existe um tempo livre ou quando aparece um problema maior [16].

A criação de rotinas e hábitos, não se fazem um curto espaço de tempo, mas sim ao longo do tempo, e de modo que os 5S façam parte da mentalidade de toda a equipa, sendo objetivo destas regras manter o que se tem feito, ou caso possível melhorar [18].

A padronização das diferentes tarefas poderá ser feita com recurso a cronogramas, fluxogramas, padrões, normas, procedimentos ou mesmo listas de verificações, de modo a que cada etapa seja executada da mesma maneira todos os dias, contribuindo para que todos os funcionários saibam o que tem fazer, como fazer e até mesmo quando tem de fazer, mas não havendo grandes margens de dúvidas [17].

- ***Shitsuke (Manter)***

O principal objetivo do *Shitsuke* será manter as práticas dos 4S's anteriores. Desse modo, mantendo a disciplina, passará muito por remover maus hábitos e desenvolver novos bons hábitos, onde toda a equipa deve estar disponível para os praticar, sendo a que a liderança deverá ter um papel ativo, que deverá transmitir motivação a todos os colaboradores, dando o exemplo no compromisso com esta ferramenta, através da aplicação dos seus padrões, normas e procedimentos. Sendo que toda a empresa deverá tomar o mesmo caminho e que deverá manter os mesmos hábitos positivos, este S é considerado por muitos autores a etapa mais difícil na implementação do 5S [16]–[18].

Como se sabe, a disciplina não é algo que aparece instantaneamente, mas sim algo, que se vai cultivando no seio da empresa, tornando-se numa cultura da mesma e com envolvimento de todos, dever-se-á estar sempre à procura constante da melhoria, através da partilha de visão e valores entre todos. Isso traz apenas vantagens, tais como: uma melhor comunicação; um espaço de trabalho seguro; menos desperdícios; alta produtividade e produtos com alta qualidade [16].

#### 2.1.2.4 Heijunka

Esta designação, que significa em português “nivelção” é uma necessidade aquando da implementação *Lean* e trata de garantir o nivelamento da produção, ou seja de suavizar a produção, com vista na rentabilização dos recursos da melhor forma possível [19]–[21].

Utilizar os recursos da melhor forma, é conseguir um *mix* de produtos num volume constante, onde idealmente seriam produzidos todos os produtos, em cada turno e com quantidades iguais à procura, de modo à produção estar mais alinhada com o consumo real do cliente [20].

Com a alternância de produtos em produção, seria possível satisfazer diferentes fornecedores e ainda mantendo pequenas quantidades em *stock*. Ainda com o foco na redução de inventários, o nivelamento da produção é também essencial noutro aspeto: evita a alternância entre períodos de sobrecarga, assim como de desafogo, tanto de máquinas, como de trabalhadores [20].

No entanto, para a produção *mix*, terá de haver alternância na produção, o que exigirá que a redução de tempos de *setup* e o desenvolvimento de *standards* operacionais sejam executados com sucesso [20].

Para atingir o equilíbrio serão necessárias ferramentas, que se encontram representadas na Figura 10 .

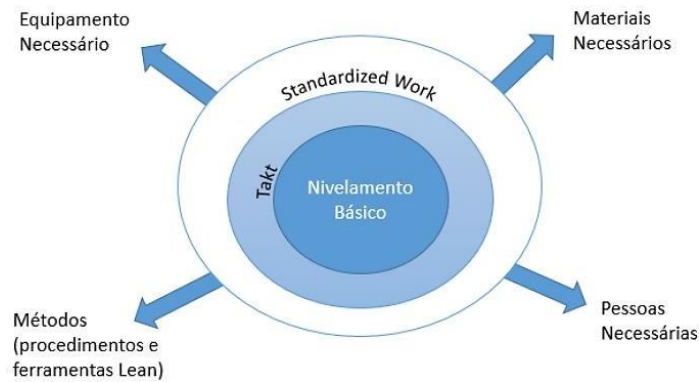


Figura 10 - Variáveis e ferramentas necessárias para garantir um *Heijunka* adequado [21]

No entanto, deve-se referir que este método de planeamento *Heijunka*, apenas é aplicável quando a procura é relativamente estável e previsível, caso contrário, este método não consegue dar resposta às demais variações de mercado [21].

Para o uso do *Heijunka*, será obrigatório o uso da gestão visual, como auxílio, onde o *Andon* se destacaria, de modo a fazer um controlo mais rigoroso e adequado na produção [21].

#### 2.1.2.5 Kaizen

É referido que as origens do *Kaizen* remontam a meados do século XX, através do livro intitulado de “*Kaizen: The key to Japan’s Competitive success*”, de Massaki Imai, onde refere que *Kaizen* é melhoria contínua, envolvendo todos as pessoas de uma empresa, desde administração, gestores e trabalhadores. Sendo que a melhoria contínua deve ser praticada diariamente por todos os colaboradores, através de pequenas mudanças que agreguem valor para a organização, sem grandes custos ou investimentos. Sendo o seu principal objetivo, a resolução de problemas existentes, ou então, antecipar eventuais problemas que possam vir a aparecer, nomeadamente, através da eliminação de todos os desperdícios, de forma contínua e gradual, principalmente aqueles que adicionam custos em termos de nível de qualidade, produtividade, custos de produção, tempo de execução e outros tipos de desperdícios que não agreguem valor [22][23].

O mesmo autor ilustra o *Kaizen*, como uma guarda-chuva, onde que cobre diversas ferramentas que foram desenvolvidas no Japão, e donde começaram a ser aplicadas, pelo mundo fora. Na Figura 11, é possível verificar a definição ilustrativa referida, com as diversas ferramentas cobertas [22].



Figura 11 - Guarda-chuva *Kaizen*. Adaptado de [22]

Sendo apenas necessário melhorar os processos, de modo a serem mais eficientes, a aplicação deste método até parece fácil, no entanto, o primeiro obstáculo a ultrapassar será a resposta a algumas perguntas, tais como: porquê ou para quê para melhorar; o que deve e onde se deve melhorar, e muito importante; qual será o custo associado às mudanças a efetuar. A resposta a estas perguntas, poderá ser obtida, por meio do *Gemba*, ferramenta donde será possível recolher-se a informação exata, e este poderá auxiliar na tomada de decisão [23].

Para aplicação da melhoria contínua, é necessário esclarecer três condições [22]:

- i. Descontentamento com a situação atual, mesmo um sistema pareça estar a funcionar perfeitamente, existem sempre métodos a melhorar, ainda para mais, com a evolução constante da ciência e das tecnologias e da exigência dos clientes, a expectativa será de a eficiência do sistema todo melhora, dia após dia;
- ii. Desenvolvimento do fator humano, já que elemento é o mais valioso, e será importante integrar todos os trabalhadores, nestas atividades de desenvolvimento;
- iii. Uso de técnicas de resolução de problemas, pois um dos grandes problemas é o de focar na resolução dos mesmos, e não das causas para o aparecimento deles. Para a resolução adequada dos problemas, deve-se garantir que tal não ocorrerá novamente, no qual se verifica que, ao determinar cinco possíveis

causas para o problema, durante a investigação, tornará a causa raiz mais fácil de se encontrar [25].

#### 2.1.2.6 *Kanban*

O *Kanban*, no sistema TPS, está no pilar do JIT, e é a ferramenta que a operacionaliza, sendo em parte, responsável por toda a comunicação e funcionamento de todo o sistema de produção, quando aplicado neste [24].

*Kanban*, em japonês, significa carta ou sinal na produção e o seu objetivo será o de informar sobre a procura do mercado, para os diversos componentes, nos diferentes estágios dos processos de produção, onde atuará como um transportador invisível entre estes [25].

Com isto, o *Kanban*, trata de operacionalizar o sistema para um sistema de controlo *pull*, onde a ideia será produzir apenas e só, o que o cliente pretende.

Consequentemente, com a sua implementação, os desperdícios durante os processos produtivos serão reduzidos, além de haver um maior controlo sobre o inventário, diminuindo com isso *stock* armazenado, minimizando o risco de *stock* obsoleto [25].

Apesar das suas diversas vantagens, este sistema também terá as suas desvantagens, nomeadamente, nos casos em que os pedidos por parte dos clientes não são constantes, e tem variações agressivas de procura, já que a informação no terreno teria de ser atualizada, tendo de redimensionar todo o sistema, sempre que o comportamento da procura varie. Estes cartões ao estarem nas peças que percorrem ao longo de todo o sistema produtivo, originam o risco de se perderem, conduzindo a falhas nas quantidades a produzir [24].

Na Figura 12 são ilustrados exemplos dos dois tipos de carta *Kanban*, ambos com os seus objetivos. O *Kanban* de produção, será o que emite a ordem de produção, indicando o tipo e quantidade de produto que deverá ser produzido. Já o *Kanban* de

transporte, é utilizado quando se dá a transferência do produto, como por exemplo, no caso entre estações de trabalho fornecedor – cliente [24][25].

SCRFF - Produto Final			
Carta Kanban Produção	Referência Interna	162 <b>7434</b> XXX	Imagem de Produto
	Referência Cliente	162 7434 XXX	
<b>7434</b>	Designação do Produto	SCRFF - Produto Final	
	Quantidade	Unidade de Contenção	Código de Barras
	18	Contentor	
Se encontrar esta carta Kanban devolva ao sítio onde pertence.			

SCRFF - Produto Final			
Carta Kanban Transporte	Referência Interna	162 <b>7434</b> XXX	Imagem de Produto
	Referência Cliente	162 7434 XXX	
<b>7434</b>	Designação do Produto	SCRFF - Produto Final	
	Quantidade	Unidade de Contenção	Código de Barras
	18	Contentor	
Se encontrar esta carta Kanban devolva ao sítio onde pertence.			

Figura 12 - Exemplo de Tipos de carta Kanban: (a) Kanban de produção; (b) Kanban de transporte [24][25]

### 2.1.2.7 Poka-Yoke

Os sistemas *Poka-Yoke* são existentes desde os anos 60, no entanto, na altura não chamaram muito a atenção, até que nos anos 80, Shigeo Shingo introduziu este método, no seu livro “*Zero Quality control: Source Inspection and the Poka-yoke System* [26].

No entanto, não é um assunto muito falado, essencialmente por duas razões: pela razão de que este método de trabalho não pode ser pesquisado, da mesma maneira que as outras ferramentas de qualidade, já que este estará mais associado à psicologia humana; e a segunda, onde vários autores consideram que o processo de controlo estatístico e Controlo de qualidade zero (onde se insere o *Poka-Yoke*) não se complementam, e mais são considerados como dois métodos concorrentes. Ainda para mais, a maioria dos investigadores, prefere a parte estatística, não considerando por isso o *Poka-Yoke*, como ferramenta útil [26].

Em termos definição, na literatura, pode-se encontrar diversas definições, enquanto algumas são similares umas às outras, outras apresentam inconsistências entre si. Como por exemplo, algumas referem que se trata de um mecanismo que deteta erros e defeitos, através da inspeção na produção, dando de imediato *feedback* sobre os mesmos. Já outros referem este como um método que previne erros ou deteta defeitos, que podem ter impactos negativos sobre a qualidade da peça; ou sob os trabalhadores [26].

O *Poka-Yoke*, significa em japonês - à prova do erro, no entanto como o erro é inevitável nos seres humanos, devem ser projetados sistemas (*Poka-Yoke*), onde peças com defeito não sejam entregues aos clientes [26].

Conclui-se então que o *Poka-Yoke* terá duas características fundamentais que o definem: a de prevenir o erro/defeito e a de deteção dos mesmos, por exemplo, através

do acionamento de algum som/alarme, interrompendo o processo produtivo, para corrigir o defeito/erro [26][27].

#### 2.1.2.8 *Takt-time*

O denominado *takt-time*, refere ao ritmo de mercado, ou seja, está relacionado com a taxa procura dos clientes, de modo que um bom *takt-time* se verifica quando o fornecimento seja igual à procura do mercado, pois quando este é superior à procura, resultará num excedente de produção, e quando o *takt-time* é inferior à procura, estará-se perante uma escassez dos produtos em questão, pelo que os fornecedores terão sempre de se adaptar a sua quantidade de produção conforme as ordens do cliente [8].

Em alemão, esta palavra, significa batida, que definirá o ritmo da procura. Um exemplo de utilização do *takt-time*, será quando, uma linha de produção, que é dividida em zonas, e o *takt-time* é definido para todas estas. Assim sendo, os produtos mover-se-ão em cada “batida”, de modo que o fluxo seja contínuo, e onde não existam, ou existam menos filas de espera e um menor desperdício [28].

Como na maioria dos casos, a procura é muito variada, influenciado também, o tempo de ciclo, verifica-se que o *takt-time*, numa parte dos casos, não é muito viável, para a produção diária. Tendo em consideração esta situação, o autor Lander and Liker (2007) propõem, ao invés do uso do *takt-time*, o uso da taxa *takt*, que é basicamente, o nº de peças diárias (ou semanais) para ir ao encontro da procura dos clientes [28].

O *takt-time* é calculado através do rácio entre o tempo de operação por unidade de tempo pela procura do cliente nessa mesma unidade de tempo, ou seja, pela Equação (1).

$$Takt\ time = \frac{Tempo\ de\ trabalho\ efetivo\ num\ periodo}{quantidade\ solicitada\ pelo\ cliente\ nesse\ periodo} \quad (1)$$

O valor obtido através da expressão acima, deve ser comparado com o tempo de ciclo, que por sua vez é o tempo decorrido entre a repetição do início ao fim da operação. A máxima eficiência será quando ambos se equivalerem em valor, pois:

- Caso Tempo de ciclo > *Takt-time* – Está-se numa situação de não se estar a conseguir dar resposta à procura do cliente;
- Caso *Takt-time* > Tempo de ciclo – Estar-se-á numa situação de excessiva produção, ou seja, estar-se-á a produzir mais do que a procura [1].

### 2.1.3 Os sete desperdícios da produção

Uma das razões principais para o aparecimento do Sistema Toyota de produção, foi a abundância de desperdícios verificados até então. A expressão “aprender para ver”, vem do desenvolvimento da habilidade para identificar desperdícios que não tinham sido pensados. Para que houvessem mudanças com impacto positivo, teve de se identificar e agrupar de um modo geral o tipo de desperdícios (*muda* em japonês) que se verificava [29].

Segundo o colaborador da Toyota, Fujio Cho, o desperdício é “tudo o que está para além da mínima quantidade de equipamentos, materiais, peças, espaço e mão-de-obra, estritamente essenciais para acrescentar valor ao produto” [2].

A Toyota identificou três tipos de atividades que não acrescentam valor [30]:

- *Muda* (Desperdício): São consumidos recursos, que apesar de não criarem valor para o cliente, são necessárias para a empresa;
- *Mura* (Desigualdade): Trata-se do desperdício causado pela variação de qualidade, custo ou transporte, resultante de atividades irregulares, causando consequentemente, a repetição de trabalhos e atrasos;
- *Muri* (Excesso): Resulta do excesso de mão-de-obra, de equipamentos e de movimentação num processo produtivo, e não só prejudica o bom funcionamento do processo, ainda acrescenta custos desnecessários para a organização.

Os recursos que são usualmente desperdiçados foram identificados e classificados, os conhecidos sete desperdícios, que se encontram descritos de seguida.

#### 2.1.3.1 Excesso de produção (Superprodução)

Toda a produção que esteja a ser feita em excesso, ou seja, a produção além da procura dos clientes, assim como produzir mais cedo do que o necessário, aumenta o risco de obsolescência e por norma leva a um *lead time* excessivo, sendo o *stock*, neste caso, considerado “capital morto” [31][32]. Além do referido, consomem-se matérias-primas, pagam-se salários e criam-se *stocks* desnecessários, verificando-se o aumento de operações desnecessárias e o espaço de armazenamento limitado desnecessário [2]. Além de que, enquanto não se usam todos os recursos referidos, a empresa não recebe nenhum tipo de retorno financeiro, por ter em *stock* o material.

Algumas das maneiras mais eficientes para combater este defeito é o uso de metodologias *Lean*, tais como, o mapeamento de fluxo de valor, o balanceamento de processos, o uso da produção JIT, a troca rápida de ferramentas, entre outros [2].

A superprodução pode ser dividida em dois tipos [33]:

- Superprodução quantitativa – Onde se produz uma quantidade excessiva, ou seja, é produzido além da procura do cliente. Muitos gestores defendem esta política, antevendo a possível existência de potenciais problemas no processo produtivo;
- Superprodução antecipada – Visa antecipar a necessidade do cliente, seja ele interno ou externo. Portanto, é uma produção com o intuito de poder dar resposta a procuras extras ou pedidos mais urgentes.

#### 2.1.3.2 Inventário

O termo inventário encontra-se associado a excessos de matéria-prima, trabalhos em processo e produtos acabados. *Stock* extra leva a maiores custos financeiros, maiores custos de posse de *stock* e maiores taxas de defeito. Tendenciosamente aumenta o *lead time*, atrasa a identificação rápida de problemas, e aumenta o espaço necessário para armazenamento [32].

Para a eliminação deste desperdício, deve-se fazer uso da metodologia *Lean JIT*, onde apenas se produz as quantidades pretendidas, no tempo certo, mas isto claro, apenas é aplicável quando os prazos de entrega são considerados admissíveis por parte do cliente [34].

Podem ser definidos dois tipos de *Stock* [33]:

- *Stock* natural - Ocorre devido à má análise da procura do mercado;
- *Stock* necessário - É considerado como um stock de segurança para dar resposta a uma possível variação da procura do mercado.

Apesar desta diferença entre os dois tipos, ambos devem ser eliminados por completos, devido às perdas que causam [33].

### 2.1.3.3 Espera

Este desperdício está associado ao tempo, em que, tanto os trabalhadores como as máquinas não estão a ser utilizados de modo produtivo, podendo ocorrer em qualquer passo de um processo, podendo ter como possíveis causas [2][6][32][34]:

- Problemas associados aos *layouts*;
- Obstruções nos fluxos;
- Trocas de *setup*;
- Equipamentos avariados/danificados;
- Atrasos na vinda de material ou balanceamento incorreto de processos (*bottlenecks*).

Este desperdício ocorre quando os bens não estão em movimento, ou não estão a ser processados e afeta tanto trabalhadores como bens, pois gastam tempo à espera. Este tempo deverá ser usado para a realização de manutenções ou para formação (aperfeiçoamento de processos), no entanto, sem a ocorrência do defeito da superprodução [32].

Caso o balanceamento de processos produtivos, seja feito rigorosamente e de acordo com a procura, a implementação do SMED (rápida mudança de ferramenta) ou as modificações nos *Layouts* são algumas medidas a ter em consideração para eliminar, ou no mínimo, reduzir este defeito [2].

Podem-se considerar dois tipos de espera [34]:

- Espera do processo: Esta espera ocorre quando um lote inteiro permanece à espera da produção, inspeção ou transporte do lote anterior. Este tipo de espera pode ser amenizado através de uma boa sincronização da linha de produção, balanceamento de quantidades e capacidade de processamento;
- Espera do lote: É verificada durante a operação de um lote, na produção de uma peça, onde as seguintes aguardam para serem processadas.

### 2.1.3.4 Movimentações desnecessárias

Estes são todos os movimentos desnecessários realizados pelos trabalhadores durante a execução de atividades, tanto nas máquinas, como nas linhas de montagem e

que não contribuem para o processo de trabalho e não acrescentam valor, tais como: a procura por uma ferramenta no local de trabalho; movimentos físicos difíceis de serem executados, devido à má concepção em termos ergonómicos, seja pelos trabalhadores, terem de se esticar, dobrar ou até levantar sem necessidade e ainda o levantamento de cargas pesadas [2][6][32][35].

Posto isto, para evitar estas movimentações desnecessárias, deve-se ter em conta [2]:

- Localização e posição das ferramentas/materiais;
- Uso da gravidade para benefício dos colaboradores;
- Altura das mesas e máquinas;
- Luminosidade;
- Espaço disponível.

Verifica-se então que é necessário dar condições aos trabalhadores, atendendo às suas características físicas. Os tempos relativos a estas movimentações, podem ser medidos a partir de estudos de tempos, consistindo na procura contínua e sistemática da economia do tempo, através de uma análise criteriosa do movimento humano e ergonomia no posto de trabalho [2][33].

#### 2.1.3.5 Transporte

Este desperdício encontra-se relacionado com todo o tipo de movimento de pessoas, informações, materiais, partes montadas e acabadas, que não agregam valor. Por isso, são considerados como desperdícios [2][32].

Este tipo de desperdício pode ter como causas [33]:

- *Layout* ineficiente;
- Equipamento de transporte com grandes dimensões;
- Movimentação de grandes lotes.

Os sistemas de transporte e movimentação podem ocupar espaço, apresentar custos de aquisição e manutenção, aumentar o tempo de produção, danificar os seus próprios produtos. Além de que, quanto maior for a distância entre processos, maior a possibilidade de causar danos ou deteriorar os produtos [31].

Os métodos que devem ser adotados de modo a reduzir/eliminar este desperdício serão [2][33][34]:

- Redução do tamanho de lotes;
- Locais de processos próximos entre si;
- Alteração do *layout* da fábrica;

- Alteração do planeamento produtivo;
- Efetuar o transporte de forma eficiente.

#### 2.1.3.6 Processos desnecessários / Processamento inapropriado

São processos integrantes do fabrico que não são necessários para que produto tenha as características básicas de qualidade, ou seja, não são necessários para atender ao pedido do cliente. Portanto, não agrega nenhum valor ao processo global, tendo como consequência uma maior possibilidade de aparecimento de defeitos no produto em processamento [2][6][33].

As causas mais comuns da execução destes processos são: a falta de formação dos operadores; a ausência de processos normalizados; ou por exemplo o uso de ferramentas de baixa qualidade [2][33]. Sendo, portanto, necessário, para atenuar/eliminar este defeito [2] :

- Assegurar a formação necessária aos colaboradores;
- Automatizar algumas tarefas;
- Mapear os processos produtivos, de modo a estarem bem definidos.

Para a total eliminação, deve ainda proceder-se a uma análise detalhada do produto a ser produzido, e dos processos que acarretam para a sua produção, usando ferramentas e conceitos de engenharia e análise de valor [33].

#### 2.1.3.7 Defeitos

Produtos que tenham defeitos são produtos que não cumprem com os requisitos do projeto, e que por vezes podem ser retrabalhados, mas no limite, pode nem ser possível recuperar estes produtos, tendo os mesmos de ir para a sucata [2][35].

Os produtos que se tem de retrabalhar não acrescentam valor ao produto final, tendo como consequências o aumento do custo, tempo e ainda materiais que podiam ser usados em processos que agregam valor [6].

Estes problemas dão origem a queixas por parte de clientes, a inspeções e reparações e tem como possíveis causas a ausência de padrões nas operações, a falta de sistemas de inspeção e autocontrolo e os erros humanos [2].

Os defeitos mais usuais são os enganos, erros no sistema, informação incorreta ou em falta e a reparação, e o sua existência por mais pequena que seja, pode ter uma

importância relativamente elevada num processo, dependendo em que estágio do processo se encontra [34].

De modo a atenuar/reduzir este defeito poderão ser implementados [2]:

- Métodos à prova de erros e fluxos de produção contínua;
- Padronização das operações;
- Automatizar processos quando possível.

## **2.2 Teoria das Filas de Espera**

### **2.2.1 Introdução**

A espera por um serviço, ocorre sempre que o número de pessoas que pretendem o mesmo, é superior ao número de entidades que o sistema tem capacidade de atender de imediato (número de servidores). As organizações prestadoras de serviços lidam muito com a espera, sendo portanto, esta uma fonte de preocupação, já que tem um impacto significativo na qualidade do serviço que realizam [36].

O fenómeno das filas de esperas pode ser verificado na maioria das situações decorrentes do nosso quotidiano, sendo observado na maioria dos casos, onde seja necessário o uso de um serviço e a economia de um país pode ser afetada com consequências diretas, com tempos de espera maiores de que os normais, já que, quando tal sucede, verificar-se-á uma menor prestação de serviços [37][38].

Esta teoria foi desenvolvida de modo a fornecer modelos matemáticos, para descrever o comportamento dos sistemas, para que haja um atendimento adequado às necessidades dos clientes, otimizando quando possível desempenho do mesmo, aumentando a satisfação dos clientes e reduzindo os seus custos operacionais [37].

Os aparecimentos de filas de espera devem-se a uma das seguintes condições [38]:

- O número de entidades que precisam de um determinado serviço, mas precisam de esperar, devido à falta de capacidades das instalações que provem esse serviço;
- A entidade tem de esperar devido à demora do serviço.

De acordo com determinados autores, deve-se ter em consideração os três seguintes aspetos, para se definir um sistema de filas de espera [38]. A forma como a população (entidades):

1. Chega a um determinado sistema;
2. É servida;
3. Sai de um sistema. Ou seja, se após o serviço existem mais fases de atendimento ou se apenas se sai do sistema.

O principal objetivo deste tipo de estudo é a máxima redução do número de clientes que permanecem à espera de um serviço, isto, portanto, aumentando o número de utentes que usufruem desse serviço, num espaço temporal [38].

Com a análise das filas de espera, e de modo a satisfazer o seu principal objetivo, pode-se alterar a forma de chegadas das unidades ao serviço, a forma como é prestado o serviço, ou ambos. No entanto, para se procederem a alterações para a diminuição do tempo de espera, tem de se ter em consideração que, haverá sempre também um montante monetário adicional [37][38].

Deste modo, deve-se ponderar um custo associado ao tempo de se ter uma fila de espera e o custo associado à melhoria do serviço, de forma a encontrar o ponto de equilíbrio, ou seja, o ponto mínimo da curva do custo total, que é a soma entre as do custo adicional da capacidade do serviço e do custo de tempo de espera, conforme pode-se visualizar na Figura 13 [37].



Figura 13 - *Trade-off* entre o custo de capacidade do serviço e o custo de tempo de espera [37]

## 2.2.2 Medidas de desempenho

A gestão das filas de espera, efetua-se com base na tomada de medidas aos componentes principais de um sistema: chegadas; fila de espera e servidor, sendo a

melhor configuração, aquela onde existe um equilíbrio entre a qualidade do serviço e os custos associados a este [36].

Na tabela 2, estão presentes as medidas de desempenho, onde a partir destas, se pode fazer uma gestão de um sistema de filas de espera, encontrando soluções mais vantajosas para as mesmas, através de ajustes/alterações num sistema [36][39].

Tabela 2 - Medidas de desempenho e sua simbologia [36]

<b>Símbolo</b>	<b>Medida de desempenho</b>
Ls	Número médio de clientes no sistema
Lq	Número médio de clientes na fila de espera
Ws	Tempo médio de um cliente no sistema (tempo de espera + tempo de serviço)
Wq	Tempo médio que um cliente está na fila de espera (não inclui o tempo que o cliente demora a ser atendido)
Pn	Probabilidade de estarem n clientes no sistema
P0	Probabilidade de não haver clientes no sistema
P(Wq =0)	Probabilidade de o tempo de espera na fila ser 0
P(Wq >t)	Probabilidade de o tempo na fila de espera exceder t
P(ws >t)	Probabilidade de o tempo no sistema exceder t

Estas medidas de desempenho são calculadas a partir das características descritas abaixo [36].

1.  $\lambda \rightarrow$  Taxa média de chegada dos clientes;
2.  $\frac{1}{\lambda} \rightarrow$  Tempo médio entre chegadas;
3.  $\mu \rightarrow$  Taxa média de serviço de um servidor;
4.  $\frac{1}{\mu} \rightarrow$  Tempo médio de serviço a um cliente;
5.  $s \rightarrow$  Número de servidores em paralelo;
6.  $\rho \rightarrow$  Taxa de utilização do sistema;
7.  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} \rightarrow$  Taxa de utilização do servidor;
8.  $1 - \rho \rightarrow$  Taxa de desocupação do serviço.

Para modelos em que se assuma fonte infinita, verifica-se relações entre as medidas de desempenho e as características acima referidas, através da Equação (2), que será dada em função da taxa de utilização do sistema ao quadrado, a Equação (3) dada em função do número médio de clientes no sistema, a Equação (4), que normalmente é apresentada em função do tempo médio que um cliente se encontra na fila de espera e ainda a Equação (5), dada em função do tempo médio de um cliente no sistema [36]:

$$\rho^2 = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (2)$$

$$L_s = L_q + \rho \quad (3)$$

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} \quad (4)$$

$$W_s = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

### 2.2.3 Caracterização dos sistemas de fila de espera

Depois da definição desta teoria e da apresentação das relações de diferentes parâmetros de um sistema, são de seguida apresentadas, as diferentes variáveis que têm de ser definidas para caracterizar completamente um sistema.

A caracterização de um sistema de filas de espera pode ser efetuado através de seis propriedades [39].

#### 2.2.3.1 Padrão de chegada dos clientes

A dimensão de chegada de clientes num sistema pode ser unitária, isto é, chegam clientes um a um ou em lotes. Neste último, deve ser determinada a distribuição capaz de representar o tamanho de lotes.

É muitas vezes definido através da taxa média de chegadas, e, portanto, o modelo de chegada é especificado pelo tempo entre chegadas dos utilizadores, podendo ser categorizado como sendo:

- Determinístico, onde as chegadas ocorrem em tempos de intervalos constantes.

- Uma variável aleatória, onde o tempo entre chegadas varia, seguindo uma distribuição de probabilidades conhecida.

Para esta propriedade ser totalmente caracterizada, ainda se deve conhecer a taxa de chegada  $\lambda$  [40].

#### 2.2.3.2 Padrão de atendimentos dos utilizadores (ou padrão de serviço)

Este parâmetro é normalmente descrito pelo tempo de serviço, ou seja, o tempo em que o serviço será realizado pelo servidor. Da mesma forma que o padrão de chegada de clientes, o padrão de serviço pode ser determinístico ou uma variável aleatória.

Associado a este padrão tem-se o  $\mu$ , que indica a taxa média de atendimentos, por servidor [39][40].

#### 2.2.3.3 Número de servidores

Os servidores são o número de utilizadores que se encontram em paralelo, e a capacidade de cada posto é determinada pelo número de canais em paralelo disponíveis e pela sua capacidade em servir os clientes, sendo que esta característica pode definir a capacidade de um sistema [39][40].

O sistema pode ser distinto, quanto ao número filas, assim como ao número de servidores, podendo ser classificado como:

- **Sistema de fila única e canal simples**

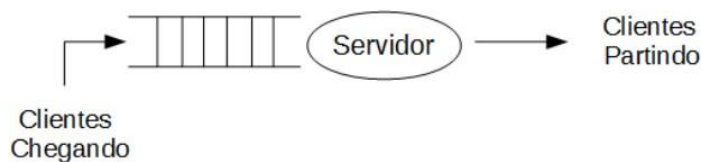


Figura 14 - Sistema de fila única para um canal simples [39]

- **Sistema multicanal com fila única:** Um exemplo clássico é uma barbearia, onde terá uma fila única, e poderá ter vários servidores.

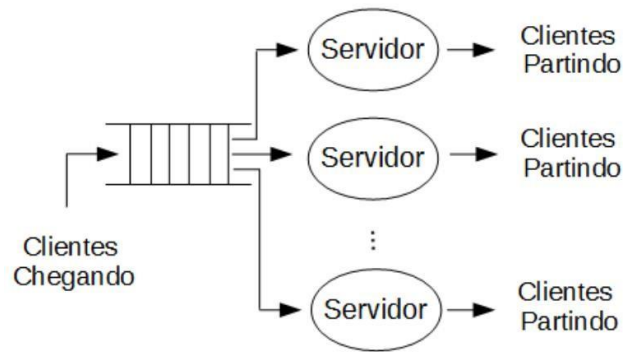


Figura 15 - Sistema multicanal com fila única [39]

- **Sistema multicanal com várias filas:** O supermercado é um bom exemplo para este tipo de sistemas, onde as filas associadas aos respectivos servidores, serão independentes umas das outras [37].

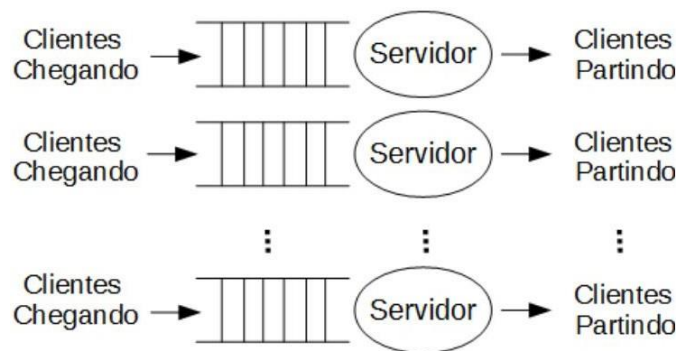


Figura 16 - Sistema multicanal com várias filas [39]

#### 2.2.3.4 Capacidade do sistema

Esta corresponde ao número de utilizadores que o sistema consegue processar, podendo ser ilimitada, isto devido, em alguns processos de filas existir uma limitação física da quantidade de espaço na fila, após as filas alcançarem um certo comprimento em que, mais nenhum cliente poderá entrar no sistema. Os sistemas deste tipo são reconhecidos como sistema de filas finitos [40].

Além de todas as variantes das filas de espera referidas, ainda se deve ter em conta o parâmetro conhecido como número de fases. Nas situações anteriormente descritas tratava-se de uma fase, porque no sistema, a entidade apenas passava por um servidor. No caso de um sistema com várias fases, o cliente terá que passar por mais que um servidor diferente (que desempenha funções diferentes) [36][37].

Um exemplo de um sistema clássico com muitas fases é o serviço de urgências de um hospital, onde o utente tem de passar: pela inscrição inicial; a triagem; a consulta; a

realização de exames complementares de diagnóstico em certos casos, entre outros. Sendo que teoricamente, quantas mais fases um sistema tem, maior será o tamanho da fila e consequente do sistema. Na Figura 17 são identificados os vários tipos de sistemas que podem existir [39].

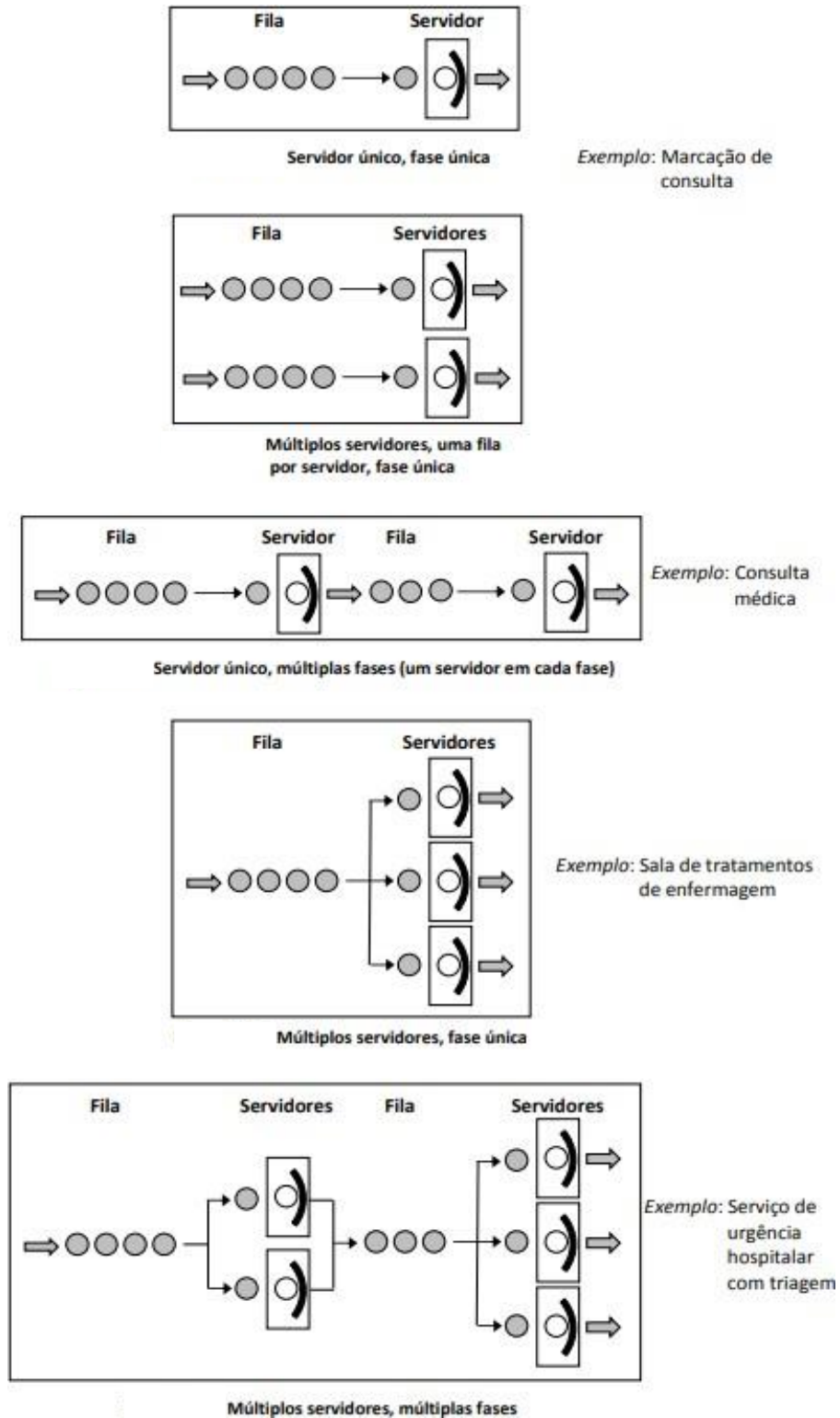


Figura 17 - Várias configurações possíveis de um sistema de acordo com a quantidade de servidores e fases [35]

#### 2.2.3.5 Dimensão da população

Como o nome indica, é um parâmetro relacionado com o número potencial de clientes que necessita do serviço, que pode ser finito ou infinito [39][40].

#### 2.2.3.6 Disciplina da fila

As filas de espera podem ter capacidade limitada, ou até, ilimitada, sendo os fatores determinantes, os espaços físicos e a disponibilidade dos recursos. Após alcançar o limite, a entrada de novas entidades no sistema será bloqueada [42].

O termo disciplina da fila, está relacionado com o modo como os diferentes membros de uma fila são selecionados para serem atendidos, podendo o atendimento ser efetuado por inúmeros critérios, tais como por exemplo: a importância do cliente; a data de entrega; o tempo de execução; a emergência do serviço ou por ordem de chegada. De acordo com estes critérios, a disciplina de fila, pode ser classificada como [37]–[39]:

- **FIFO (*First In - First Out*):** É o conceito mais usual, é aquele, onde o cliente será atendido por ordem de chegada, como por exemplo a venda de ingressos para jogos de futebol, atendimento no banco, entre outros.
- **LIFO (*Last In – First Out*):** Neste caso, a última entidade a ser atendida é a que é processada. Por exemplo, no descarregamento de mercadorias em distribuidoras ou supermercados. Esta disciplina de fila é muito usada em muitos sistemas de *stock*, principalmente, nos casos onde não existe obsolescência de unidades armazenadas, e onde também será mais fácil alcançar os itens mais próximos e por norma são os últimos que chegam.
- **PRI (*Priority Service*):** O atendimento das entidades é efetuado por meio de prioridade pré-estabelecidas pela gerência do sistema. Um exemplo de aplicação, será o atendimento num hospital e funções a serem realizadas por um computador.
- **SIRO (*Service In Random Order*):** Neste tipo de sistema, o atendimento é feito de uma forma aleatória. Exemplos deste, são os aprovados num curso ou os vencedores de um programa.

## 2.3 Ferramentas de Simulação

### 2.3.1 Ferramentas no auxílio da tomada de decisão

A incerteza é um fator que influencia o processo de tomada de decisão, além de que, se pode afirmar que a incerteza e o risco estão associados, pois o risco tem como base a estimativa das probabilidades sobre o nível de incerteza que se tem relativamente a resultados futuros. De onde se conclui que, o risco ocorre quando se preveem os resultados a partir da incerteza. [43]

De modo a aumentar a qualidade da decisão, usam-se com frequência as ferramentas de apoio à decisão, já que com o uso destas, dá-se um aumento de probabilidade de uma determinada decisão estar correta, tendo em contrapartida um aumento do custo da decisão. [43]

A análise e avaliação das diferentes alternativas deve ser feita através de uma decisão racional, sendo que as opções de ferramentas possíveis poderão ser [43]:

- **Intuição:** É uma das ferramentas menos confiáveis, pois pode ser uma considerada por uma percepção por vias ou meios inconscientes;
- **Suposições:** É uma forma de atuação, ainda muito imprecisa, mas mais recomendado que a intuição;
- **Cálculos teóricos:** Geralmente são determinísticos;
- **Modelos matemáticos:** São modelos, onde estão presentes relações matemáticas diretas, que incluem métodos de investigação operacional, nomeadamente programação linear, filas de espera, teoria de *stock*, entre outros;
- **Modelos de simulação:** Pode ser considerado como sendo um processo representativo de um sistema real, onde se procede a realização de experiências com esse modelo, de modo a conhecer melhor o seu comportamento. Bem como avaliar a possibilidade de se implementarem estratégias alternativas de operação;

- **Modelos experimentais e amostras:** Estes obviamente serão muito mais confiáveis em relação aos anteriores, no entanto, apresentam na mesma proporção, elevados custos de decisão.

Comparando os modelos matemáticos com os modelos de simulação, estes últimos tem uma capacidade de lidar com problemas muitos mais complexos que os primeiros, além de que, problemas do mundo real nem sempre se podem representar por relações matemáticas diretas, seja nas variáveis de decisão, seja na função objetivo [43].

### 2.3.2 Simulação

Pode ser considerada como sendo uma ferramenta baseada num programa computacional que promove a imitação de um processo real num determinado tempo, com o intuito de avaliar de que forma, possíveis decisões/operações possam afetar um sistema, através da análise das diversas variáveis no mesmo ou alterações propostas nele, permitindo “medir-lhe” o desempenho ou de avaliar estratégias alternativas para a sua operação [38][44].

Para o termo simulação, existem definições de vários autores, mas este termo apresenta uma particularidade: o facto desta tratar da replicação de um sistema real, e na qual se conseguem realizar experiências, sem afetar a realidade do sistema na realidade [38][44].

O primeiro *software* de simulação surge em meados de 1950, e desde então, pode-se deparar com o aparecimento de novos *softwares* e com a respetiva evolução, com melhoria de suas capacidades, em paralelo com a evolução dos computadores. Para um sistema de fabrico, apenas se verificou no início dos anos 60, a modelação de um sistema em *software*, e com o leque de opções também a aumentar em particular no setor industrial [38][44].

Como qualquer ferramenta, a simulação também apresenta as suas vantagens e desvantagens, onde o seu balanço dita se a ferramenta em questão, é propícia ou não a ser usada.

Algumas vantagens a destacar desta ferramenta serão [43][44]:

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxo de informação, procedimentos organizacionais, entre outras, que podem ser

exploradas sem que se interrompa o sistema real, evitando eventuais custos associados a esta;

- Novos *layouts*, sistemas de transportes, entre outros, que podem ser testados sem comprometer os recursos para a sua aquisição;
- Hipóteses acerca de como ou porque ocorrem certos fenómenos, podem ser testados quanto à sua viabilidade;
- Quando se pretende realizar uma análise ao gargalo do processo, e assim descobrir qual o recurso que causa o atraso das entidades;
- O funcionamento de um sistema pode ser observado num estudo de simulação;
- Permite a modelação noutra escala de tempo que não a real, ou seja, é capaz de se simular longos períodos num tempo reduzido.

No entanto apresenta desvantagens, tais como [43][44]:

- A construção de um modelo requer conhecimento, e apenas com bastante treino e experiência acumulada ao longo do tempo, é que se consegue fazê-lo. Se duas pessoas diferentes construírem um modelo, é muito improvável que estes sejam iguais, mesmo apresentando algumas semelhanças;
- Os resultados da simulação são complexos de interpretar. Na grande parte dos modelos, os resultados são basicamente variáveis aleatórias, isto devido aos dados de entrada introduzidos no modelo também serem aleatórios, sendo complicado a distinção de uma observação, que é resultado da inter-relação do sistema ou da aleatoriedade;
- A simulação e análise podem ser dispendiosos. Poupar nos recursos também não é uma boa opção, já que poderá não servir os propósitos e ser insuficiente para retirar conclusões mais acertadas e corretas possíveis;

- Em casos que os dados resultantes da simulação são apresentados em grandes números, poderão levar a uma confiança nos resultados acima da esperada. A simulação está muito dependente da validação do modelo desenvolvido, ou seja, de nada adianta encontrar-se uma solução para o problema, caso o modelo desenvolvido não seja o representado do sistema real, assim como os dados de entrada não serem os corretos.

A simulação tem desempenhado um papel importante na área da análise, projeto e otimização de gestão industrial, e por isso tem sido bastante utilizada por diversos autores em sistemas de produção. Áreas comuns de aplicação da simulação e projetos desenvolvidos são abaixo descritos [45]:

### **Produção**

- Determinação do tamanho ótimo de lotes a produzir para uma fábrica de semicondutores;
- Otimização do tempo do ciclo e o seu uso no fabrico de semicondutores;
- Investigação em cadeia de abastecimento dinâmica orientada aos serviços;
- Análises estratégicas de armazenamento e recuperação em um armazém;
- Comparação de regras de despacho para o fabrico de semicondutores usando modelos;
- Comparação de regras de despacho usando modelos de pequenas dimensões.

### **Logística, Transporte e Distribuições**

- Análise do fluxo de passageiros num terminal de aeroporto;
- Problemas logísticos em sistemas de produção de alimentos autónomos para exploração espacial de longa duração;
- Distribuição de produtos da indústria de informação – Jornais;
- Avaliação dos potenciais benefícios de um algoritmo de planeamento para uma linha ferroviária.

### **Simulação de processos de negócios**

- Planeamento estratégico da força de trabalho;
- Reconciliação da modelagem de negócios e sistemas.

## **Engenharia de construção**

- Construção especial de túneis utilizadores;
- Renovação de infraestruturas urbanas subterrâneas;
- Planeamento e construção de um dique – barragem.

### **2.3.3 Terminologia em uso na modelação e simulação de sistemas**

Um sistema é composto por diversos elementos, que servem para explicar onde, quando, quem, o quê e como se desenvolve o processamento de entidades numa simulação [39][46].

Por isto, para o uso da ferramenta da simulação, é necessário o conhecimento destes elementos, que são abaixo apresentados.

**Sistema** – Conjunto de entidades, sejam pessoas ou máquinas, que interagem entre si, de forma a cumprir determinados objetivos [39][46].

**Modelo** - Um modelo é a representação de um sistema real, onde são descritos todos os seus intervenientes e suas interações, onde pode ter na sua estrutura uma lógica matemática para as entidades e os seus atributos, e que é criado de modo que esse sistema real possa ser estudado e analisado [39][46][47] .

**Variáveis:** As variáveis são elementos que contêm informações revelantes em cada instante de tempo, que são a base da compreensão de como o sistema se está a desenvolver. O número de pessoas, de peças ou de tarefas nas filas de espera ou o número de carros num certo dia são exemplos de variáveis [39][46][47].

As variáveis não sendo características particulares da entrada, mas sim do sistema, podem estas serem alteradas por qualquer entidade [48].

Já as denominadas de variáveis globais, são as variáveis que estão disponíveis para o modelo inteiro, em todos os momentos. Esta pode controlar praticamente qualquer coisa do modelo de simulação. Um exemplo é quando se restringe uma fila de espera de um dado recurso a um número limitado de entidades [39][44][46][48].

**Entidades** - As entidades são os objetos do sistema que se movimentam entre as estações de trabalho, que têm um determinado conjunto de atributos associados e uma

reação a um determinado evento. Estas podem ser classificadas como dinâmicas, quando se movem num sistema, como por exemplo um cliente, ou então estáticas, quando se trata de um objeto que serve outras entidades, como por exemplo máquinas [39][46].

As entidades também podem ser classificadas como [44]:

- Internas – São criadas e manipuladas pelo programa de simulação, como se sucede quando se dá a falha numa máquina;
- Externas – Quando são manipuladas e são previstas pelo modelador, como por exemplo, a chegada de um componente.

Às entidades que entram, percorrem e abandonam o sistema, dá-se a designação de entidades temporárias. Por lado contrário, as entidades que executam a sua função sem abandonar o sistema são designadas de permanentes [46].

**Atributo** - Os atributos são as características que definem cada entidade do sistema [46]. Estes podem ser alterados numa estação de trabalho, mas apenas será alterada para a entidade em processamento. Exemplos de atributos podem ser [48]:

- O caminho que entidade precisa de seguir;
- Quanto uma entidade precisa de esperar;
- Uma característica de uma pessoa;
- Tempo de deslocamento de uma entidade, de uma estação para outra, do seguinte modo: cria-se um atributo de valor 0 para a entidade, e quando esta passa pela estação de trabalho final, verifica-se novamente o tempo;
- Entre outros.

**Eventos** - Os eventos de um sistema são acontecimentos, programados ou não, que podem mudar o estado de sistema, ou seja, conseguindo alterar atributos e variáveis, e não têm duração associada, pois são instantâneos [48].

Exemplos de eventos podem ser [46]:

- Quando um serviço é completado;
- Chegada e saída de clientes do sistema.

**Atividade** - São as ações que ocorrem num sistema, e que o seu início e fim provoca o aparecimento de eventos, mas ao contrário destes, as atividades têm uma duração ao longo do tempo [44].

Alguns exemplos de atividades podem ser a execução de um serviço, que demora um determinado tempo para a sua conclusão, e um processo de simulação, entre outros [39].

**Recurso** - O recurso, num sistema, é o elemento estático que presta serviços às entidades, podendo ser por exemplo, pessoas ou equipamentos [46]. Dependendo de caso para caso, um recurso é capaz de servir uma ou mais entidades. No entanto possuem sempre uma capacidade limitada, e então, as entidades concorrem entre si para serem usadas pelo recurso, sendo que, quando o recurso já se encontra com a sua capacidade esgotada, as entidades subsequentes se encontram na designada fila de espera. Posto isto, um recurso não tem sempre tempos produtivos porque tempos não produtivos ocorrerão, por exemplo, devido a falhas ou avarias dos recursos [48].

**Filas** - As filas são os locais onde as entidades geradas aguardam para serem processadas por um recurso. Sendo estas uma atividade da simulação, normalmente adotam a estrutura de fila FIFO, abreviatura que indica que a primeira entidade a chegar será a ser processada [46].

## **2.3.4 Passos de um estudo de simulação**

De forma a um estudo de simulação ser bem executado, ter uma alta probabilidade de sucesso e de igual forma ter credibilidade a longo prazo. Diversos autores sugerem que sejam seguidos alguns passos ou etapas, existindo alguma variedade entre todos, sendo apresentados nas 7 subsecções que se seguem.

### 2.3.4.1 Identificação e formulação do problema

Neste primeiro passo, devem-se enumerar os constrangimentos do sistema, assim como definir o objetivo do estudo, as medidas de desempenho/variáveis a considerar na avaliação das diferentes configurações a analisar, o período necessário para o estudo,

assim como os recursos necessários para a execução do modelo e sua análise, até de forma a simplificar a escolha do *software* a usar por parte de gestores/analistas da organização [39][44][46].

#### 2.3.4.2 Recolha de dados sobre o sistema

Neste passo deve-se obter a informação relativamente dados de entrada do sistema, como por exemplo, as distribuições a assumir, o *layout* e os procedimentos operacionais. Este passo deve passar por um *brainstorming* entre pessoas operacionais, chefes de equipa, gestores e especialistas em relação ao sistema e às suas operações, de modo que não persista qualquer dúvida [39][44].

A recolha pode ser feita através experiências em laboratório, medições realizadas através do sistema real, ou então tendo em consideração dados históricos [46].

Nesta fase da recolha de dados, deve-se ter em atenção aos seguintes pontos [44]:

- Objetivos de projeto;
- Medidas de desempenho;
- Disponibilidade dos dados;
- Credibilidade dos dados recolhidos;
- Restrições computacionais;
- Opinião dos especialistas;
- Limitações de recursos (tempo e dinheiro).

#### 2.3.4.3 Formulação e desenvolvimento do modelo

Após a construção do modelo conceptual, deve-se transpor este para o *software* de simulação. O tempo de implementação do *software* variará, dependendo de qual foi o *software* selecionado e da experiência do modelador [39][46].

#### 2.3.4.4 Verificação e validação do modelo (V&V)

A validação pode ser feita através da comparação do modelo desenvolvido com o sistema real, sob as mesmas condições, de modo a verificar se os resultados apresentados através da simulação, coincidem com resultados reais conhecidos.

Comprovando desta maneira, que os resultados de quaisquer experiências que se façam no *software* de simulação, sejam semelhantes aos que se obteriam na vida real [39].

Este passo é fundamental, tendo em consideração que os modeladores, gestores de topo e utilizadores da simulação, tomam decisões conforme os resultados desta, e que tal pode ser feito durante a própria construção do modelo, ou então, até mesmo no final da conceção do mesmo [44].

De modo a garantir um modelo válido, pode-se proceder à realização de testes piloto, de modo a obter-se uma validação satisfatória. Neste sentido, é apresentado de seguida um conjunto de 8 passos para a V&V de um modelo [44]:

1. De modo a validar o modelo, e mesmo antes do desenvolvimento do modelo da simulação, com intuito de se tomar decisões e um conjunto de técnicas específicas de validação, a equipa de desenvolvimento de projeto deve definir qual a abordagem que deve ser seguida;
2. A precisão é um fator muito importante a ter em conta, e portanto, dever ser definido o nível desta, com a maior antecedência possível;
3. Sempre que possível, testar todas as hipóteses e teorias subjacentes ao modelo de simulação;
4. Em cada iteração, deve-se validar o modelo conceptual;
5. Para cada iteração, deve-se estudar o seu comportamento;
6. No desenvolvimento do modelo, deve-se comparar o comportamento dos dados de saída, entre o sistema real e a simulação, de modo a se validar o mesmo.
7. Preparar o documento da V&V, de modo que este, esteja incorporado no relatório do modelo de simulação.
8. No caso de o modelo de simulação ser usado por um determinado período, deve ser estabelecida uma agenda de revisão periódica, com o objetivo de garantir a V&V do mesmo.

#### 2.3.4.5 Desenho de experiência / *Design of Experiments* (DOE)

Esta ferramenta, tem como intuito identificar quais os fatores relevantes para os dados de saída ou não, para que estes sejam retirados da análise, de forma a reduzir o esforço experimental, assim como simplificar a interpretação dos dados.

Esta fase pode subdividida por duas outras:

- A primeira, antes do estudo, onde se deve definir o quão mais cedo possível a definição das medidas de desempenho a analisar;
- Numa fase posterior, devem ser definidos os fatores que são admissíveis de variar.

Todas as informações que se obtiveram por meio da V&V, devem ser considerados no DOE. Diversos autores afirmam que mesmo após a V&V, devem-se atualizar as restrições relativas ao tempo do projeto, tais como as restrições que teriam sido definidos no modelo concetual.

De um outro ponto de vista, o desenho de experiências, também pode ser considerado como definição final em relação comprimento temporal da execução do modelo, o tempo de aquecimento de um modelo e o número de replicações deste [44].

#### 2.3.4.6 Execução do modelo

Esta etapa ocorre com base no passo anterior, e é onde são gerados os resultados pretendidos, de modo a se proceder à análise dos indicadores de desempenho à *posteriori*. Com os resultados obtidos pode-se avaliar o desempenho do sistema, assim como a comparação de vários cenários alternativos [39][44].

#### 2.3.4.7 Documentação, apresentação e uso dos resultados

De modo a garantir a validação do modelo e com intuito por dar formação ao utilizador, o modelador realiza pequenos ajustes ao modelo criado. A documentação deve conter e descrever o estudo de simulação, o modelo, a análise de resultados e propostas para estudos futuros. Também deve ter em conta uma breve discussão sobre a construção do modelo e a V&V, de modo a assegurar um determinado nível de credibilidade, em relação aos trabalhos obtidos [44][46].

### 2.3.5 Classificação dos modelos de simulação

No subcapítulo abaixo podem-se verificar de que forma podem ser categorizados os modelos de simulação.

### 2.3.5.1 Determinísticos ou estocásticos

Esta diferenciação consiste no papel da aleatoriedade no modelo. No caso de um modelo de simulação não ter nenhuma componente probabilística, ou seja, onde os valores de entrada e saída serem fixos, o modelo é chamado de determinístico, onde por exemplo deste tipo de modelo, será uma operação agendada com serviços temporais fixos [43].

Já os estocásticos, diferem no sentido de nestas existem variações na entrada (existência de variáveis aleatórias), produzindo do mesmo modo resultados aleatórios, mais ou menos previsíveis, onde a mudança numa entrada poderá causar várias mudanças no estado do modelo [46]. O *output* deste último, deve ser tratado como uma estimativa das verdadeiras características do sistema, tendo como bons exemplos as filas de espera e o sistema de gestão de *stock*. Para se introduzir num modelo, um comportamento estocástico, há dois casos a considerar [44]:

- O comportamento é descrito através de uma distribuição e onde os valores retirados de experiências antecedentes do sistema, muitas vezes obtidos por meio de tabelas de frequências ou histogramas;
- O comportamento é descrito de forma analítica, seja através de funções adaptadas ao conjunto de dados experimentais, seja por meio de funções típicas, como a normal, *Poisson*, entre outras [43].

O *software* Arena, tanto permite trabalhar modelos estocásticos, como também os Determinísticos [48].

### 2.3.5.2 Modelos de simulação contínuo vs discreto

Os modelos contínuos são modelos onde o seu estado é alterado continuamente ao longo do tempo, como por exemplo, o nível da maré da praia; enquanto que os modelos ditos discretos, apenas alteram o seu estado em pontos discretos dos tempos, denominados de eventos [48]. O modo de operação desta última consiste no avanço do tempo na simulação, e onde a atualização do sistema se dá aquando da passagem de um evento para o outro, e pode ter como exemplo as peças que chegam e saem de uma etapa de um processo produtivo [39].

Tendo em consideração esta distinção, deve-se referir que o Arena é um *software* que realiza simulação de eventos discretos, onde se baseia fortemente na teoria de filas de espera, teoria explicada no subcapítulo 2.2.

#### 2.3.5.3 Estáticos ou dinâmicos

Um modelo estático traduz um sistema num determinado ponto no tempo, estando-se perante um modelo onde o tempo não desempenha um papel importante, enquanto um modelo dinâmico representa um sistema e o seu estado ao longo de um determinado período (mudanças ao longo do tempo), como por exemplo um sistema de transporte de uma fábrica, onde o fator tempo é um fator revelante. O Arena foi desenvolvido, para trabalhar em modelos dinâmicos [48].

### 2.3.6 Diferentes *softwares* de simulação

Com o reconhecimento da capacidade de auxílio que os softwares proporcionam, apareceram dezenas de *softwares* no mercado, e cada uma tentando destacar-se das restantes, no sentido de promover uma redução de esforços no desenvolvimento de um modelo de simulação, levando a uma indecisão da parte do utilizador acerca do *software* a optar, onde para cada estudo a efetuar-se, deve-se analisar diversos parâmetros individualmente, para que o utilizador escolha o *software* mais adequado às características do estudo em causa [46].

Abaixo são apresentados alguns dos programas de simulação com maior uso, assim como a sua aplicabilidade.

#### **ANYLOGIC**

Este *software* não foi desenvolvido por programadores de simulação, mas sim por pessoas com conhecimento em sistemas de distribuição, teoria da concorrência e a ciência da computação, tendo sido lançado no ano de 2000, tem como base a linguagem de programação Java [46][49].

Este *software* é usualmente utilizado em simulação discreta, em sistemas dinâmicos, e sistemas híbridos como Xing, Y. and Liu, S. and Wang, H. (2018) usaram no seu artigo na simulação da organização do fluxo para os passageiros, numa estação de comboio, para uma situação de emergência [47].

Na Figura 18, é possível verificar a animação do software Anylogic, em termos de visualização e em termos de *outputs* que se consegue obter.

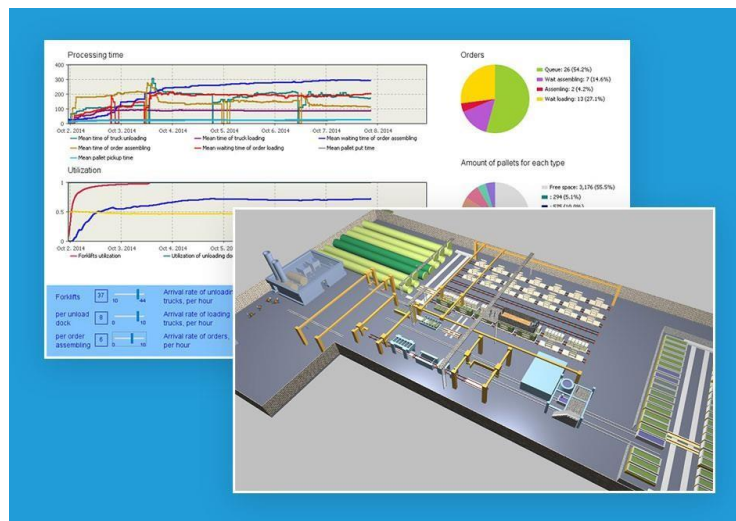


Figura 18 - Animação Anylogic [50]

## FLEXIM

A flexim foi fundada em 1990, por quatro licenciados da universidade Humboldt e da universidade de Rostock, ambas de Berlim e é um *software* para arquitetura que serve para modelar, visualizar, otimizar e analisar sistemas, e tem como grande vantagem a modelação 3D, possui bibliotecas de objetos físicos, como processadores, operadores, transportadores, empilhadores, prateleiras, entre outros, permitindo com isso visualizar o sistema de uma maneira mais fácil [49][51], tal como é possível ver na Figura 19.

É recomendado para professores, já que existe um livro acerca do programa, denominado de “*Applied Simulation and Analysis using Flexsim*”, que pode servir de auxílio [45][46].

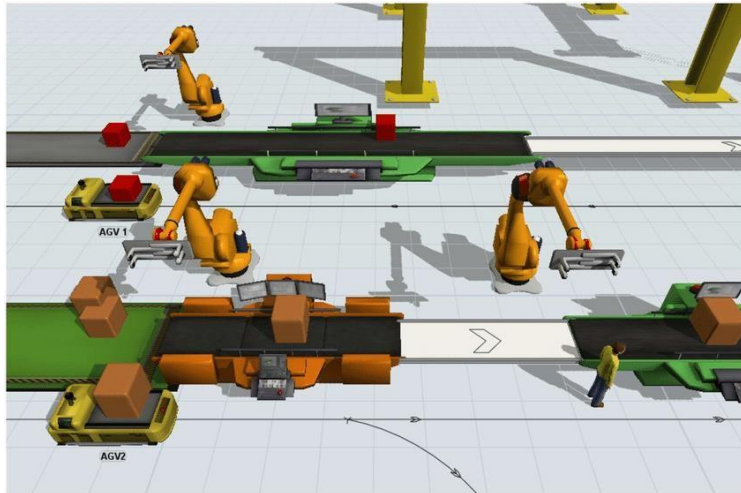


Figura 19 - Exemplo de simulação em *Flexsim* [52]

## SIMIO

Esta ferramenta tem como particularidade o desenvolvimento de modelos de simulação, através de objetos que representam os componentes físicos de um sistema, onde os modelos de simulação animados podem ser criados em 2D e em 3D, tornando o processo de modelação bastante intuitivo e pode atuar em diversas indústrias [45][46].

Na Figura 20 é possível observar as diferentes funcionalidades deste *software*, desde bibliotecas com objetos 3D, facilitando a visualização do comportamento do sistema de estudo, até sendo possível a visualização de processos através de blocos, tal como o Arena.

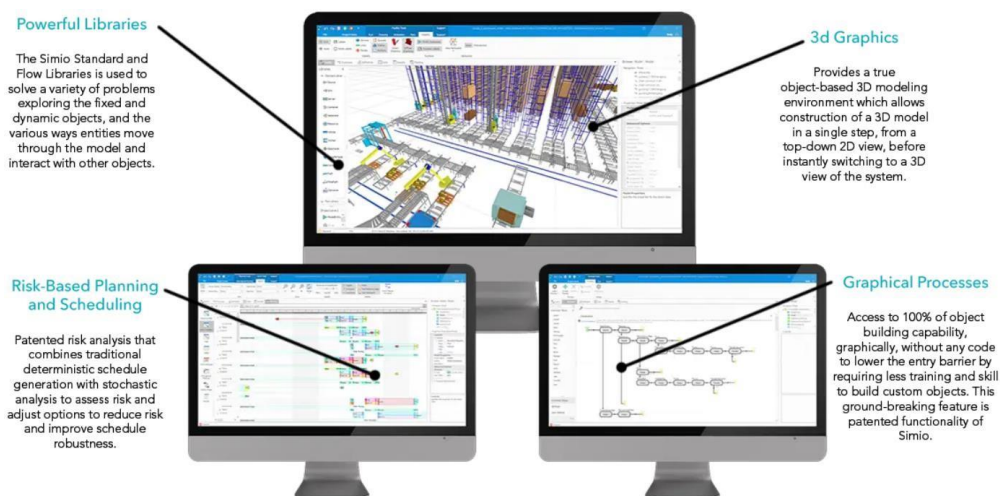


Figura 20 - Funcionalidade do *Simio* [53]

## 2.4.4. Arena

### 2.4.3.1. Software

O *software* Arena foi criado com o intuito de analisar o impacto de mudanças que envolvem redimensionamentos complexos e significativos, associados a cadeias de abastecimento, produção, processos, logística, distribuição, armazenagem e sistemas de serviços [45].

Este *software* disponibiliza uma livreria, já integradas no sistema, permitindo uma certa facilidade na modelação de projetos, nomeadamente, em áreas como a da produção, logística e reengenharia [45].

A simulação Arena tem por trás um modelo matemático-lógico, que reflete a dinâmica dos processos e sistema, através de recursos a objetos orientados à simulação, sem a necessidade de conhecimento aprofundados em linguagens de simulação.

A sua origem deu-se em 1993, a partir da junção de outros dois programas [48]:

- SIMAN – É uma linguagem de simulação e, em 1983 deu nome ao primeiro programa para computadores pessoais;
- CINEMA – Surge em 1984 e foi o primeiro programa para animação de simulação.

O Arena em si é um ambiente gráfico, contendo a simulação matemática, juntamente com todos os recursos para modelação, animação, análise estatística e análise de resultados [48].

Os cenários mais usuais para os quais se usa no Arena são [54]:

- A análise de sistemas de fabrico, assim como equipamentos de manuseamento de material, como por exemplo veículos guiados automaticamente, transportadores, equipamento de doca, entre outros;
- A análise de um serviço complexo de clientes ou ainda a gestão de sistemas e clientes;
- A análise de cadeias de abastecimento globais, onde se incluem o armazenamento, transporte e sistemas de logística;
- A avaliação de *performance* de um sistema, tendo em consideração métricas chave, como custos, tempos de ciclo, uso de recursos, entre outros;

- A identificação de *bottlenecks*, o comportamento das filas de espera, assim como os recursos são usados;
- Planeamento de pessoas, equipamentos ou requerimentos dos materiais.

O *software* em uso permite [54]:

- A modelação dos processos para definir, documentar e comunicar;
- A simulação de uma futura *performance* do sistema em causa, compreendendo as relações mais complexas e sendo possível identificar possíveis oportunidades de melhoria;
- A visualização das operações com gráficos dinâmicos com animação;
- A análise da *performance* de um sistema numa configuração “era-é”, e com uma gama vasta de diferentes alternativas, permitindo a melhor configuração para um negócio.

#### 2.4.2.2. Módulos de processo usados

No Arena, a construção de um sistema, faz-se a partir dos denominados “módulos”. Estes compõem o fluxograma de processos e são os dados que definem o processo que se pretende simular.

Os módulos em uso na análise do ARENA foram [54]:

**Create** – Onde se dá o começo do fluxo do processo e onde as entidades entram na simulação, através do tempo entre chegadas. Após este módulo, as entidades prosseguem para o sistema. Os típicos casos onde se usa este módulo são:

- O começo da produção de uma peça numa linha de produção;
- A chegada de um documento num processo de negócio;
- A chegada de um cliente num processo de serviço (como por exemplo numa loja, restaurante, num centro de informações, entre outros).

**Dispose** – Onde se dá o fim do fluxo do processo e onde as entidades são removidas da simulação.

Este módulo tipicamente é usado em:

- Partes que deixam a instalação modelada;

- O fim de um processo de negócio;
- Clientes a saírem de uma loja.

**Process** – Este módulo representa qualquer ação dentro de um sistema, e que leva sempre um determinado tempo a ser executado. É capaz de representar a ocupação de uma máquina, de um operador ou de ambos, podendo ser considerados recursos. As aplicações mais frequentes para este módulo são:

- Maquinagem de uma peça;
- Revisão de um documento para sua integridade;
- Pedidos por acabar;
- Atendimento a um cliente.

Neste módulo processo, pode-se adotar 4 tipos de ações, independentemente do tipo de processo:

- **Delay** – Indica o tempo de processo, ou o tempo que uma entidade está a utilizar um dado recurso;
- **Seize Delay** – Indica que o recurso será colocado neste módulo, com a ocorrência de um atraso, onde a libertação de recursos ocorrerá num momento posterior;
- **Seize Delay Release** – Indica que um recurso será alocado, seguido por um atraso do processo, onde de seguida o recurso será libertado;
- **Delay Release** – Indica que o recurso tinha sido previamente atribuído, e que a entidade irá simplesmente se atrasar e libertar o recurso especificado. Apenas aplicável quando o tipo é padrão (*standard*).

Na escolha da estatística associado ao tempo dispensado pelo recurso a atuar num processo, têm-se as opções: Constante, de acordo com uma expressão ou então pode ser definida através de uma distribuição estatística (Normal, triangular ou uniforme).

Como se poderá ver nas simulações, admitir-se-á que o atraso, ou seja, o tempo em que o recurso atua, será constante.

**Decide** – Este módulo auxilia nas decisões a tomar nos processos do sistema. As condições podem ser baseadas em:

- *2 way by chance*;
- *2 way by condition*;
- *N-way by chance*;
- *N-way by condition*.

Casos típicos para o uso deste módulo serão, por exemplo, o envio de uma peça danificada para retrabalho e envio de clientes prioritários.

Nas simulações feitas, este módulo será útil, nomeadamente para os defeitos, de acordo as suas percentagens consideradas.

**Assign** – Com este módulo é possível atribuir novos valores a variáveis, atributos de entidades, tipos de entidades, figuras de entidades, ou outras variáveis do sistema. Podem-se fazer várias atribuições num mesmo módulo *assign*.

**Record** - Este modulo é usado para recolher dados estatísticos num modelo de simulação. Estão disponíveis várias observações estatísticas, tais como: tempo entre saídas do módulo; estatísticas da entidade (tempo, custo, etc.); observações gerais e intervalos estatísticos. Como por exemplo, de um determinado tempo pré-definido para o tempo de simulação atual. Também está definido uma estatística de contagem, podendo ser efetuados contagem ou através de um conjunto de contadores.

**Seize** – Este modulo aloca unidades de um ou mais recursos a uma entidade. O módulo pode ser usado para capturar unidades de um recurso particular.

Quando uma entidade entra neste módulo, ele espera numa lista (caso especificado), até que todos os recursos subsequentes estejam disponíveis em simultâneo.

**Station** – Este módulo define uma estação, ou uma série destas, podendo corresponder a uma localização física ou lógica, onde o processo ocorre. Se este módulo define um conjunto de estações, isto indica que efetivamente está a ocorrer várias localizações processadas. A estação, ou conjunto de estações, reportam todos os tempos e custos das entidades nesta estação.

**Route** - Este modulo transfere uma entidade de estação para a estação seguinte definida para a entidade em questão, onde pode ser definido um tempo relativo à transferência entre estações.

#### **2.4.2.2. Resultados apresentados no *Output***

A partir dos *inputs* (informação conhecida) introduzidos no Arena, os *outputs* que o mesmo apresenta são os abaixo descritos [54].

- ❖ ***NVA Time*** – Corresponde ao tempo que a entidade gastou em atividades que não agregam valor (como por exemplo filas, transporte, movimentações, entre outros).
- ❖ ***VA Time*** – Ao contrário do *NVA Time*, corresponde ao tempo que a entidade gastou em atividades que adicionam valor (como processos).
- ❖ ***Wait time*** – É o tempo que uma entidade passa em filas, ou em processos, cujo tempo seja considerado como tempo de espera.
- ❖ ***Number in*** – Soma das entidades de cada tipo, que foram criadas nos blocos *create*, como também contabiliza a duplicação dos blocos *separate*.
- ❖ ***Number out*** – Soma das entidades de cada tipo que deixaram o sistema, através de um bloco *dispose*.
- ❖ ***WIP*** – Soma das entidades de cada tipo que permaneçam dentro do sistema, em algum processo, no final da simulação ou replicação.
- ❖ ***Number in*** – O número de entidades que entraram num determinado processo.
- ❖ ***Number out*** – O número de entidades que saíram de um determinado processo.
- ❖ ***Waiting time*** – Corresponde ao tempo de espera em cada fila, desde que a entidade entra na fila até ao instante que entra no “servidor”. É observável o seu menor valor, o maior valor e o valor médio do tempo, para cada fila do sistema.

- ❖ ***Number Waiting*** – Corresponde ao nº de entidades que esperam em cada fila. É dado o maior valor, menor valor e o valor médio de entidades em espera.
  
- ❖ ***Number busy*** – Ponderação do valor médio de nº de recursos que se mantiveram ocupados num determinado recurso.
  
- ❖ ***Instantaneous Utilization*** – Rácio entre as taxas de chegada e de serviço



# 3 Estudo de caso

## 3.1 Setor da atividade industrial

O automóvel é um meio de transporte cada vez mais utilizado em Portugal, sendo em 2017 o meio mais indicado para o dia a dia, considerado por 70 % dos portugueses. Este setor é benéfico para a economia portuguesa, principalmente pela presença da fábrica AutoEuropa em Palmela e da unidade Peugeot-Citroen em Mafra [55].

O aumento de importação de veículos, criação de eventos de desportivos automóveis, e a tentativa de criação e produção de automóveis pelos próprios desportistas e outros, verificou-se após a entrada do primeiro automóvel do construtor Panhard & Levassor, importado de Paris pelo IV Conde de Avilez, em 1895 [56].

O fornecimento de todos os componentes de um automóvel, exige parâmetros de qualidade e abrange diversas indústrias, tais como, a metalomecânica, borracha, eletrónica, têxtil, vidro e plásticos, sendo toda a conceção e desenvolvimento no setor automóvel influenciada pelo consumidor final, apresentando-se por isto, de certo modo no topo da cadeia nesta indústria. O consumidor final é exigente, no entanto por norma, tem em consideração alguns critérios antes da escolha do veículo, tais como: os preços praticados; diferenciação na marca; política da gama; assistência pós-venda e facilidade de crédito [57].

A produção de automóveis tem vindo cada vez mais a crescer, donde é possível por exemplo afirmar que, desde 1950 a 2014, a produção mundial anual cresceu cerca de 10 milhões de unidades para perto de 72 milhões, conforme figura 20, comprovando o enorme crescimento desta indústria [56].

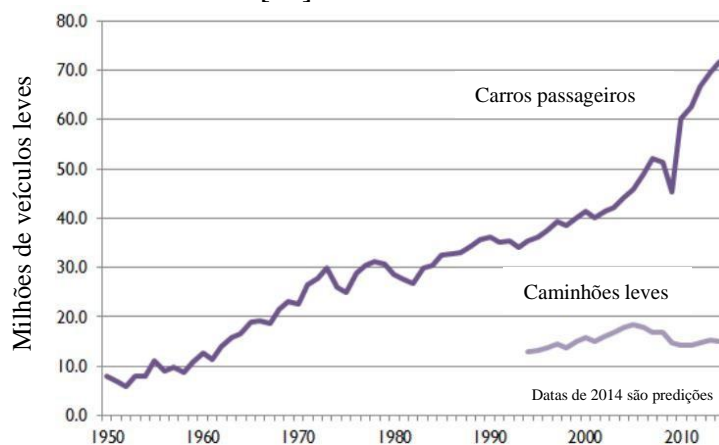


Figura 21 - Produção automóvel desde 1950 a 2014 [56]

A indústria automóvel em Portugal, durante muitos anos, resume-se a um conjunto de pequenos fornecedores que exportam componentes para grandes construtores automóveis e os seus fornecedores de primeira linha [57].

De acordo com os dados da Associação Nacional do Ramo Automóvel (ARAN), em 2020, o setor automóvel representou cerca de 19 % do Produto Interno Bruto (PIB) português e também cerca de 20 % do total das receitas fiscais em 2020, tornando-se por isso no maior contribuidor para a coleta de impostos, contribuindo com mais de 200 mil empregos [58].

Atualmente, existem quatro unidades de montagem a operar em Portugal:

- **PSA Peugeot Citroen**

Desde 1964 que a unidade PSA Peugeot Citroen se encontra instalada em Mangualde, onde começou a produzir o mítico 2 Cavalo-Vapor (CV). Esta unidade funciona como um satélite da empresa francesa tem localizado em Vigo. Esta última, fabrica os modelos da Citroen XSara Picasso, C15, Berlingo e Peugeot Partner. Já em Portugal, na unidade em Mangualde, apenas se dedicam à montagem de veículos comerciais ligeiros, Peugeot Partner e Citroen Berlingo, desde 1996.

A partir de 2010, na unidade de Portugal, iniciou-se o desenvolvimento de um novo modelo, no entanto, este ainda não é conhecido.

Esta fábrica é conhecida como tendo todo o processo produtivo totalmente manual, permitindo deste modo, montar quase toda a totalidade de veículos do grupo [59].

- **Toyota Caetano Portugal**

Esta unidade de montagem existe desde 1971, e localiza-se em Ovar, e nela monta-se, sob a licença da Toyota Motor, veículos de carga e mistos, Hiace e Dyna. Também foi nas suas instalações, que se produziu o mini-autocarro Optimo, que foi distinguido com um dos mais reputados prémios de design internacional, *Good Design Award*, na categoria de transportes 2009.

Da marca Toyota, esta fábrica foi a primeira na Europa, e mais de metade da sua produção é exportado para vários mercados europeus. Por exemplo, no caso de 2008, foram produzidas 5.947 unidades, das quais 3.559 são exportados, número que comprova o nível de exportação no qual a fábrica trabalha [59][60].

- **Mitsubishi Fuso Trucks Europe**

Esta linha de montagem da Mitsubishi, localizada no Tramagal desde 1964, atua apenas em veículos comerciais de caixa aberta. O modelo Canter que produz, é exportado para mais de 30 países da Europa, e o que provem da produção nacional, apenas serão peças pequenas e de baixo valor. A partir de 1996, tem-se dedicado com maior frequência à exportação (inicialmente a fábrica era dedicada ao mercado nacional), sendo que em 2008, das 10.886 unidades montadas, 9.392 foram exportadas [59].

- **VW Autoeuropa**

No início dos anos 90, em Palmela, deu-se a instalação do projeto Autoeuropa, que resultou da ligação entre a Ford Werke, a Volkswagen e a Ford of Europe Inc. com o objetivo da produção de um veículo multiusos, para ser comercializado em 1995.

A implementação desta fábrica revolucionou a lógica da organização da indústria automóvel, nomeadamente com a aplicação dos conceitos JIT. Os fornecedores de primeira linha, trabalhando neste modelo, precisam ter a certificação de qualidade imposta para os fornecedores de primeira e segunda linha. Deste modo, os componentes vão chegando na linha de montagem apenas em quantidades adequadas e numa sequência ordenada, tendo daí ter resultado a necessidade de um parque industrial adjacente para os fornecedores principais.

Em 2008, a Autoeuropa era o principal investimento em Portugal, e esta unidade mantinha cerca de 3.028 empregos diretos e 6.190 indiretos, entres fornecedores e serviços distribuídos pela zona de Palmela.

Já neste ano, esta unidade ganhou um dos mais importantes prémios na indústria automóvel: a *Automotive Lean Production Award*, relacionado com metodologias e métodos de trabalhar *Lean* [57][59].

## **3.2 A empresa**

O estudo de caso a ser analisado neste trabalho, ocorre num determinado grupo francês, que por motivos de confidencialidade se omitiu o respetivo nome. Esta empresa labora em Portugal e produz componentes para o setor automóvel. Em Portugal existem quatro fabricas deste grupo: em Palmela; em Bragança e duas fábricas na região de Aveiro. Os principais clientes externos deste grupo são a *Volswagen* e *Jaguar/Land Rover*.

A peça era fabricada em Valencia, mas devido a falta de condições da fábrica, teve de passar a ser produzido em Portugal, a partir de junho de 2014. Os objetivos de peças diárias que a empresa precisa de produzir, de cor *Almond* e *Ebony*, é respetivamente, 23 e 67 unidades.

De referir que, todas as informações relacionadas com os processos, tempos e defeitos associados e procedimentos foram retirados de [61].

### 3.3 Contexto do problema industrial

A peça em estudo era fabricada em Valencia, mas devido a falta de condições da fábrica, teve de passar a ser produzido em Portugal, a partir de junho de 2014. Os objetivos de peças diárias que a empresa precisa de produzir, de cor *Almond* e *Ebony*, é respetivamente de 23 e 67 unidades.

Na fábrica de Espanha, verificavam-se dificuldades de se cumprirem com os prazos, havendo a necessidade de os colaboradores da empresa trabalharem no fim de semana, nomeadamente nos sábados, como se pode observar na Tabela 3.

Tabela 3 – Evolução das horas extra ao longo do tempo

Mês - Ano	Nº de peças pedidas pelo cliente	Nº de peças recebidas pelo cliente	Sábados trabalhados
Nov-14	1.953	1.953	4
Dez-14	1.395	1.395	2
Jan-15	1.860	1.860	3
Fev-14	1.860	1.860	4
Mar-14	1.953	1.953	5
Abr-14	2.046	2.046	4
Mai-14	2.046	2.046	5

Com a transferência de Espanha para Portugal, foi necessário treinar logo os operadores, de modo a enfrentar o aumento de peças requeridas, que se dava no momento. Inicialmente, em Portugal, verificou-se que os resultados não eram muito satisfatórios, sendo alguns dos principais problemas:

- Tempo para a conceção das peças – Ultrapassando muitas vezes os 10 minutos, indicando um possível excesso de procedimentos;

- Qualidade – Muitas peças eram alvo de reclamações por parte do cliente, sendo devolvidas;
- Excessos de *stock* – Acumulavam-se bastantes peças em *stock*, sendo segundo a filosofia *Lean*, considerando um desperdício.

### 3.3.1 Etapas do processo de fabrico

Foi possível verificar que, para a produção da peça, são necessárias quatro linhas de montagem:

Linha 1 – Injeção da peça plástica – O molde é colocado na máquina KM 800, onde se vai injetar a peça. O operador só recebe a peça injetada, faz a inspeção, coloca o datador e coloca a peça na caixa.

Linha 2 – Espumagem da peça e lixagem – A peça é colocada numa máquina onde é colocada espuma, para ficar com um material que é uma mistura de Isocianato e Polyol, de modo a aumentar o grau de conforto quando ser inserida no automóvel. Como a máquina produz espuma em excesso, é necessária proceder-se a uma lixagem após a espuma sair da máquina.

Linha 3 – Esta linha faz parte da UAP 2 (Unidade Autónoma de Produção afeta à Jaguar Land Rover), sendo uma linha que elabora toda a costura da pele, que na linha 4, será colada à peça.

Linha 4 – É a linha onde se dá a junção da peça espumada, lixada e com pele já costurada, e também onde se dá a dobragem de cantos. É a linha que será alvo de melhorias nesta dissertação.

### 3.3.2 Tempo de produção de uma peça

Diariamente a empresa trabalha em dois turnos (cada um de 8h30):

- 1º turno – 7h00 – 15h30;
- 2º turno – 15h30 – 00h00.

Já o tempo de cada operação, que se efetua na linha 4, encontra-se descrito na Tabela 4.

Tabela 4 - Tempos de execução dos processos da linha em estudo

<b>Operação N°</b>	<b>Estação</b>	<b>Tempo (s)</b>	<b>Tempo total</b>
1	1	129	
2	1	183	
3	1	149	
4	1	120	581
5	2	25	
6	2	36	
7	2	38	
8	2	26	
9	2	21	
10	2	33	
11	2	20	
12	2	30	
13	2	20	
14	2	28	
15	2	23	
16	2	136	
17	2	21	
18	2	5	462
19	3	6	
20	3	23	
21	3	36	
22	3	8	
23	3	31	
24	3	186	
25	3	36	
26	3	41	
27	3	12	
28	3	18	
29	3	33	
30	3	9	
31	3	64	
32	3	52	
33	3	25	
34	3	5	585
$\Sigma$		1.628	

Apesar de cada operador estar 8h30 na fábrica, existem tempos que não são produtivos, tais como:

- 30 min de almoço;
- 5 min para o Top 5 (reunião sobre a produção no início de cada turno);
- 20 min de pausa (uma de manhã e uma à tarde);

- 10 minutos para a manutenção produtiva;
- 10 minutos para o 5S (ferramenta abordada no subcapítulo 2.1.2.3).

Se forem retirados estes tempos que não são produtivos, verifica-se que na realidade, apenas se têm disponíveis  $7 \text{ h}15 = 435 \text{ min} = 26.100 \text{ s}$ , para se produzirem as peças.

Portanto, a linha 4 está dividida em 3 estações:

- **Estação 1 (Adesivagem)** – Onde se coloca a cola/adesivo na peça e onde se encontra um operador a fazer o trabalho manualmente.
- **Estação 2 (Pré-Posicionamento)** – Onde se posiciona a pele na peça, deixando os cantos (parte mais pesada do processo) por dobrar. Nesta estação também estará apenas 1 colaborador.
- **Estação 3 (Dobrar cantos)** – Neste posto completa-se o trabalho da estação 2, dobrando os cantos, onde se dá o embalamento da peça e colocação da caixa na estante.

### 3.1.2. Processos da linha em estudo (Linha 4)

Os processos que são necessários para acabar o processo do fabrico da peça em estudo, são os presentes na Tabela 5.

Tabela 5 – Descrição das diversas operações

Posto	Processo N°	Processo	Descrição
Adesivagem	10	Adesivar cantos no interior da peça	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar a peça no suporte virado para baixo.</li> <li>• O operador adesiva todos os cantos e zonas laterais interiores da peça.</li> <li>• Na zona traseira da peça, os cantos curvos têm de estar bem adesivados</li> </ul>
	20	Adesivar superfície da peça	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retirar a peça com o interior adesivado.</li> <li>• Virar a peça para o suporte de adesivar superfície e colocar uma nova peça, no suporte de adesivar o interior.</li> </ul>

Tabela 5 (contin.) – Descrição das diversas operações

Adesivagem (contin.)	30	Adesivar pele	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar a pele no suporte do avesso e ativar o vácuo.</li> <li>O operador irá adesivar todo o interior da pele, que irá colar na peça espumada e adesivada.</li> </ul>
	40	Fazer autocontrolo Adesivagem	<ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar se não há falhas ou excessos de cola nos cantos e na superfície da peça e da pele.</li> <li>Verificar se não há grumos de cola na superfície da peça e da pele.</li> <li>Verificar se não existe cola na costura.</li> <li>Colocar as peças na prateleira do carro de peças, sempre em conjuntos de peça, e ao lado a pele. Preencher apenas um lado do carro (8 peças).</li> </ul>
Pré – Posicionamento	50	Colocar peça e pele no suporte de forrar	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retirar uma peça e a pele adesivadas do carro</li> <li>Posicionar a peça no molde de forrar.</li> <li>Posicionar a pele por cima da peça e, depois de bem posicionada, baixar a lâmina.</li> </ul>
	60	Alinhar as costuras do lado já preso pela lâmina	<ul style="list-style-type: none"> <li>Já com a lâmina posicionada, primeiro devem ser alinhadas as orelhas e, de seguida, prendido o pisador traseiro.</li> <li>Alinhar a costura lateral até à frente e prender pisador da frente.</li> </ul>
	70	Rodar e alinhar a pele do outro lado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rodar o molde, alinhar a pele do outro lado, e baixar a lâmina.</li> </ul>
	80	Rodar e alinhar as costuras	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com a lâmina do 2º lado já em baixo, elaborar o mesmo que se elaborou no passo 60, para o outro lado da peça. Começar pelo pisador traseiro e finalizar com o pisador dianteiro.</li> </ul>
	90	Aquecer primeira lateral até à aba	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com o aquecedor manual, aquecer toda a zona da lateral até à aba, interior e exterior.</li> </ul>
	100	Colar a primeira lateral até à aba	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puxar a pele para fora e para baixo, de forma a não deixar rugas, e fazer a pré dobragem da aba.</li> <li>Colar toda a zona da lateral da peça até à costura.</li> <li>Pode-se colar a pele, passando a mão ou uma almofada de tecido.</li> </ul>
	110	Aquecer a segunda lateral até à aba	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rodar o molde e com o aquecedor manual, aquecer toda a zona da lateral até à aba, interior e exterior.</li> </ul>

Tabela 5 (contin.) – Descrição das diversas operações

Pré – Posicionamento (contin.)	120	Aquecer a segunda lateral até à aba	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puxar a pele para baixo, de forma a não deixar rugas.</li> <li>• Fazer pré dobragem da aba.</li> <li>• Colar toda a zona da aba lateral da peça até à costura.</li> <li>• Pode-se colar a pele, passando a mão ou uma almofada de tecido.</li> </ul>
	130	Aquecer e colar frente da peça	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rodar o molde para a frente da peça, aquecer a pele e a peça na mesma zona, para ativar a cola na zona da frente da peça.</li> <li>• Puxar a pele, e colá-la a peça, de forma a não deixar rugas na pele.</li> </ul>
	140	Pré-dobrar as orelhas na parte traseira da peça	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vira a peça para a parte traseira, pré-dobrar as orelhas, começando pelas zonas de costura do lado esquerdo e direito da peça.</li> <li>• Começar por dar calor (com o aquecedor) e colar toda a pele, sem deixar rugas.</li> </ul>
	150	Aquecer e colar a pele na traseira da peça	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aquecer a pele e a peça, para ativar a cola na zona traseira da mesma.</li> <li>• Levantar um pouco a pele e verificar o alinhamento das costuras, na curva da peça.</li> <li>• Colar a pele à peça, mantendo-a centrada, para que as duas costuras fiquem simétricas.</li> <li>• Após terminado o pré-posicionamento, retirar os pisadores, levantar as lâminas, e tirar a peça para ser feito o autocontrolo.</li> </ul>

Tabela 5 (contin.) – Descrição das diversas operações

Pré – Posicionamento (contin.)	160	Autocontrole do Pré- posicionamento	<p>Verificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualmente a simetria das orelhas (em caso de não conformidade retrabalhar) - nas orelhas ter em atenção às rugas e verificar o alinhamento da costura com a aresta, de acordo com a peça limite. Em caso de No Ok (NOK), deve-se retrabalhar se possível. E caso contrário, colocar na sucata.</li> <li>• Visualmente e com as mãos, verificar se, nas laterais da peça se encontra ausência de sujidade sob a pele. Em caso de NOK, deve-se retrabalhar se possível, caso contrário, colocar na sucata.</li> <li>• Visualmente e ao toque, deve-se comprovar a correta forragem de toda a superfície. Ter em conta os grumos, despegues, irregularidades e ausência de rugas. Em caso de NOK, deve-se retrabalhar se possível. Caso contrário, colocar na sucata.</li> <li>• Visualmente devem-se verificar todas as costuras, ter atenção ao seu posicionamento e às pregas que possam existir junto a estas. Em caso de NOK, deve-se retrabalhar se possível. Caso contrário, colocar na sucata.</li> <li>• Comprovar que não existe adesivo/cola nas costuras. Em caso de NOK, deve-se retrabalhar.</li> </ul>
	170	Cortar a pele na máquina de corte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Após elaboração do autocontrole, encaixar a peça no molde da máquina de corte.</li> <li>• Baixar as lâminas sobre a peça, pressionando um pouco com a mão direita, e com a mão esquerda carregar na botoneira de corte (necessário até que a pressão atinja os 6 bar).</li> <li>• Abrir as lâminas e retirar a peça.</li> </ul>
	180	Colocar a peça cortada no carro de espera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar a peça em espera no lado contrário do carro, para que a pele não fique suja de cola até terminarem todas as oito peças do carro, nestas operações.</li> </ul>

Tabela 5 (contin.) – Descrição das diversas operações

Dobrar cantos	190	Retirar peça do carro em espera	<ul style="list-style-type: none"> <li>O operador de posto seguinte retira a peça do carro de peças e coloca-a em cima da bancada.</li> </ul>
	200	Dobrar cantos laterais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com um aquecedor, dar calor, esticar e dobrar a pele para dentro da peça com as mãos, ou se necessário, com a espátula, sem deixar rugas na lateral da peça.</li> <li>Depois de elaborar para a 1ª lateral, repetir o processo para a outra lateral.</li> </ul>
	210	Dobrar cantos das orelhas até à aba lateral	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com o x-ato dar um pequeno corte na parte de fora da costura (dos dois lados), para não haver problemas em colar as orelhas dobradas.</li> <li>Com o aquecedor, dar calor em toda a zona a calor, esticar e dobrar a pele para dentro da peça, com as mãos. Ou se necessário, com a espátula, sem deixar rugas nas orelhas. Deve-se ter em atenção à simetria das costuras.</li> </ul>
	220	Cortar excessos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com o x-ato, cortar os excessos de pele, principalmente junto à zona do encaixe do inserto, para não fazer <i>gap</i> com a contra tampa.</li> </ul>
	230	Dobrar cantos da parte traseira da peça	<ul style="list-style-type: none"> <li>Com o aquecedor, dar calor, esticar e dobrar a pele para dentro da peça com as mãos. Ou se necessário, com a espátula, sem deixar rugas.</li> </ul>
	240	Colocar a peça forrada no forno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar a peça no forno, com a superfície virada para cima, e dar início de ciclo ao forno.</li> <li>O ciclo de forno, vai ser cerca de 3 minutos, mas o mesmo emite um sinal ruidoso, quando a peça se encontra pronta para sair do forno.</li> </ul>
	250	Retirar a peça do forno e dobrar zona do puxador	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retirar a peça do forno.</li> <li>Como a peça vem do forno, não é necessário dar calor com o aquecedor manual, para ativar a cola.</li> <li>Dobrar zona do puxador na parte da frente da peça, sem deixar rugas, nem a costura da pele enrolada para não fazer <i>gap</i> quando se coloca a contra tampa.</li> </ul>
	260	Colocar a peça no <i>umbug</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar a peça na parte superior do molde do <i>umbug</i>.</li> <li>A prensa tem um pirómetro que mede a temperatura da superfície da pele, a qual deve de estar a uma temperatura superior aos 49 °C, para a prensa baixar.</li> <li>Dar início de ciclo à prensa.</li> </ul>

Tabela 5 (contin.) – Descrição das diversas operações

Dobrar cantos (contin.)	270	Retirar a peça do <i>umbug</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar nova peça na parte superior do molde do <i>umbug</i>.</li> <li>• Retirar a peça da parte inferior do molde do <i>umbug</i> para a bancada de dobrar cantos.</li> <li>• Dar início de ciclo à prensa.</li> </ul>
	280	Autocontrolo depois do <i>umbug</i>	<p>Verificar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualmente verificar a superfície da peça, se esta encontra-se bem forrada, e ter em atenção se a colagem foi bem feita por parte do <i>umbug</i>.</li> <li>• Visualmente verificar as dobras da peça. Ter em atenção se as dobras da peça se encontram bem forradas (sem vazio). Se for verificado ar entre a peça injetada e a pele, deve-se retrabalhar.</li> <li>• Visualmente verificar as laterais da peça. Ter em atenção se as laterais da peça e as costuras estão OK. Ter em conta Rugas e irregularidades na pele, em caso de NOK, retrabalhar.</li> </ul>
	290	Dobrar cantos da parte de frente da peça	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Com um aquecedor manual, dar calor na pele e na peça para ativar a cola, sem dobrar a zona do puxador. Dobrar os cantos na parte da frente, sem deixar rugas, nem a costura da pele enrolada para não fazer <i>gap</i> quando se coloca a contra-tampa.</li> </ul>
	300	Colocar etiqueta de rastreabilidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar etiqueta de rastreabilidade com a data de produção, turno e o número de operador.</li> <li>• De notar que a etiqueta de um turno é amarela e de outro é laranja.</li> </ul>

Tabela 5 (contin.) – Descrição das diversas operações

Dobrar cantos (contin.)	310	Controlo final superfície da peça	<p>Comprovar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualmente a simetria das orelhas, em caso de NOK, retrabalhar. Ter em conta a presença de prega junto às orelhas, alinhamento da costura e as rugas nas orelhas. Em caso de NOK, deve-se retrabalhar se possível, caso contrário, colocar na sucata.</li> <li>• Visualmente, o aspeto da superfície segundo o circuito de inspeção. Ter em conta a ausência de bolhas ou despegues, alinhamento da costura, vincos, danos, despegues, rugas e grumos, na superfície e junto aos cantos, e irregularidades. Em caso de NOK, deve-se retrabalhar se possível, caso contrário, colocar na sucata.</li> <li>• Visualmente e com as mãos, verificar se nas laterais da peça se encontram: ausência de bolhas ou despegues; danos; rugas; <i>lumps</i> (ressalto); sujidade e vincos na pele. Em caso de NOK, deve-se retrabalhar se possível, caso contrário, colocar na sucata.</li> <li>• Visualmente e ao toque deve-se comprovar a correta dobragem de cantos. Ter em conta a ausência de bolhas, despegues, irregularidades e ausência de rugas. Em caso de NOK, deve-se retrabalhar se possível, caso contrário, colocar na sucata.</li> <li>• Comprovar que não existe adesivo/cola nas costuras. Em caso de NOK, deve-se retrabalhar.</li> </ul>
	320	Controlo final interior da peça	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar visualmente a pele curta (montar contratampa para verificar). Isto pode provocar defeito quando se monta a contra-tampa no cliente. Em caso de dúvida, visualizar amostras OK e NOK. No caso de NOK, sucatar peça.</li> <li>• Comprovar visualmente que nos cantos não se produz acumulação de pele, pois pode causar uma diferença para o cliente. Em caso de dúvida, visualizar amostras OK/NOK e montar a contra-tampa. Se NOK, retrabalhar.</li> <li>• Comprovar visualmente encaixes da tampa, que podem sofrer alterações com a temperatura ou virem com defeitos da injeção (cliente externo).</li> </ul>

Tabela 5 (contin.) – Descrição das diversas operações

Dobrar cantos (contin.)	330	Embalar a Peça	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar a peça dentro de um saco de plástico, com a parte traseira virada para a boca do saco.</li> <li>• Fechar o saco enrolando-o para dentro da peça.</li> <li>• Retirar etiqueta de identificação da peça e colocá-la no saco plástico.</li> <li>• Colocar a peça já embalada na caixa.</li> <li>• Cada caixa tem um separador com oito cavidades, em que, deve ser colocada uma peça em cada cavidade.</li> </ul>
	340	Colocar a caixa na estante de produto acabado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar uma autocolante com a identificação do produto e colocar a caixa na estante de produto acabado.</li> <li>• Colocar cada caixa no local correto, ou seja, não misturar referências.</li> </ul>

### 3.4 Identificação dos problemas/desafios

Na produção das peças em Espanha, verificou-se ser possível a divisão dos problemas em três tipos:

- Tempo de elaboração de uma peça, superando muitas vezes os 10 minutos = 600 s > 580 s (*takt-time*), daí a necessidade ao recurso a horas extraordinárias por parte dos trabalhadores;
- Qualidade - verificaram-se muitas queixas por parte de clientes, e pondo em causa a sua fidelização e reputação, e assim conseqüentemente, ainda se iria perder mais tempo na sua reparação. Ou até, em casos extremos, ter-se-iam que fazer peças para substituírem as não reparáveis.
- Excesso de *stock*, podendo eventualmente dificultar a logística das peças, além de que, a existência de *stock* por si só, representa um desperdício, de um ponto de vista *Lean*.

Sendo o cliente a fonte de rendimento de uma empresa, quando a qualidade e o cumprimento dos prazos estejam em risco, provocando insatisfação no cliente, este põe em causa a empresa que presta o serviço, provocando a busca por outras alternativas

viáveis. Estando por estes fatores, a falar-se de um caso importante a resolver a nível industrial.

### 3.5 Análise das Causas Raiz

Foi possível identificar os principais defeitos existentes nas peças e na Tabela 6 estão descritas as suas origens, causas e percentagens de ocorrência, obtidas após a execução de todas as operações.

Na Tabela 6 é indicado se as peças vão para retrabalho ou vão para a sucata, no entanto, de acordo com os procedimentos da empresa, existem alguns defeitos da tabela, que vão para a sucata, mas também são recuperáveis. Pelo que, para esses defeitos, considerar-se-á para efeitos de simulação que, dos que vão para a sucata, as peças terão 50 % de probabilidade de serem recuperadas, tal como está explicado no último parágrafo da página 85.

Tabela 6 – Causas, origens e percentagens de cada defeito

<b>Defeito</b>	<b>Origem</b>	<b>Causa</b>	<b>% de ocorrência (2ª inspeção)</b>
1 – Corte X-ato	Procedimento do Operador	Corte mal elaborado	0,10 %
2 – Manipulação / Danos	Procedimento do Operador	Procedimento incorreto	17,18 %
3 – Defeito forrado	Procedimento do Operador	Procedimento incorreto	6,70 %
4 – Despegues (defeito da linha 2)	Defeito da linha 2	Espumagem	10,97%
5 – Pele queimada	Procedimento do Operador	Excesso de calor	0,50%
6 – Deformações (defeitos da linha 2)	Defeito da linha 2	Espumagem	7,94%
7 – Rugas	Procedimento do Operador	Excesso de calor	3,28%
8 – Encaixe do incerto queimado	Procedimento do Operador	Excesso de calor	0,94%
9 – Manchas de Adesivo/Cola	Procedimento do Operador	Cola mal colocada	6,95%
10 – Sujidades	Procedimento do Operador	Procedimento incorreto	8,14%
11 – Danos na máquina <i>umbug</i>	Máquina <i>umbug</i>	Problema na máquina	0,05%
12 – Rugas na zona da Orelha	Procedimento do Operador	Excesso de calor	5,16%
13 – Cantos irregulares	Procedimento do Operador	Pele mal colocada	1,19%
14 – Pele curta	Procedimento do Operador	Pele mal colocada	5,06%
15 – Prega junto à costura	Procedimento do Operador	Excesso de cola	3,48%
16 – Vincos	Procedimento do Operador	Procedimento incorreto	4,77%

17 – Costura desalinhada (linha 3)	Defeito da linha 3	Costura mal elaborada	9,65%
18 – Grumos	Procedimento do Operador	Excesso de cola / adesivo	7,94%

A empresa nem sempre referiu onde os defeitos eram aplicáveis, por isto, a simulação foi feita com os locais onde a empresa indicou que haviam defeitos, sendo as restantes colocadas de um modo lógico. Abaixo está descrito, para cada defeito, as posições consideradas para a origem do defeito. Assim como o raciocínio para assumir essas posições, as percentagens de ocorrência, assim como foi considerado que a peça é retrabalhada, se é sucata, ou se pode ser recuperável, dependendo da sua condição.

### **Defeito 1 – Corte X-ato**

Considerou-se que este defeito tem origem nas posições:

- 210 – 3ª Posição do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 220 – 4ª Posição do posto de trabalho de Dobrar cantos.

Estas foram as posições escolhidas, pois, são nestas que se faz uso do X-ato. Com a ocorrência deste defeito a peça tem que ser sucutada.

### **Defeito 2 – Manipulação/Danos**

Considerou-se que este defeito tem origem nas posições:

- 100 – 6ª Operação do posto de trabalho do Pré-Posicionamento;
- 120 – 8ª Operação do posto de trabalho do Pré-Posicionamento;
- 140 – 10ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;
- 150 – 11ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;
- 200 – 2ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 210 – 3ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 230 – 5ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 250 – 7ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 290 – 11ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos.

Tiveram-se em consideração as operações referidas pois tratam-se de operações executadas manualmente, e que são determinantes para a boa execução do produto final. Com o aparecimento deste defeito, a peça tanto pode ser retrabalhada, como sucata.

### **Defeito 3 – Defeito forrado**

Considerou-se que este defeito surge nas posições:

- 50 – 1ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;
- 60 – 2ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;
- 70 – 3ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;
- 80 – 4ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento.

A razão pela qual se consideraram estas posições foi o facto de se tratarem de posições onde se faz uso do molde de forrar, e que estão relacionadas com o alinhamento correto da pele e das costuras. Com o aparecimento deste defeito, a peça tanto pode ser retrabalhada, como sucata.

### **Defeito 5 – Pele queimada**

Considerou-se que este defeito surge nas posições:

- 130 – 9ª Operação do posto de trabalho de Pré- Posicionamento;
- 150 – 10ª Operação do posto de trabalho de Pré- Posicionamento;
- 200 – 2ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 230 – 5ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 290 – 11ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos.

Estas posições foram consideradas, já que nestas existe uma transmissão de calor, havendo a possibilidade de sobreaquecimento. Uma vez queimada a peça, a mesma não é recuperável, indo para a sucata.

### **Defeito 7 – Rugas**

Considerou-se que este defeito tem origem nas posições:

- 100 – 6ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;
- 120 – 8ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;
- 130 – 9ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento.

Para este defeito teve-se em linha de conta dados fornecidos pela empresa, e os locais onde a peça é retrabalhada.

### **Defeito 8 – Encaixe do incerto queimado**

Para este defeito considerou-se estar associada à posição 240 (6ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos), pois a peça nesta operação é colocada com a superfície para cima, indo para o forno, considerando por isso que é nesta operação que ocorre este defeito. Uma vez esta parte queimada, a peça não é recuperável.

### **Defeito 9 – Manchas de adesivo/cola**

Considerou-se que este defeito surge nas posições:

- 10 – 1ª Operação do posto de trabalho de Adesivagem;
- 30 – 3ª Operação do posto de trabalho de Adesivagem.

A razão pela qual se consideraram estas posições, é pelo facto de ser nelas que se coloca o adesivo/cola. E a peça após ter este defeito, pode ser retrabalhada.

### **Defeito 10 – Sujidades**

Para este defeito consideraram-se as posições:

- 100 – 6ª Posição do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;
- 120 – 8ª Posição do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;
- 200 – 2ª Posição do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 210 – 3ª Posição do posto de trabalho de Dobrar cantos.

A razão para a escolha destas operações é devido a envolverem as laterais da peça, e a serem suscetíveis de causar sujidade na mesma, que é recuperável após o aparecimento deste defeito.

### **11 – Danos na máquina *umbug***

Este dano era provocado pela máquina *Umbug*. Como a operação associada ao uso desta máquina é a operação 260 (8ª Posição do posto de trabalho de Dobrar cantos), assumiu-se que o defeito é relativo a este processo, onde a peça é recuperável.

### **12 – Rugas na zona da orelha**

Considerou-se que este defeito é originado na posição 140 (10ª Posição do posto de trabalho de pré-posicionamento), já que nesta posição a operação associada é o de dar calor na zona da orelha. A peça é retrabalhada, dependendo, da sua condição.

### **13 – Cantos irregulares**

Para este defeito foram considerados as posições:

- 200 – 2ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 210 – 3ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 230 – 5ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos;
- 290 – 11ª Operação do posto de trabalho de Dobrar cantos.

Foram considerados estas posições, pois trata-se de operações onde se dobram os cantos, e caso estas não sejam executadas corretamente, os cantos podem ser irregulares, e a peça pode ser retrabalhada após o aparecimento do mesmo.

### **14 – Pele curta**

Considerou-se que este defeito tem origem na operação 170 (13ª Posição do posto de trabalho de Pré-Posicionamento), pois é aonde se dá o processo de corte da pele.

Este defeito tem 5,06 % de ocorrência e não tem hipótese de ser retrabalhado, tendo de ir para a sucata.

### **15 – Prega junto à costura**

Considerou-se que este defeito ocorre nas posições:

- 10 – 1ª Posição do posto de trabalho de Adesivagem;
- 30 – 3ª Posição do posto de trabalho de Adesivagem.

Sendo que este defeito ocorre devido ao excesso de cola colocado, por isto, faz sentido considerar nestas posições onde se dá a adesivagem da peça, e a peça pode ser retrabalhada, dependendo da sua condição.

### **16 – Vincos**

Para este defeito foram considerados as posições:

- 100 – 6ª Posição do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;
- 120 – 8ª Posição do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;

140 – 10ª Posição do posto de trabalho de Pré-Posicionamento;  
200 – 2ª Posição do posto de trabalho de Dobrar cantos;  
210 – 3ª Posição do posto de trabalho de Dobrar cantos;  
230 – 5ª Posição do posto de trabalho de Dobrar cantos;  
290 – 11ª Posição do posto de trabalho de Dobrar cantos.

Isto porque os vincos surgem quando a pele não é devidamente esticada, sendo possível de ocorrer nestas posições e a peça é recuperável, após o aparecimento deste defeito.

### **18 – Grumos**

Considerou-se que este defeito surge nas posições:

- 10 – 1ª Posição do posto de trabalho de Adesivagem;
- 30 – 3ª Posição do posto de trabalho de Adesivagem;

Foram consideradas estas posições, pois este defeito ocorre devido ao excesso de cola, e quando colocada a pele, esta não fica totalmente lisa sobre a peça. Sendo que, a colocação da cola ocorre nestas posições e a peça é recuperável, após apresentar este defeito.

## **3.6 Reavaliação da percentagem individual dos diferentes defeitos**

Em relação, às percentagens dos diferentes defeitos presentes na tabela 4, esta tem em conta de linha outras linhas do processo produtivo. Para efeitos de simulação, em termos de percentagens, o que considerou foi assumir que 100 % = Todos os defeitos – Defeitos não pertencentes à linha 4, ou seja, só se está a considerar os defeitos pertencentes à linha em estudo.

Neste sentido, Defeitos não pertencentes à linha 4 = Defeito 4 + Defeito 6 + Defeito 17.

→ 100 % = 71,44% (Defeitos na linha em estudo)

Portanto calcularam-se as novas percentagens de cada defeito, neste “novo universo” de 71,44 %. Por exemplo para o defeito 1:

71,44 % – 100 %

x -----0,10 %

x = 0,072 % - Percentagem do defeito 1 a considerar na simulação.

Através da mesma lógica, obtém-se os valores expostos na Tabela 7:

Tabela 7 – Percentagens de ocorrência retificadas

<b>Defeito</b>	<b>% de ocorrência retificado</b>
1 – Corte X-ato	0,07144 %
2 – Manipulação / Danos	12,27339 %
3 – Defeito forrado	4,78648 %
5 – Pele queimada	0,3572 %
7 – Rugas	2,343232 %
8 – Encaixe do incerto queimado	0,671536 %
9 – Manchas de Adesivo/Cola	3,550568 %
10 – Sujidades	5,815216 %
11 – Danos na máquina <i>umbug</i>	0,03572 %
12 – Rugas na zona da Orelha	3,686304 %
13 – Cantos irregulares	0,850136 %
14 – Pele curta	3,614864 %
15 – Prega junto à costura	2,486112 %
16 – Vincos	3,407688 %
18 – Grumos	5,672336 %
$\Sigma$	49,62%

Deve-se ter em conta, que estas percentagens foram obtidas no final de todas as operações pela empresa. Ou seja, a percentagem de ocorrência de um defeito, para uma posição originária desse defeito, seria dada por:

Percentagem de ocorrências do defeito y na posição x =  $\frac{\% \text{ ocorrência da tabela 5}}{\text{posições onde se originam esse defeito}}$

Por exemplo, considerando o defeito 9, este surge nas posições 10 e 30, ou seja:

$$\text{Percentagem de ocorrências do defeito 9, na posição 10} = \frac{3,550568\%}{2} = 1,775284\%$$

Na Tabela 8 encontra-se um resumo do referido até então, em termos de percentagens associadas a cada defeito:

Tabela 8 - Percentagens atualizadas de cada defeito

<b>Defeito</b>	<b>Posições onde se origina o defeito</b>	<b>% Ocorrência do defeito</b>	<b>% Ocorrência em cada posição</b>
1	210 e 220	0,07144 %	0,03572 %
2	100, 120, 140, 150, 200, 210, 230, 250 e 290	12,27339 %	1,36371 %
3	50, 60, 70 e 80	4,78648 %	1,19662 %
5	130, 150, 200, 230 e 290	0,3572 %	0,07144 %
7	100, 120 e 130	2,343232 %	0,781077 %
8	240	0,671536 %	0,671536 %
9	10 e 30	3,550568 %	1,775284 %
10	100, 120, 200 e 210	5,815216 %	1,453804 %
11	260	0,03572 %	0,03572 %
12	140	3,686304 %	3,686304 %
13	200, 210, 230 e 290	0,850136 %	0,212534 %
14	170	3,614864 %	3,614864 %
15	10 e 30	2,486112 %	1,243056 %
16	100, 120, 140, 200, 210, 230 e 290	3,407688 %	0,48681257 %
18	10 e 30	5,672336 %	2,836168 %

## 4 Modelação do Sistema

Através dos tempos das operações presentes na Tabela 4, da admissão da origem dos defeitos anteriormente referida e das percentagens de ocorrência de cada defeito, explicar-se-á de uma forma breve a modelação do sistema produtivo. Antes de mais deve-se referir que se considerou que o sistema estará em funcionamento  $7,5 \times 2 = 14,3$  h, este tempo nos dois turnos diários.

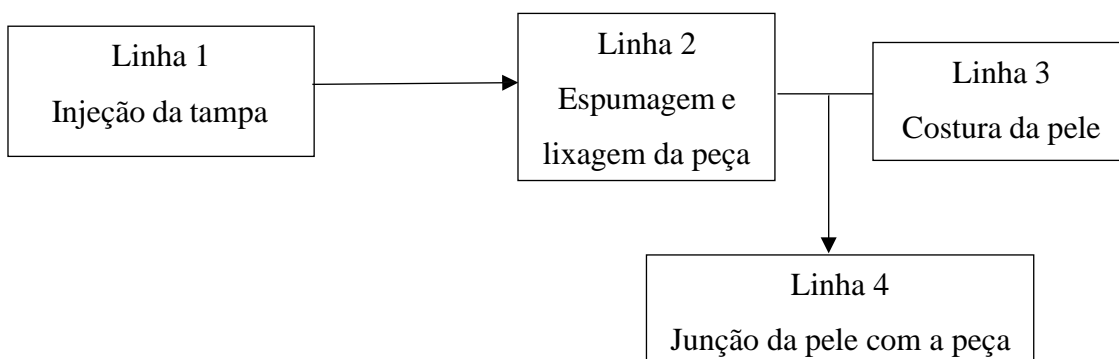


Figura 22 - Esquema representativo do processo produtivo com a inclusão de todas as linhas

O modelo do sistema apresentado começou por ser modelado, por um *Create*, designado de “Chegada de peças injetadas”, como se verifica na Figura 23, e donde vem a peça e a costura. Mas para simplificar, assumiu-se que uma “peça injetada” é o equivalente a uma peça já lixada + uma pele já costurada, já que para a execução dos processos de linha em estudo, será necessário a peça mais a pele, para se juntarem, como se pode observar através da Figura 22.

Deve-se referir ainda que se assumiu a entrada de 90 peças injetadas de uma única vez, como se pode observar na Figura 25, já que será o objetivo diário que a empresa pretende atingir. Após a entrada, a “peça injetada” passa pela estação de entrada, indo para a designada Fila Única. Após ordem do *Release* Adesivagem, que será mostrado mais à frente, sairá uma peça injetada da Fila única (que será comandada por um operador de fila, conforme mostra o módulo *Seize*, presente na Figura 24). Com o intuito de, após terminados, a execução de todos os processos de uma determinada peça, ou então caso, esta para a sucata, o operador irá realizar novamente todos os processos para a peça seguinte, de acordo com este procedimento, até não haver mais peças na Fila única, ou então, caso ultrapasse o tempo de 14,3 h (tempo útil dos dois turnos).

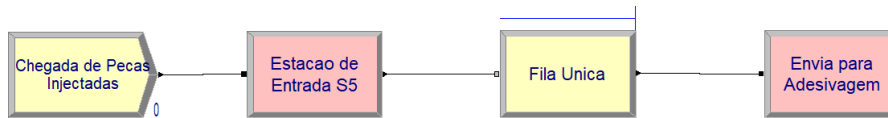


Figura 23 - Primeiros módulos da simulação

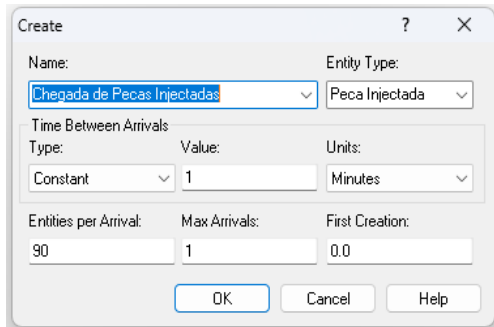


Figura 25 - Módulo *Create* com a entrada de 90 peças no sistema (linha 4)

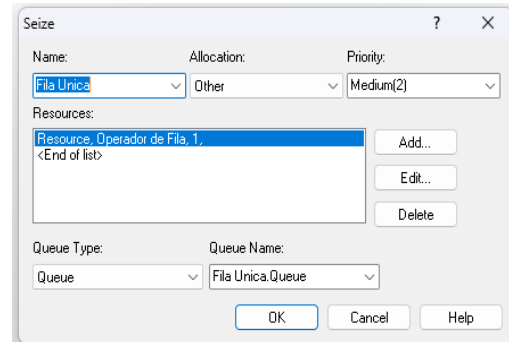


Figura 24 - Módulo *Seize* da Fila unica

Na simulação, o posto de Adesivagem, é composto por todos os módulos, presentes na Figura 26. O módulo *Route* “envia para Adesivagem”, o último módulo presente na Figura 23, enviará peça a peça para a estação “Adesivagem”, primeiro módulo que se encontra na Figura 26, para então se iniciar com as operações deste posto de trabalho.

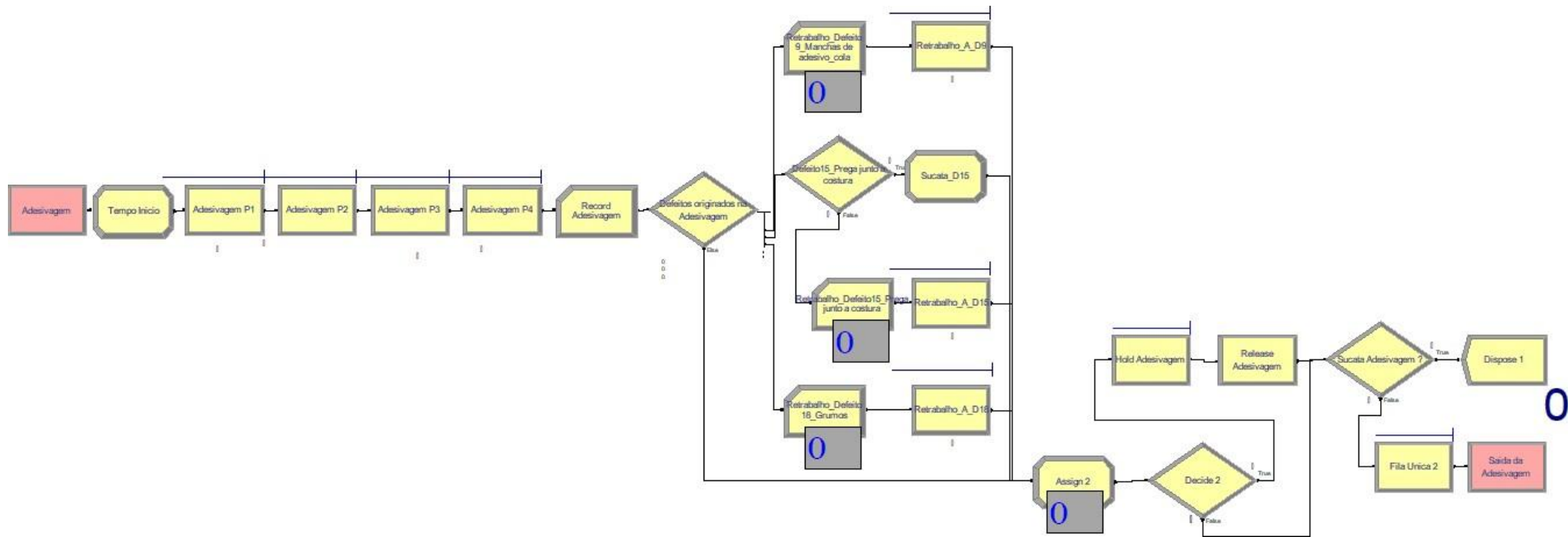


Figura 26 - Posto de trabalho de Adesivagem

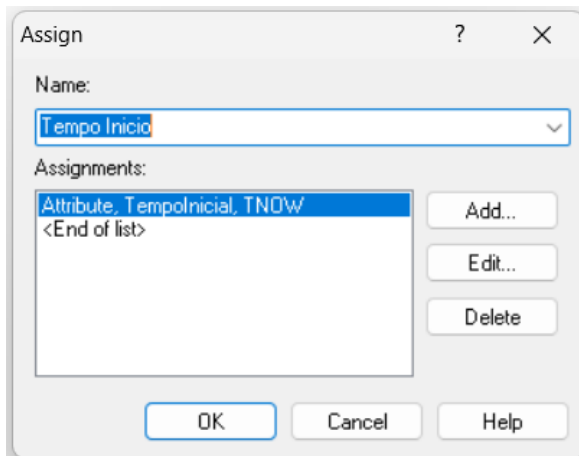


Figura 27 - Assign tempo inicial

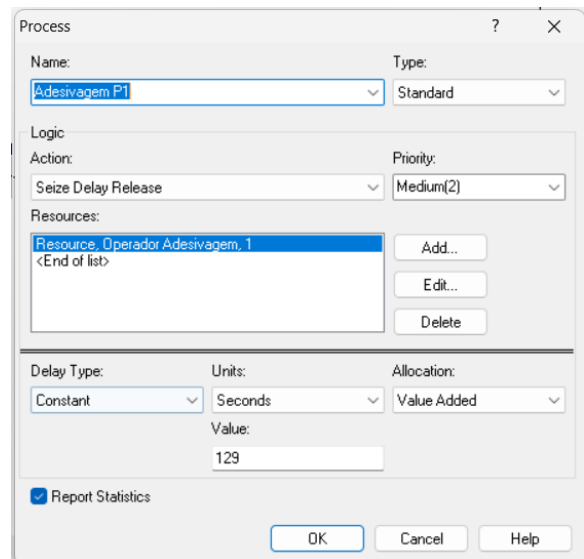


Figura 28 - Process da primeira operação da Adesivagem

O *Assign* da Figura 27 que está no posto de Adesivagem, antes das operações, define um atributo às entidades, no que toca a ter uma referência, relativa ao começo das operações.

Após serem feitas as operações deste posto, que terão módulos *Process*, com ação *Seize Delay Release*, como se observa na Figura 28, com o operador correspondente ao posto em questão (denominado para este posto como “Operador Adesivagem”), à posterior, a entidade passa por um *decide*, com o intuito de se decidir para que caminho a entidade prosseguirá. No caso em específico deste posto de trabalho, verifica-se que podem surgir três defeitos, e por isso o *decide* desse posto terá quatro opções, conforme imagem abaixo:

- A peça tem defeito 9 – Manchas de Adesivo/Cola;
- A peça tem defeito 15 – Prega junto à costura: 84
- A peça tem defeito 18 – Grumos;
- A peça não tem nenhum defeito até ao *decide*, e portanto, segue para o posto seguinte.

Todas estas opções referidas, podem ser observadas, por meio da Figura 29.

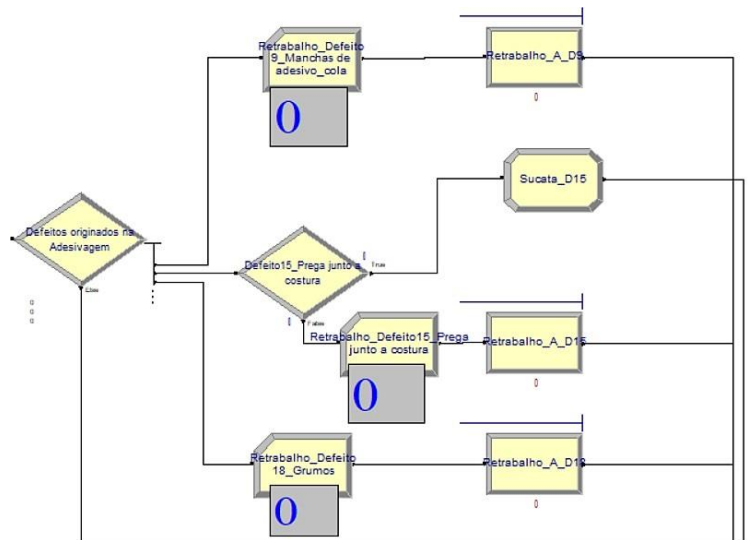


Figura 29 - Decide do posto de Adesivagem e correspondentes módulos de retrabalho das peças

Deve-se referir que ao se fazer uma inspeção no final de cada posto, e não tendo o tempo que um operador perde para cada defeito, teve de se admitir o mesmo. Mais uma vez tiveram de se fazer suposições, onde foi considerado que o retrabalho tinha a mesma duração que o tempo da operação que a originava. Isto faz sentido, nos casos em que um defeito, só é originado numa determinada posição. Para os casos, onde foram consideradas várias operações, que podem originar um determinado defeito, considerou-se a média das diversas operações. Por exemplo, para o defeito 2 e para o posto de Pré Posicionamento, foi admitido que este defeito tem origem nas posições:

- 100 – 6ª Operação do posto de trabalho do Pré-Posicionamento – 33 s
- 120 – 8ª Operação do posto de trabalho do Pré-Posicionamento – 30 s
- 140 – 10ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento – 28 s
- 150 – 11ª Operação do posto de trabalho de Pré-Posicionamento – 23 s

Ou seja, no posto de trabalho da Pré Posicionamento, considerou-se que o retrabalho do defeito 2, terá o tempo de:

$$t_{retrabalho PP_{Defeito 2}} = \frac{33+30+28+23}{4} = 28,5 \text{ s}$$

Através da mesma lógica, calculou-se o tempo de retrabalho que cada peça iria ter, consoante o posto onde se encontram (já que depende da quantidade de operações que originam esse defeito nesse posto), assim como o defeito em questão, estando estes defeitos presentes na Tabela 9.

Tabela 9 - Tempo de retrabalho consoante o posto e o defeito

<b>Posto</b>	<b>Defeito</b>	<b>Tempo retrabalho [s]</b>
<b>Adesivagem</b>	9	139
	15	
	18	
<b>Pré - Posicionamento</b>	2	28,5
	3	31,25
	7	27,67
	10	31,5
	12	28
	16	30,33
<b>Dobrar Cantos</b>	2	31,8
	10	29,5
	13	30,75
	16	30,75

Para as situações onde se admitiu que, dependendo da condição da peça, esta tanto pode ser retrabalhada, como pode ser sucutada, considerou-se que a peça tinha 50 % de ser retrabalhada, assim como 50 % de ser sucutada. Um destes casos verifica-se para o defeito 15, como se pode ver na Figura 31, tem um módulo *Decide*, que será do tipo *2 way by chance*, com 50 % de probabilidade de ir para a saída *true* e consequentemente 50 % de ir para a saída *false*, conforme se pode visualizar na Figura 30.

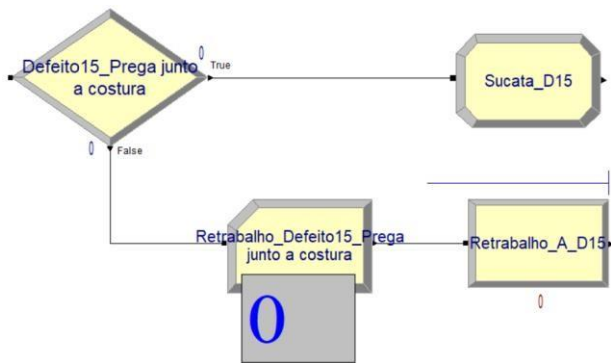


Figura 31 - Defeito 15: 50 % de probabilidade de a peça ser retrabalhada

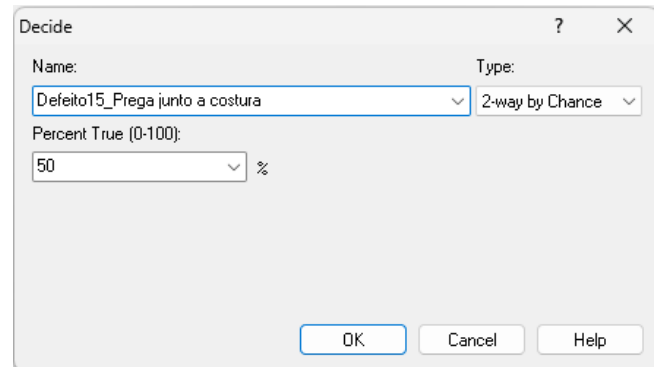


Figura 30 - Módulo *Decide* relativo ao defeito 15

Colocou-se, conforme a Figura 32, um *assign* para distinguir as peças que vão para a sucata, onde as peças com este atributo, ao invés de continuarem a fila unica 2, vão para o *dispose* 5 (Sucata).

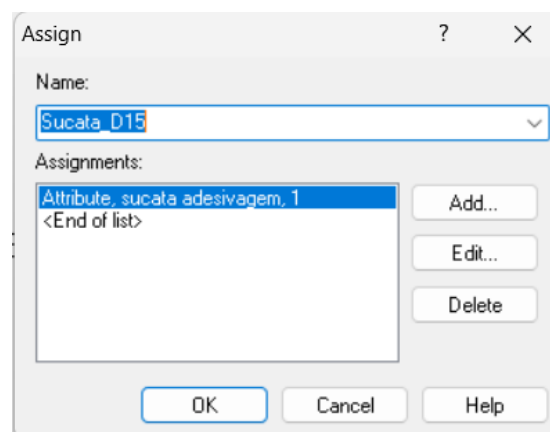


Figura 32 - *Assign* que indica que a peça vai para a sucata

O *Assign* 13 e o *Decide* 29, respetivamente Figura 35 e Figura 34, servirão para a última entidade, devido ao *release*, pois no caso de não haverem estes módulo, quando a última entidade passasse pelo *Release Adesivagem*, o *software* emitiria um erro e não se conclua a simulação, já que não havia mais entidades na “Fila Unica”. Na Figura 33 está presente, a parte final do posto de Adesivagem, onde estão presentes diversos módulos, fundamentais para o funcionamento operacional do *software*.

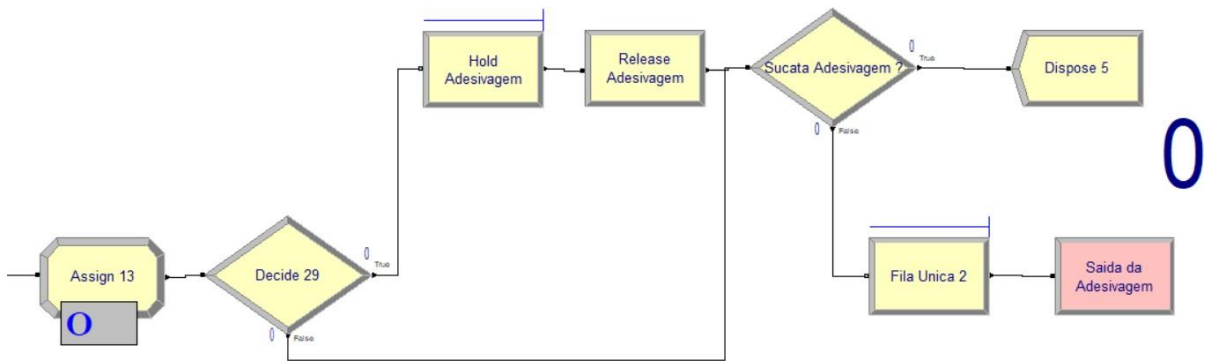


Figura 33 - Módulos de Saída da Adesivagem

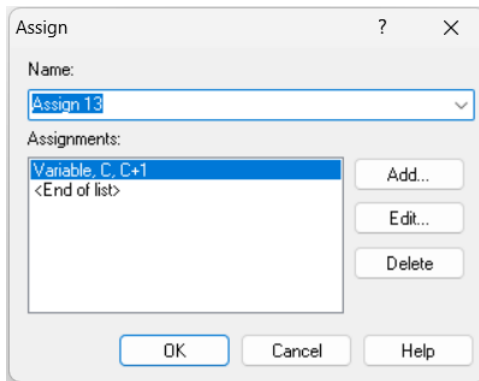


Figura 35 - Definição da variável

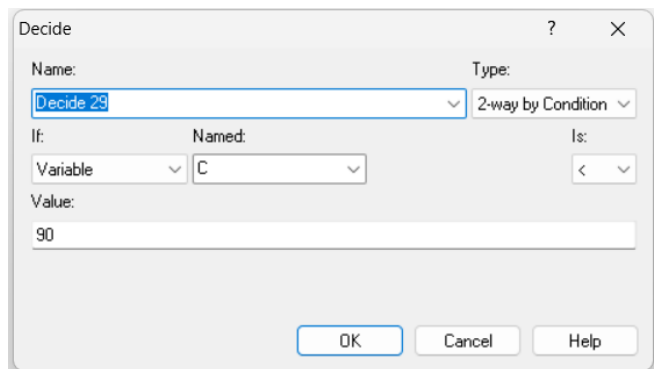


Figura 34 – Decisão sobre peças de atributo

Já o “Hold Adesivagem”, apenas permitirá a passagem de peças, quando haja pelo menos uma peça a aguardar na “Fila Unica”, já que, caso não tivesse nenhuma peça nesta fila, o *software* ao proceder com o *Release*, ia dar erro e não seria possível acabar a simulação do estudo.

Os postos subsequentes, Pré-Posicionamento e Dobrar Cantos, estarão estruturados da mesma maneira, mas com as suas operações e respetivos defeitos originados nestes, podendo a sua configuração ser visualizada respetivamente, na Figura 36 e 37.

# Pré-Posicionamento

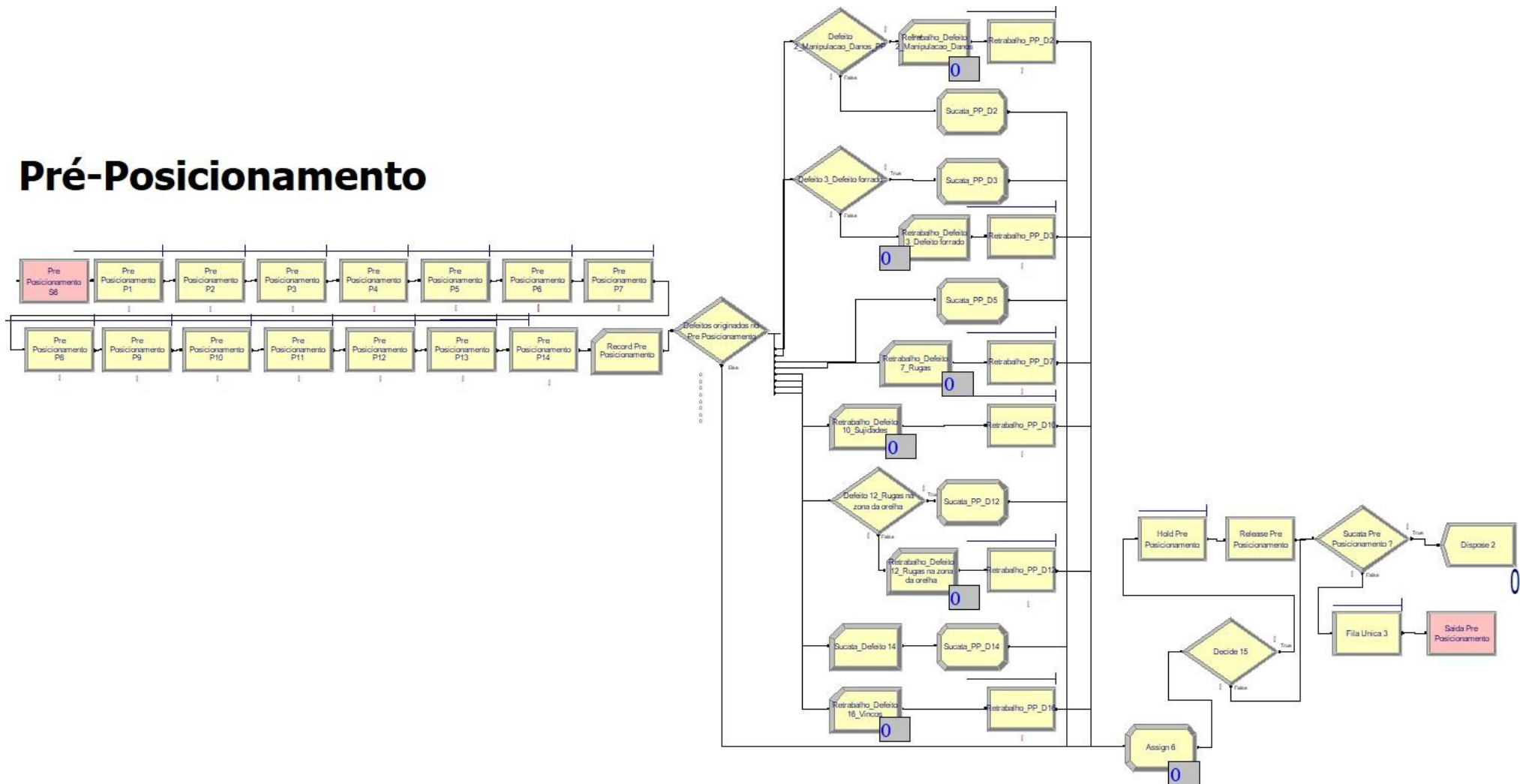


Figura 36 - Visão global dos postos de Pré Posicionamento

# Dobrar Cantos

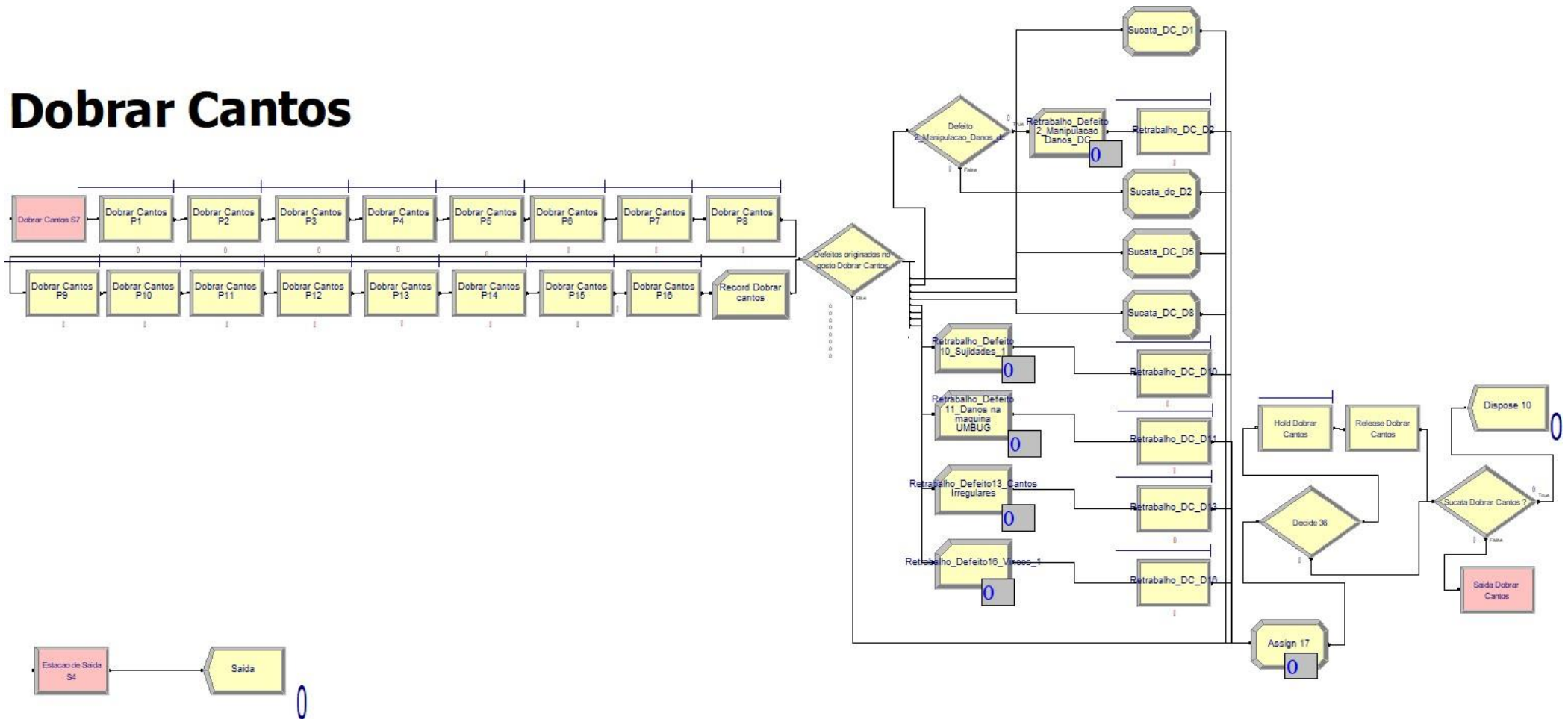


Figura 37 - Visão global dos postos de Dobrar Cantos

### **Caso 1 – Simulação do estado real sem defeitos**

Neste caso, a simulação é feita, tendo em consideração a inexistência de defeitos, isto é, um caso em condições perfeitas, onde o fluxo de produção é contínuo, sem interrupções. Com a realização desta simulação, foi possível obter o número de peças que saem do processo produtivo nestas condições, servindo como referência para comparar com os outros casos de estudo.

### **Caso 2 – Simulação do estado real com defeitos**

A diferença entre o caso 1 e este, estará nos módulos *decide* dos erros, isto é, nestes *decides* foram introduzidas as percentagens de ocorrências de cada defeito, dependendo também da quantidade de processos que causa um determinado defeito. Por exemplo, o defeito 16 tem no posto Dobrar cantos, quatro operações que o podem originar.

Por isto, a percentagem associada este defeito será:

% Defeito 16 no posto Dobrar Cantos =  $4 \times 0,48681257 \%$  (percentagem de ocorrência para apenas uma operação) = 1,94725028 %.

Ficando, por isso, as percentagens de cada posto, conforme as imagens da Figura 38.

### **Caso 3 – Simulação do estado real com sistema melhorado**

Neste caso, foi possível a observação do número de peças que saem com as propostas de melhoria apresentadas no capítulo 5.

Decide ? X

Name:  Type:

Percentages:

3.550568
2.486112
5.672336
<End of list>

Add... Edit... Delete

OK Cancel Help

(a)

Decide ? X

Name:  Type:

Percentages:

5.45484
4.78648
0.14288
2.343232
2.907608
3.686304
3.614864
1.460437714

Add... Edit... Delete

OK Cancel Help

(b)

Decide ? X

Name:  Type:

Percentages:

0.07144
6.81855
0.21432
0.671536
2.907608
0.03572
0.850136
1.947250286

Add... Edit... Delete

OK Cancel Help

(c)

Figura 38 - Percentagens de defeitos para: (a) Posto de Adesivagem; (b) Posto de Pré Posicionamento; (c) Posto de Dobrar Cantos

# **5 Propostas para contornar os problemas identificados e respetiva análise**

## **5.1 Propostas de melhorias para os problemas identificados**

Neste capítulo foram apresentadas propostas de melhoria para implementação no sistema, nos defeitos 1,2, 3, 10 e 12 e estimou-se o seu impacto na percentagem de ocorrências nos defeitos.

### **Proposta 1**

Os três defeitos deste posto da adesivagem ocorrem por procedimentos errados, por parte do colaborador, por isso optou-se de simular a introdução de um robot para a Adesivagem, ao invés dos processos serem feitos manualmente. Ao implementar esta medida, independentemente em que parte se realizar, este recurso terá um impacto na qualidade e com certeza precisará de uma menor duração para realizar as operações. Com a implementação deste defeito, estima-se que haja uma redução de defeitos associado de pelo menos 60 %, no defeito 9, 15 e 18.

### **Proposta 2**

Estes defeitos estão muito relacionados com operações manuais, realizados pelos operadores, mas com uma padronização dos processos, ou seja, aplicação do 5S, e também com formação adequada aos operadores, mesmo que esta implique custos à empresa no início, será uma melhoria que compensará, e muito, a longo prazo. Estima-se uma redução de pelo menos 60 % nos defeitos 2 (Manipulação/Danos), 10 (Sujidades) e 3 (Defeito forrado).

### **Proposta 3**

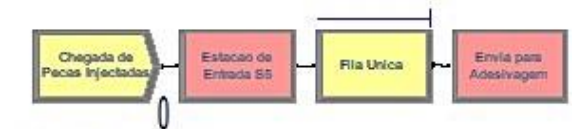
As rugas nas peças aparecem devido a temperaturas excessivamente altas. Para contornar esta situação, propõe-se um estudo adequado da temperatura que a peça pode admitir sem que ocorram estes defeitos, com o intuito de limitar a temperatura, para não haver sobreaquecimento. Ao aplicar-se esta metodologia, está-se a aplicar o *Poka-Yoke*, que tem como objetivo evitar erro onde, neste caso, limitando a temperatura, é o que se estará a fazer. Com esta proposta, estima-se uma melhoria de redução de defeitos na ordem dos 60 % no defeito 7 (Rugas) e 12 (Rugas na zona da orelha).

#### **Proposta 4**

Propôs-se a melhoria de haver inspeções logo após as operações donde se originam os defeitos, no entanto, como se verifica pela imagem abaixo, sairiam apenas 66 peças no final da linha de operação, valor menor comparado com o sistema real da empresa, indicando que, as inspeções no final de cada operação, são um desperdício que não beneficiariam a empresa.

A configuração do sistema, em qualquer dos postos, será diferente para esta proposta, sendo respetivamente apresentadas, como ficou o modelo, nos postos de Adesivagem, Pré Posicionamento e Dobrar Cantos, através da Figura 39, 40 e 41. A maneira de interligação entre os postos será a mesma, ou seja, a peça entra na Adesivagem, através da estação Adesivagem, realiza todas as operações de este posto, saí através do *Route* Saida de Adesivagem, entrando de seguida na estação Pré Posicionamento, e vai percorrendo, assim sucessivamente, até chegar ao fim do modelo: *dispose* saída.





# Adesivagem

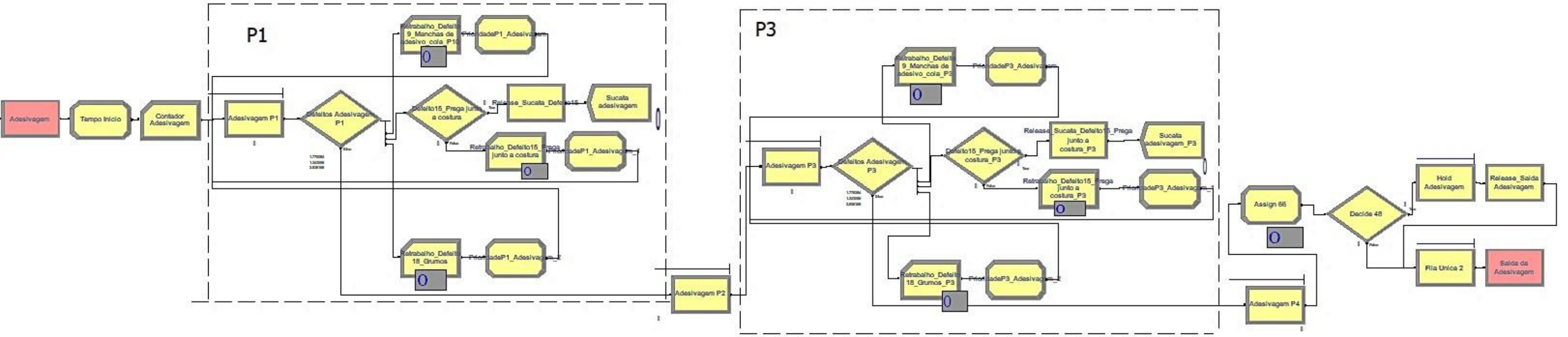


Figura 39 – Modelo Arena do Posto de Adesivagem para a proposta 4

# Pré-Posicionamento

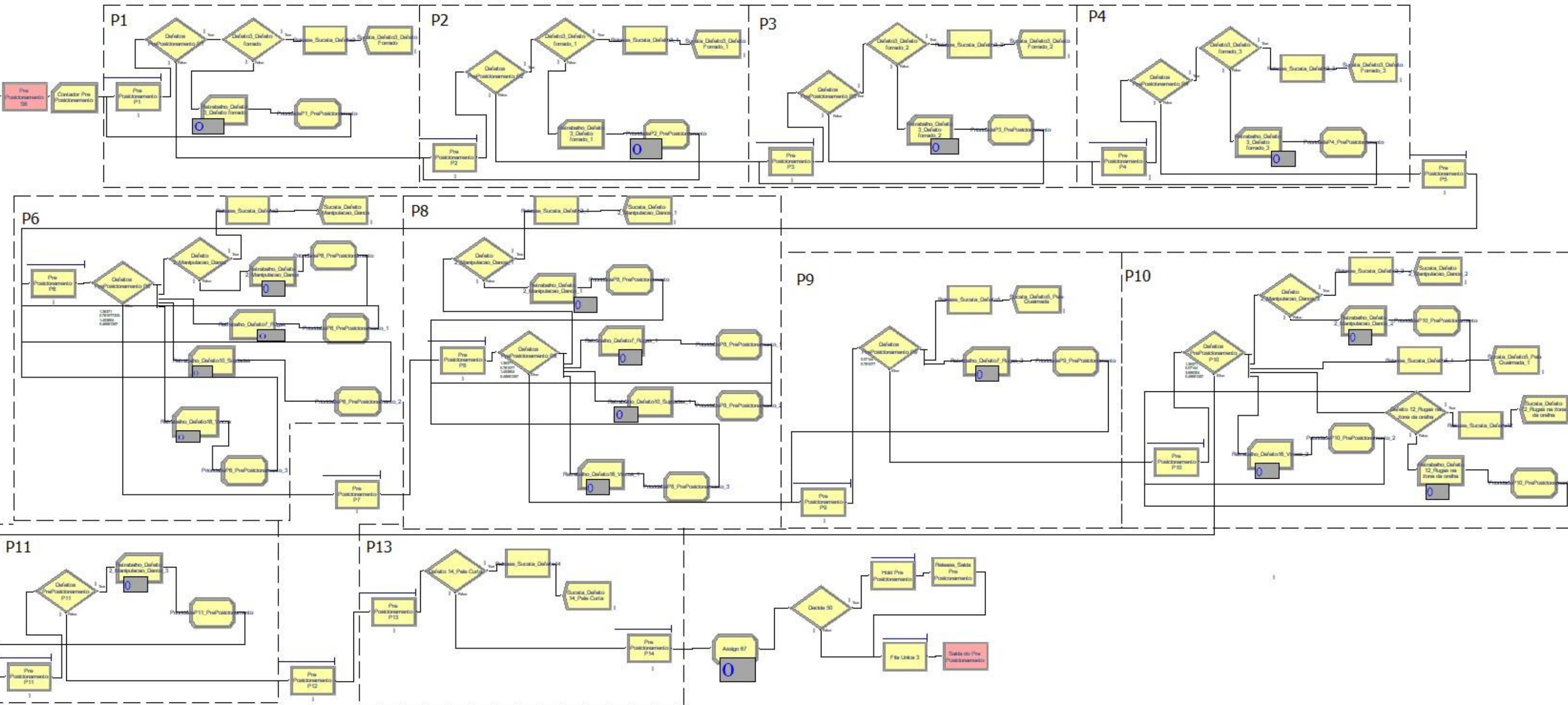


Figura 40 - Modelo de Pre Posicionamento para a proposta 4

# Dobrar Cantos

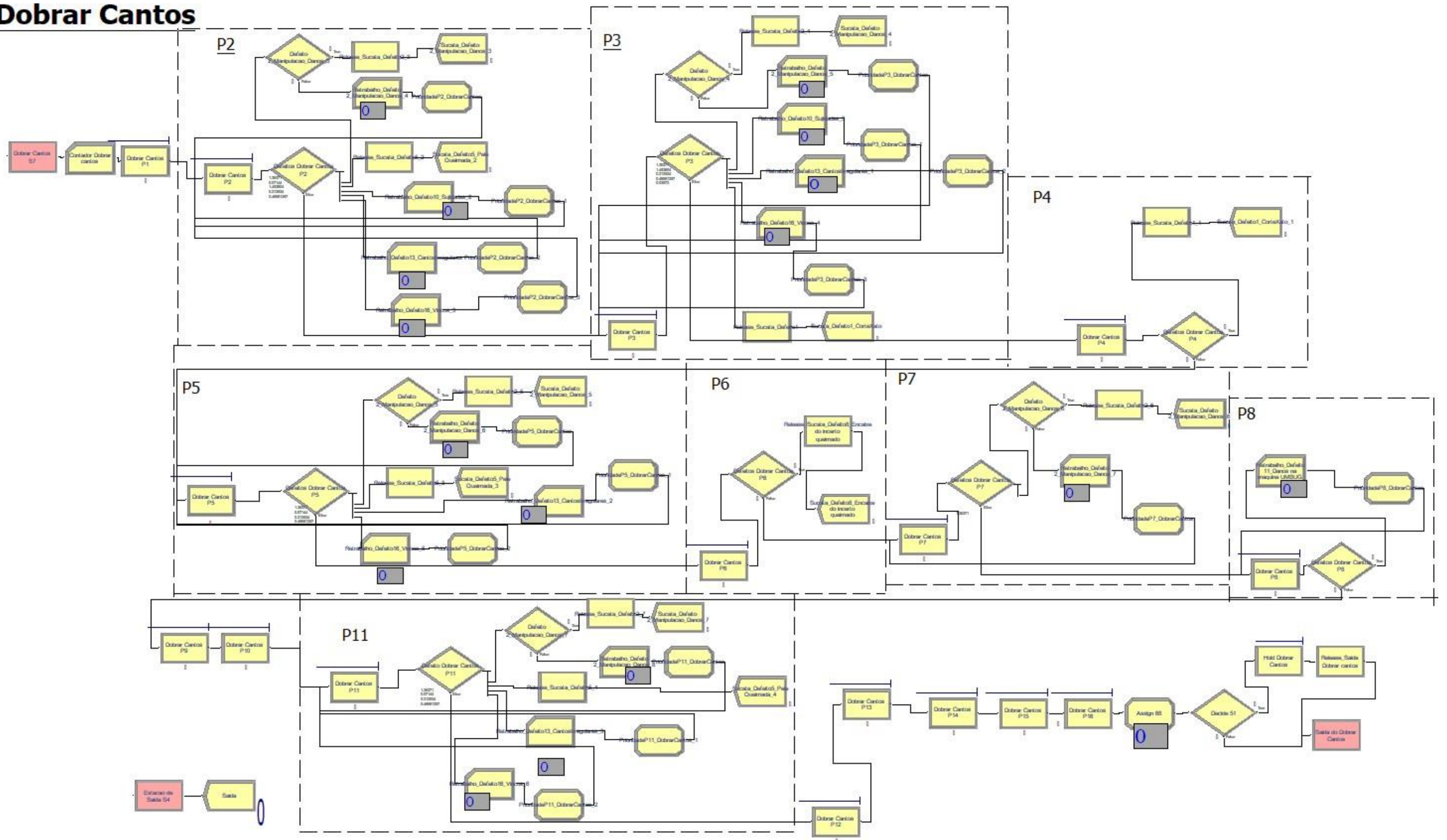


Figura 41 - Modelo de Dobrar Cantos para a proposta 4

## 5.2 Análise de resultados e discussão

Foi dado bastante foco no número de peças que saem no fim de toda a linha de produção, como também aos defeitos, para os quais se propôs melhoria, tendo considerado para todos eles que, no mínimo, ao serem implementadas, no processo real, se tem uma redução de defeitos de cerca de 60 %.

Nos defeitos para quais se propuseram alterações, são apresentados o número de defeitos que ocorriam antes e depois das melhorias propostas na Tabela 10.

Tabela 10 - Número de defeitos do sistema base e do sistema melhorado

<b>Defeito</b>	<b>Posto de trabalho</b>	<b>Retrabalho ou Sucata</b>	<b>Número de defeitos – Sistema base</b>	<b>Número de defeitos – Sistema melhorado</b>
9	Adesivagem	Retrabalho	4	0
15	Adesivagem	Retrabalho	1	0
15	Adesivagem	Sucata	0	1
18	Adesivagem	Retrabalho	7	2
2	Pré Posicionamento	Sucata	4	1
2	Pré Posicionamento	Retrabalho	4	1
2	Dobrar Cantos	Sucata	0	0
2	Dobrar Cantos	Retrabalho	3	4
3	Pré Posicionamento	Sucata	2	0
3	Pré Posicionamento	Retrabalho	0	1
7	Pré Posicionamento	Retrabalho	3	0
10	Pré Posicionamento	Retrabalho	1	1
10	Dobrar Cantos	Retrabalho	2	0
12	Pré Posicionamento	Sucata	1	0
12	Pré Posicionamento	Retrabalho	4	0

A partir da Tabela 10, verifica-se que apesar dos três defeitos aumentarem em três casos, a vasta maioria dos defeitos diminui com as implementações sugeridas, e conseqüentemente, o número de peças que saem do sistema melhorado, foram superiores como esperado.

Na Tabela 11 apresenta-se em resumo o número de peças que saem do sistema, para a situação de sem defeitos, com defeitos e caso melhorado.

Tabela 11 - Número de peças que saem do sistema, para cada caso

	<b>Caso 1 - sem defeitos</b>	<b>Caso 2 - com defeitos</b>	<b>Caso 3 - com sistema melhorado</b>
<b>Número de peças que saem do sistema</b>	86	74	79

A partir dos resultados obtidos, confirma-se através das simulações realizadas com o *Arena*, que as alterações sugeridas por meio da aplicação de ferramentas *Lean*, são benéficas para o aumento da competitividade da empresa, e neste sentido sugere-se que a empresa implemente os métodos de melhoria estudados neste trabalho, garantindo que haja pelo menos uma redução de 50 % na ocorrência de defeitos estudados.



## 6 Conclusão e trabalhos futuros

Com o estudo de simulação efetuado, verificou-se que as empresas devem cada vez mais aplicar as práticas/ferramentas *Lean*, já que com estas a eficiência da empresa aumenta, tanto em termos de custo como qualidade, como se pode ver, em diferentes trabalhos de investigação sobre este assunto, assim como em diferentes casos reais de empresas.

No entanto, uma questão fundamental será sempre a resistência dos colaboradores, onde será importante todos estarem envolvidos, por isto, será de extrema importância explicar-lhes através de ações de formação, os benefícios que as ferramentas *Lean* podem trazer, tanto a eles como à sua empresa.

Deve-se ainda referir que os estudos desenvolvidos neste trabalho teriam sido realizados com melhor parecença com a realidade, caso se tivessem informações mais concretas, uma série de tempos para cada posição, ao invés de apenas um tempo para cada posição, onde se supõem que seja o tempo médio obtido, não sendo muito realista, já que como se sabe, a execução das operações não teriam sempre a mesma duração (situação admitida na simulação, devido a ser o que se tinha como dados).

Outro dado muito importante necessário é onde são originados os defeitos, e para o caso, em que estes são retrabalhados, dever-se-ia ter ainda o tempo associado ao retrabalho.

Com o estudo feito foi possível verificar o aumento do número de peças, em condições de serem dadas ao cliente, onde no estado inicial apenas saiam 74 peças, e com a estimativa de melhorias de 60 % nos defeitos 2, 3, 7, 9, 12, 15 e 18, verificou-se o aumento para as 79 peças, aproximando desta forma, do caso onde não houvesse nenhum defeito.

A maior dificuldade ultrapassada foi a simulação no *Arena*, *software* usado nas simulações efetuadas, onde inicialmente causou dificuldades, mas foi se tornando intuitivo, ao longo das horas dispensadas no seu uso. Também demonstra ser um programa viável para quaisquer configurações que se pretenda simular, através da sua vasta gama de recursos disponíveis na sua biblioteca.

Para trabalhos futuros, dever-se-ia aplicar os métodos sugeridos, na empresa, de modo a melhorar a sua eficiência, e assim verificar a aplicabilidade do *Kaizen*, associado à melhoria contínua, através de, por exemplo relatórios sobre os defeitos, e principalmente o estudo de como realizar as tarefas, de uma maneira diferente, de modo a haver menos suscetibilidade do aparecimento dos defeitos. Também se deveria explorar mais os tempos, que tal como se admitiu em termos de ocorrência de defeitos, deveriam de ser revistos para as propostas sugeridas.

# Referências

- [1] G. A.-C. de O. Ferreira, «Aplicação do lean em pequenas empresas : um estudo de caso no setor de alimentação fora do lar», M.S. thesis, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- [2] A. L. F. de Almeida, «Metodologia Lean manufacturing no processo produtivo de capas para assentos de automóvel», Universidade de Aveiro, Aveiro, 2015.
- [3] A. F. B. Dias, «Lean Thinking e a sua operacionalização: um caso da indústria automóvel», Universidade de Coimbra, Coimbra, Relatório de estágio, dez. 2020.
- [4] R. B. Ribeiro, «Aplicação de conceitos Lean e da Gestão de Stocks numa empresa de embelezamento automotivo», M.S. thesis, Universidade do Minho, Braga, 2016.
- [5] L. L. L. Negrão, «Caracterização da implementação do lean manufacturing na região amazônica : identificação do grau de adoção e seu efeito no desempenho empresarial», Ph.D. Dissertation, Universidade federal de São Carlos, São Carlos, 2016.
- [6] K. Mitrogogos e K. M. Saidul Huq, «Impact of Lean Manufacturing on Process Industries», M.S. thesis, Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, Sweden, 2018.
- [7] M. Amin e T. Kubo, «Kanban implementation from a change management perspective: A case study of Volvo IT», M.S. thesis, Malardalen University, Mälardalen, Sweden, 2014
- [8] C. S. S. Mendes, «Metodologias do sistema de produção Toyota para takt time's longos», M.S. thesis, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2017.

- [9] J. A. P. Moura, «Integração de Sistemas de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança», M.S. thesis, Instituto superior de engenharia do Porto, Porto, 2011.
- [10] H. Abdullah e H. Aziz, «Impact of Just-In-Time manufacturing on profit maximization», University of Sulaimani, Sulaimani, Iraq, Munich Personal RePEc Archive 112365, 2017.
- [11] C. I. M. Viveiros, «Lean e sua aplicabilidade na indústria da construção», M.S. thesis, Universidade da Madeira, Madeira, 2016.
- [12] S. Al-Janabi, «The Impact of Just in Time Practices on Operational Performance of Fast Food Restaurants in Jordan», M.S. thesis, Middle East University, Jordan, 2020.
- [13] R. J. S. Moreira, «Reconfiguração de um sistema de produção aplicando princípios Lean Thinking numa empresa do setor têxtil e de vestuário», M.S. thesis, Universidade do Minho, Braga, 2022.
- [14] M. Tekin, M. Arslandere, M. Etlioglu, Ö. Koyuncuoğlu, e E. Tekin, «An Application of SMED and Jidoka in Lean Production», em *Proceedings of the International Symposium for Production Research*, Selçuklu, Turkey: Springer Nature Switzerland AG, 2019, pp. 530–545.
- [15] M. L. G. Gordones, «Implementação De Sistema de Qualidade na Fonte: Um caso de estudo num sistema de produção flexível», M.S. thesis, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016.
- [16] M. de B. Batalha, «5S methodology enhancement through the use of Industry 4.0 solutions», M.S. thesis, Técnico Lisboa, Lisboa, 2022.
- [17] B. Apolinário, «Implementação da metodologia Lean – 5S num laboratório da Indústria Alimentar», M.S. thesis, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2018.

- [18] S. C. F. Maia, «Aplicação de 5S e redução de desperdícios numa empresa de cutelarias», M.S. thesis, Universidade do Minho, Braga, 2021.
- [19] J. P. S. Moreira, «Introduction of the Heijunka methodology to improve the control and leveling of inventories of the operating system of a company in the metal-mechanical segment», *Journal of Lean Systems*, Patos de Minas, Brasil, pp. 26–44, 26 de maio de 2022.
- [20] F. Pereira, «Melhoria da eficiência de um processo de pintura através da metodologia Lean», M.S. thesis, Técnico Lisboa, Lisboa, 2016.
- [21] M. Soleda, «Definição e Implementação do Fluxo Logístico Interno numa Unidade de Produção de Rolhas Capsuladas», M.S. thesis, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2017.
- [22] Ş. Özkaptan, «Improvement of the business processes with Kaizen techniques», M.S. thesis, Technical University of Liberec, Liberec, Czech Republic, 2020.
- [23] P. I. S. Pereira, «Aplicação da metodologia Kaizen à GRH : o recrutamento e seleção na Worten», M.S. thesis, Instituto Superior de Economia e Gestão, Lisboa, 2015.
- [24] L. M. T. Fernandes, «Dimensionamento e Implementação do Sistema Kanban numa Unidade de Produção do Sector Automóvel», M.S. thesis, Universidade da beira interior, Covilhã, 2016.
- [25] R. Ylitalo, «Potencial of Kanban in the manufacturing processes of costumized products», M.S. thesis, University of Vaasa, Vaasa, Finland, 2013.
- [26] J. Huuskonen, «Poka-Yoke methods in make-to-order production», M.S. thesis, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Tampere, Finland, 2020.

- [27] S. R. Ferrão, «Aplicação do sistema Just In Time em uma indústria de sinalização viária do interior de são paulo», Universidade tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Brasil, Trabalho de conclusão de curso, 2015.
- [28] H. Øystese, «A Framework for the Implementation of Takt Time in High-Variety, Low-Volume Manufacturing Environments», Norwegian University of Science and Technology, Noruegia, 2019.
- [29] P. Moleiro Naval, «Process improvements in a material handling activity by applying lean production techniques», M.S. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Catalunha, Espanha, 2008.
- [30] C. B. B. M. Gonçalves, «Otimização de Processos Lean com base em simulação. Caso de estudo.», M.S. thesis, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2022.
- [31] G. Araujo, «Integration of Lean practices to eliminate waste and improve productivity in software development», M.S. thesis, California State University Dominguez Hills, California, America, 2017.
- [32] K. A. El-Namrouy e M. S. AbuShaaban, «Seven Wastes Elimination Targeted by Lean Manufacturing Case Study “Gaza Strip Manufacturing Firms”», *International Journal of Economics, Finance and Management Sciences*, vol. 1, n.º 2, p. 68, abr. 2013.
- [33] P. R. Vergopolan, «Análise dos sete desperdícios da produção em uma indústria de biscoitos», Universidade tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, Brasil, Trabalho de conclusão de curso, 2018.
- [34] I.-S. Ruponen, «Identifying the wastes in a transportation company’s office processes», Satakunta University of Applied Sciences, 2017.

- [35] H. V. Fim, «Identificação dos sete desperdícios da produção através da aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor», apresentado na IX Congresso brasileiro de engenharia de produção, Ponta Grossa, Brazil: Associação Paranaense de engenharia de produção, 2019, p. 12.
- [36] M. J. D. Carvalho, «Caracterização de uma fila de espera de um serviço hospitalar - um estudo de caso», M.S. thesis, Faculdade de Medicina Universidade do Porto, Porto, 2015.
- [37] R. C. de A. Neves, «Sistema de gestão e previsão de filas de espera», M.S. thesis, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2021.
- [38] M. Jorge, «Gestão de Filas de Espera com Recurso à Simulação», Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Leiria, Projeto de mestrado, 2017.
- [39] P. M. de S. Rodrigues, «Análise de filas de espera através de simulação: caso de estudo pedagógico», M.S. thesis, ISCTE Business School, Lisboa, 2014.
- [40] M. Almeida, «Inferência em Filas Markovianas Finitas e Infinitas», Ph.D. Dissertation, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, 2016.
- [41] P. Rodrigues, «Uma Breve Introdução à Teoria das Filas», Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, Brazil, Monografia - especialização, 2022.
- [42] N. Nolasco, «Aplicação da teoria das filas para tomada de decisão em uma empresa de serviços de alimentação», Faculdade Horizontina, Horizontina, Brazil, Trabalho Final de Curso de licenciatura, 2019.
- [43] D. Figueiredo, «Optimização da Produção de Colectores Solares», M.S. thesis, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2010.

- [44] J. F. Teles, «Análise e simulação de um sistema de transformação de cortiça», M.S. thesis, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2014.
- [45] P. R. D. de S. Ferreira, «Otimização/Simulação em Sistemas Industriais», M.S. thesis, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2017.
- [46] P. da S. F. Poça, «Utilização de modelos de simulação para a melhoria de um sistema de restauração: estudo de caso de uma cantina universitária», M.S. thesis, Universidade do Minho, Braga, 2015.
- [47] J. C. Ferreira, «Queueing System Analysis A case study», M.S. thesis, Escola Superior de Tecnologia e Gestão of Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2020.
- [48] T. Souza, «A Simulação a Eventos Discretos como ferramenta de apoio à Tomada de Decisão em empresas do ramo de mineração: Aplicação em uma unidade da Yamana Gold», M.S. thesis, Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Mina, Ouro preto, Brazil, 2009.
- [49] A. Fabbri, «Simulation of regional logistics systems with agent-based modelling: a Dubai case study», M.S. thesis, Politecnico di Torino, Torino, Italia, 2020.
- [49] «Anylogic». Disponível em: <https://www.anylogic.com/features/>
- [51] B. Ferreira, «Modelação computacional do processo produtivo de uma nave de uma empresa de extrusão de alumínio», M.S. thesis, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2020.
- [52] M. Mousavi, «Multi-objective AGV scheduling in an FMS using a hybrid of genetic algorithm and particle swarm optimization», *PLoS ONE*, vol. 12, mar. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0169817.
- [52] «Simio». Disponível em: <https://www.simio.com/>

- [54] A. Bradley, *Arena Users Guide User Manual*. Rockwell Automation, 2017.
- [55] T. Silva, «A importância das emoções na decisão de compra de um automóvel», M.S. thesis, Logótipo do comerciante IPAM Porto - Marketing Business School, Porto, 2021.
- [56] J. Fernandes, «Competitividade da indústria automóvel portuguesa», M.S. thesis, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2017.
- [57] M. Matos, «Percurso de um projecto no sector automóvel - Caso de estudo», M.S. thesis, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2013.
- [58] M. Sousa, «Métodos quantitativos para a decisão económica e empresarial», Lisbon School of Economics & Management, Lisboa, Trabalho Final de mestrado, out. 2021.
- [59] A. Carvalho, «Estudo da sustentabilidade da indústria automóvel em Portugal», M.S. thesis, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009.
- [60] «Design português de mini-autocarro da Toyota vence prémio internacional – Marketeer». Disponível em: <https://marketeer.sapo.pt/design-portugues-de-mini-autocarro-da-toyota-vence-premio-internacional/>
- [61] G. N. Salgueiro, «Aplicação de ferramentas para melhorar o processo produtivo numa empresa do sector automóvel», Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.