



**Tomás Gonçalo Duarte Russo**

Licenciado em Engenharia Alimentar

## **Utilização de metodologias *lean* na redução de WIP de linhas de produção de palhinhas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora:

Professora Doutora Helena Maria Lourenço Carvalho Remígio,  
Professora Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia,  
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente:

Professora Doutora Isabel Maria do Nascimento Lopes Nunes,  
Professora Associada com Agregação da Faculdade de Ciências e  
Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Vogais:

Professora Doutora Susana Carla Vieira Lino Medina Duarte,  
Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa

Professora Doutora Helena Maria Lourenço Carvalho Remígio,  
Professora Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da  
Universidade Nova de Lisboa



Copyright © Tomás Gonçalo Duarte Russo, Faculdade de Ciências e Tecnologia,  
Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Antes de mais, queria agradecer à minha família que dedicou tempo e esforço na minha formação e realização pessoal. Graças a eles sou quem sou hoje e graças ao apoio contínuo que tive durante todo este período, consegui terminar esta fase da minha vida.

Agradeço em grande parte à minha namorada que me apoiou igualmente durante todo o percurso e que me deu um enorme apoio moral e fez ultrapassar todos os momentos em que me sentia mais perdido.

Agradeço a todos os intervenientes da empresa onde pude estagiar visto que sem eles não teria tido a oportunidade única de aprender com o profissionalismo dos mesmos.

Os meus amigos que sempre me apoiaram estão eternamente presentes nos meus agradecimentos.

Por último e com um grande reconhecimento, agradeço à minha orientadora da dissertação, que me ajudou de uma forma muito profissional e sempre lutou pela conclusão desta etapa. Fez de tudo para que a dissertação tivesse a melhor qualidade e rigor possível e que me incentivou desde o início.

A todos, um sincero obrigado.



## Resumo

A indústria para ser competitiva no mercado deve melhorar a produtividade nas linhas de produção. A aplicação de metodologias *lean*, como o desenho de cadeias de valor (VSM) e a remoção de desperdícios em linhas de produção, tem-se revelado útil para uma produção mais simples e sem desperdícios. A possibilidade de modelar sistemas com diferentes variáveis, permite analisar cenários alternativos de sistemas com maior rapidez e menos custos. A presente dissertação aborda a implementação de metodologias *lean* e a identificação e remoção de desperdícios de uma linha de produção de palhinhas com recurso a simulação. Para tal é apresentado um caso de estudo na fábrica da Tetra Pak Tubex Portugal, que se trata de uma linha de produção em que se pretende dar continuidade ao processo de melhoria contínua já implementado. Através da simulação, são modelados cenários alternativos de modo a reduzir a quantidade de WIP existente no processo produtivo e facilitar a tomada de decisão da empresa quanto a um novo *layout* de produção. Existem limitações, é necessário manter o mesmo número de máquinas na fábrica, pelo que apenas se pode deslocar recursos de outras linhas de produção, não podendo aumentar ou reduzir a quantidade de operadores alocados a cada linha de produção. Recorre-se ao simulador Arena da *Rockwell Software*, estudando-se diferentes cenários e apresentando várias alternativas. Foi identificado um cenário que permite obter uma redução de 17,23% de WIP na fase onde o *bottleneck* é mais importante na linha de produção estudada.

**Palavras-chave:** Simulação, Produção, Metodologias *Lean*, *Value Stream Mapping*.



## **Abstract**

The industry to be competitive in the market must improve the productivity in the production lines. The application of lean methodologies, such as the Value Stream Mapping (VSM) and the removal of waste in production lines, has proved useful for a simpler production and waste reduction. The possibility of modeling systems with different variables, allows to analyze alternative systems scenarios with greater speed and lower costs. The present dissertation addresses the implementation of lean methodologies and the identification and removal of wastes from a straw production line using simulation. To this end, a case study is presented at Tetra Pak Tubex Portugal, where a straw production line is selected to continue the process of continuous improvement already implemented. Through simulation, alternative scenarios are modeled to reduce the amount of WIP in the production process and to facilitate the company's decision on a new production layout. There are limitations, it is necessary to maintain the same amount of machines in the factory, reason why only one can move resources of other production lines, not being able to increase or reduce the amount of operators allocated to each production line. The Rockwell Software Arena simulator is used, different scenarios are studied and alternatives are presented in which the best performing scenario allows a reduction of 17.23% of WIP in the phase where the bottleneck is most important in the studied production line.

**Key-words:** Simulation, Production, Lean philosophy, Value Stream Mapping.



# Índice de Matérias

<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodologia	2
1.4 Estrutura da dissertação	2
<b>2 Enquadramento teórico</b>	<b>5</b>
2.1 Contextualização	5
2.2 Metodologia de um <i>Value Stream Mapping</i>	7
2.3 <i>Takt Time</i>	8
2.4 <i>Muda</i>	9
2.5 Simulação	10
2.6 Desenvolvimento de um modelo de simulação	13
2.6.1 <i>Formulação do problema</i>	13
2.6.2 <i>Recolha de dados</i>	13
2.6.3 <i>Verificar o modelo conceptual</i>	14
2.6.4 <i>Validar o Modelo</i>	15
2.6.5 <i>Especificar as condições de uso</i>	16
2.6.6 <i>Testar cenários diferentes e retirar conclusões da simulação</i>	16
2.7 <i>Arena da Rockwell Simulation</i>	17
2.7.1 <i>Input Analyzer</i>	18
2.7.2 <i>Output Analyzer</i>	18
2.7.3 <i>Process Analyzer</i>	19
2.8. Relatório do projeto	19
2.9 Síntese	20
<b>3. Caracterização do estudo de caso</b>	<b>21</b>
3.1 Contextualização	21
3.1.2 <i>A Tetra Pak</i>	21
3.1.3 <i>Organização global</i>	22
3.2 <i>WCM na Tetra Pak Tubex Portugal</i>	23
3.3 Contextualização do problema	25
3.4 Descrição dos produtos	26
3.5 Descrição das etapas de processo	28
3.6 <i>Value Stream Mapping</i> da família de palhinhas 162x5mm	32
3.8 <i>Takt Time</i> da família de palhinhas 162x5mm	35
3.9 Recursos e a sua programação	37
3.10 Síntese	38
<b>4. Sistema atual</b>	<b>41</b>
4.1 Desenvolvimento do modelo de simulação	41

4.1.1 Pressupostos.....	41
4.1.2 Desenvolvimento do modelo de simulação do sistema atual .....	41
4.2 Verificação e validação do modelo.....	53
4.3 Síntese .....	55
<b>5. Proposta de sistema futuro .....</b>	<b>57</b>
5.1. Contextualização da situação futura .....	57
5.2 Limitações.....	57
5.3 Simulação do sistema.....	57
5.4. Análise do modelo de simulação.....	60
5.5. Propostas de melhoria.....	62
5.6. Síntese .....	64
<b>6. Conclusão.....</b>	<b>65</b>
<b>7. Bibliografia .....</b>	<b>67</b>
<b>Anexo: Valores de WIP nos diferentes cenários estudados .....</b>	<b>71</b>

## Índice de Figuras

Figura 2-1- Áreas de aplicação de estudos sobre o VSM.....	6
Figura 2-2 - Métodos de estudo de sistemas.....	10
Figura 2-3 - Modo de funcionamento de um sistema de simulação.....	12
Figura 2-4 - Evolução das áreas de aplicação da simulação ao longo do tempo.....	12
Figura 2-5 - Os sete passos indicados para se realizar um bom estudo de simulação.....	15
Figura 2-6 - Hierarquia estrutural do Arena.....	17
Figura 3-1- Vendas de embalagens Tetra Pak por cluster ao longo do tempo.....	22
Figura 3-2 - Estrutura organizacional da Tetra Pak .....	22
Figura 3-3 - Mercado e volume de vendas da TPTP .....	23
Figura 3-4 - Ciclo de melhoria contínua impulsionado pelo WCM.....	24
Figura 3-5 - Impacto do WCM no crescimento do negócio.....	24
Figura 3-6 - Diferença no tempo de ciclo entre processos.....	25
Figura 3-7 Constituição da Máquina Doctor Z-Folder .....	26
Figura 3-8 - Diferentes tipos de palhinha produzidos pela TPTP .....	27
Figura 3-9 - Processo de produção de palhinhas .....	27
Figura 3-10 - Constituição das linhas fabris da família de palhinhas 162x5mn .....	28
Figura 3-11 - Organização das linhas de produção na TPTP .....	29
Figura 3-12 - Organização da área de <i>forming</i> numa linha de produção .....	30
Figura 3-13 - Organização da área de DZ-F/Embalamento numa linha de produção .....	31
Figura 3-14 - Representação do processo pós-embalamento numa linha de produção.....	31
Figura 3-15 - Value Stream Map da linha A.....	33
Figura 3-16 - Value Stream Map da Linha B&C.....	33
Figura 3-17 - Exemplo de WIP presente no armazém da TPTP .....	36
Figura 3-18 - Exemplo de WIP presente na área fabril da TPTP .....	37
Figura 4-1 Modelo conceptual da linha de produção da família de palhinhas 162x5mm.....	42
Figura 4-2 - Modelo Computacional da linha de produção A da família de palhinhas 162x5mm.....	43
Figura 4-3 - Modelo Computacional da linha de produção B da família de palhinhas 162x5mm.....	43
Figura 4-4 - Modelo Computacional da linha de produção C da família de palhinhas 162x5mm.....	44
Figura 4-5 - A integração de entidade “Palhinhas” no modelo atual.....	44
Figura 4-6 - Geração de chegada das entidades “palhinhas” no sistema .....	45
Figura 4-7 - Caracterização da geração de caixas após extrusão através do módulo <i>Batch</i>	45
Figura 4-8 - Representação do módulo Enter que permite definir o tempo de transporte das caixas de extrusão para o <i>forming</i> .....	46

Figura 4-9 - Representação do módulo <i>PickStation</i> que define o sorteio para a alocação de caixas às máquinas de <i>forming</i> .....	47
Figura 4-10 - Representação do módulo <i>Station</i> que indica a entrada da máquina de <i>forming</i> (U-M) .....	47
Figura 4-11 - Modelação da separação das caixas da extrusão para utilização na máquina de <i>forming</i> . .....	48
Figura 4-12 Exemplo de um dos módulos <i>Process</i> da fase de <i>forming</i> .....	49
Figura 4-13 - <i>Batch</i> representativo das caixas formadas após o processo de <i>forming</i> .....	49
Figura 4-14 - Exemplo de módulo <i>Route</i> utilizado na saída de cada máquina UM .....	50
Figura 4-15 - Módulo <i>Station</i> que acolhe as caixas provenientes dos módulos <i>Route</i> .....	50
Figura 4-16 - Módulo <i>Separate</i> representado para a utilização da <i>Doctor Machine</i> .....	51
Figura 4-17 - Módulo <i>Process</i> utilizado para representar a máquina <i>Doctor Z-Folder</i> .....	51
Figura 4-18 - <i>Batch</i> final para a caixa de expedição .....	52
Figura 4-19 - Único módulo <i>Process</i> realizado por um recurso humano.....	52
Figura 4-20 - Módulo <i>Dispose</i> que representa o fim do modelo de simulação.....	53
Figura 5-1 - Escolha de recursos no <i>Process Analyzer</i> .....	59
Figura 5-2 - Alteração de cenários no <i>Process Analyzer</i> . .....	60
Figura 5-3 - Valores de diferentes cenários .....	61
Figura 5-4 - Valores de WIP em diferentes cenários da linha A no <i>Process Analyzer</i> .....	61
Figura 5-5 - Comparação de valores de WIP na fase de D-ZF para uma replicação de 8h. .	62
Figura 8-1 - Valores de WIP de diferentes cenários para um período de 24h (correspondente a um dia de trabalho ou três turnos).....	71
Figura 8-2 - Comparação de valores de WIP na fase de D-ZF para uma replicação de 24h.	71
Figura 8-3 - Valor de valores de WIP de diferentes cenários para um período de 5dias (correspondente a uma semana de produção que é o valor contínuo máximo) .....	72
Figura 8-4 - Comparação de valores de WIP na fase de <i>Forming</i> para uma replicação de 5dias.....	72
Figura 8-5 - Comparação de valores de WIP na fase de D-ZF para uma replicação de 5dias. ....	73



## Índice de Tabelas

Tabela 2-1 Atributos organizados de modo decrescente consoante a sua importância na literatura.....	7
Tabela 2-2 Distribuições de probabilidade suportadas pelo programa Arena.....	18
Tabela 3-1 Número de máquinas estudadas por linha de produção.....	34
Tabela 3-2 Velocidade de processamento de 1000 palhinhas por cada máquina antes e depois do ajuste. ....	35
Tabela 3-3 <i>Takt Time</i> da família de palhinhas 162x5mm da TPTP.....	36
Tabela 3-4 Recursos materiais por linha da família de palhinhas 162x5mm.....	38
Tabela 4-1 Representação da replicação para um período de um turno .....	54
Tabela 4-2 Comparação do sistema real com o sistema modelado quanto à quantidade de WIP antes da fase de <i>forming</i> .....	54
Tabela 5-1 Valor de WIP no cenário atual e após o aumento das máquinas de <i>forming</i> .....	58
Tabela 5-2 Propostas de melhoria para uma redução de WIP no processo produtivo de palhinhas.....	63



## Lista de abreviaturas

DMS	–	Daily Management System
D-ZF	–	Doctor Z-Folder
Hz	–	Hertz
ISO	–	International Organization for Standardization
JIPM	–	Japan Institute of Plant Maintenance
JIT	–	Just-In-Time
KAI	–	Key Activity Indicator
KMI	–	Key Monitoring Indicator
KPI	–	Key Performance Indicator
OEE	–	Overall Equipment Effectiveness
TP	–	Tetra Pak
TPM	–	Total Productive Maintenance
TPTP	–	Tetra Pak Tubex Portugal
UM/U-M	–	UMachine / U-Machine
VSM	–	Value Stream Mapping
WIP	–	Work In Progress
WCM	–	World Class Manufacturing



# 1 Introdução

O presente capítulo apresenta o enquadramento do problema bem como o objetivo de reduzir a quantidade de WIP na linha de produção estudada, a metodologia utilizada e finalmente a estrutura da dissertação.

## 1.1 Enquadramento

A dissertação em questão resulta de um estudo de caso de uma linha de produção fabril, mais concretamente na área de produção de palhinhas para bebida na empresa Tetra Pak Tubex Portugal.

Devido ao aumento da competitividade por parte de empresas semelhantes, principalmente oriundas do mercado asiático, tem havido uma necessidade em melhorar os processos produtivos e em reduzir os desperdícios existentes. A redução de desperdícios permite reduzir os custos de produção, no entanto poderá implicar um investimento inicial elevado. Por este motivo, é necessário perceber quais os benefícios económicos a curto/médio prazo deste investimento para avaliar se é uma opção atrativa. Os modelos de negócio para produtos como as palhinhas não podem ser planeados para o longo prazo, visto que o cliente final não vê uma referência da marca presente na palhinha e, por esse motivo, considera o produto como uma *commodity*, um mercado que pela sua natureza é altamente instável (Wray 2008).

Paralelamente, após o surgimento da crise financeira de 2008, novas reformas laborais na Europa permitiram a grande parte das empresas reduzir a quantidade de trabalhadores contratados para números inferiores aos anteriores (Clauwaert e Schömann 2012). Esta mudança repentina remete em grande parte para um novo tipo de gestão, em que a mesma quantidade de produção é assegurada por um menor número de operadores e de gestores. Ao utilizar menos operadores para realizar o mesmo volume de trabalho, surge um novo desafio para as empresas visto que é necessário saber organizar as tarefas de cada indivíduo, de modo a que não haja sobrecarga de trabalho. A sobrecarga de trabalho acaba por ser antagónica ao progresso porque impede que haja um papel de líder presente na fábrica e leva à desmotivação geral das equipas (Welbourne 2007).

A utilização de simuladores de sistemas auxilia a tomada de decisão pois permite observar graficamente a empresa num determinado espaço temporal. Permite realizar alterações de cenário desejadas e fornecer estatísticas relativas ao desempenho que apoiam à tomada de decisão (Kellner, Madachy e Raffo 1999). A complexidade e variabilidade de cenários que se pode criar e resolver através da simulação permitem ao decisor a formulação de diversas escolhas possíveis que podem satisfazer as necessidades impostas pelas equipas de gestão industrial.

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito da simulação gráfica a computador de linhas de produção da fábrica de palhinhas Tetra Pak Tubex Portugal, situada em Carnaxide (Oeiras). Trata-se de uma empresa pertencente ao grupo multinacional Tetra Pak, pertencente por sua vez ao grupo DeLaval.

A minha integração na empresa para a realização da dissertação foi viabilizada com o intuito de

responder à redução da quantidade de *Work in Progress* (WIP, produto não acabado, presente em várias etapas de produção) de uma família de produtos de palhinhas.

## 1.2 Objetivos

O intuito da dissertação é de tornar uma linha de produção de palhinhas mais eficiente e eficaz ao encontrar um cenário alternativo que respeite as limitações presentes na fábrica (mantendo a mesma quantidade de máquinas na fábrica e o mesmo número de trabalhadores por linha de produção), reduzindo os desperdícios presentes, tendo enfoque na redução de desperdício de materiais sob a forma de WIP.

## 1.3 Metodologia

Para atingir os objetivos propostos serão usados dois tipos de metodologias, uma metodologia de investigação e uma metodologia de trabalho.

### 1) Metodologia de investigação:

A metodologia de investigação consiste numa pesquisa acerca da Tetra Pak como grupo, da sua estrutura empresarial e das metodologias *lean* já implementadas na fábrica. É necessário definir o motivo pelo qual o caso é relevante para ser estudado e porque é adequado atingir os objetivos propostos.

### 2) Metodologia de trabalho:

A metodologia de trabalho descreve como os objetivos serão atingidos ao longo da dissertação e para tal seguem-se os seguintes passos:

- Desenhar um *Value Stream Mapping* das linhas de produção da Tetra Pak Tubex Portugal. Com esta metodologia *lean* é possível obter uma representação dos processos fabris e o respetivo fluxo de valor.
- Usar a ferramenta *lean* de *Takt Time* para entender qual o compasso entre o tempo de produção e o tempo de procura por parte do mercado, em relação aos produtos produzidos na linha do estudo de caso.
- Identificar os desperdícios presentes na linha de produção através da metodologia *lean* “*muda*”.
- Classificar os diferentes desperdícios quanto ao seu tipo e estabelecer um plano de ação para a sua eliminação.
- Desenhar um modelo de simulação com o *software* Arena e desenvolver cenários de produção alternativos capazes de remover desperdícios da linha de produção.

## 1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em sete capítulos.

No primeiro capítulo, é feito o enquadramento do estudo e definidos os objetivos a atingir com a dissertação e descrita a metodologia utilizada.

No segundo capítulo, são apresentadas e contextualizadas as metodologias lean como meio de solução fabril, desde o seu surgimento à sua aplicação prática. São apresentadas em detalhe certas metodologias lean nomeadamente o *Value Stream Mapping*, o *Takt Time*, o *Muda* e a simulação como ferramenta utilizada para estudar sistemas e apoiar na melhoria contínua. São apresentados os passos para o desenvolvimento de um modelo de simulação e os conceitos básicos da ferramenta. É apresentado o software Arena que é utilizado para desenvolver os modelos de simulação na presente dissertação e as ferramentas que o constituem.

No terceiro capítulo é caracterizado o estudo de caso. Contextualiza-se a Tetra Pak a nível global no mercado de palhinhas para bebida e, em seguida, o local com as instalações da Tetra Pak Tubex Portugal onde decorre o estudo. É contextualizado o problema, apresenta-se uma descrição dos produtos da linha de produção, as etapas do processo e recolhem-se dados do sistema para se desenvolver um modelo de simulação.

No quarto capítulo, desenvolve-se o modelo de simulação da linha de produtos estudada. São feitos pressupostos e verifica-se e valida-se o modelo de simulação.

No quinto capítulo, contextualiza-se um sistema futuro da linha de produção estudada com as respetivas limitações, simulação do sistema e análise do modelo de simulação. São apresentados diferentes cenários estudados e selecionados os que respondem melhor ao objetivo de dissertação: Redução de *Work in Progress (WIP)* e aumento de melhoria na eficiência da linha de produção. São apresentadas as propostas de melhoria em que se resume quais os cenários que permitem responder ao objetivo do estudo de caso da dissertação e propostas de melhoria não estudadas, no entanto a realizar no futuro.

Finalmente, no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões da dissertação.



## 2 Enquadramento teórico

As metodologias ou ferramentas “lean” são uma forma eficaz para aumentar a eficiência e eficácia de vários sistemas e têm sido aplicadas em todo o tipo de setores a partir do momento em que se comprovou como método de aumento de competitividade desde os primórdios da sua implementação. O *Value Stream Mapping* surge como sendo uma etapa crucial para se iniciar a produção *lean* em vários sistemas.

### 2.1 Contextualização

De modo a reduzir a desigualdade produtiva entre a indústria dos Estados Unidos e a japonesa depois da Segunda Guerra Mundial, os líderes industriais Toyoda, Shigeo Shingo e Taiichi Ohno criaram o *Toyota Production System* ou o dito *Lean Manufacturing* que consiste numa filosofia orientada para o processo em que se elimina todo o tipo de desperdícios possíveis existentes num sistema (Abdulmalek e Rajgopal 2007).

Estes desperdícios são eliminados através de diversas metodologias tais como (Silva et al 2011):

- **Organização de produção em células:** Ao organizar a área de produção em células, agrupa-se um processo para um determinado produto numa célula fabril em que todos os recursos tais como máquinas, equipamentos e operadores ficam confinados num local de modo a facilitar a troca de fluxos de informação e materiais, poupando desperdícios na forma de tempo e transporte por exemplo.
- **Just In Time:** Ao produzir em *Just-in-Time* (JIT), o cliente é que desencadeia a ordem de produção ao colocar uma encomenda. Em vez de se produzir de forma contínua (com a expectativa de que um cliente irá encomendar), apenas se processa quando existe um pedido, assim diz-se que o processo é do tipo *PULL* em vez de *PUSH*.
- **Kanban:** os *kanban* ou etiquetas em japonês são um sistema de informação que permite implementar uma produção do estilo JIT em que existe um fluxo de informação do fim do processo para o início do mesmo de modo a que este se inicie, suspenda ou pare.
- **TPM:** Numa gestão de *Total Productive Maintenance*, a manutenção de todos os processos produtivos é implementada pelos trabalhadores. Todos os indivíduos presentes têm de estar envolvidos desde operadores fabris a equipas de gestão. Os objetivos finais constituem cinco pilares que são:
  - A melhoria da eficiência dos equipamentos;
  - A melhoria da eficiência e eficácia da manutenção;
  - A prevenção de manutenção corretiva;
  - O aumento do “*know-how*” geral dos trabalhadores;
  - O envolvimento dos operadores numa rotina de manutenção.

Com o TPM, a ocorrência de avarias diminui consideravelmente e o processo produtivo mantém-se fluído (Wireman 2004). Na Tetra Pak Tubex Portugal, o TPM é definido como WCM, uma adaptação da metodologia *Lean* para o grupo Tetra Pak.

- **5S**: Uma ferramenta *lean* que tem um enfoque na organização do espaço de trabalho e estandardização dos métodos de trabalho.

No entanto, para que ações sejam implementadas, é necessário que se mapeie todo o processo produtivo do sistema em que se quer implementar a filosofia *lean*. Para tal, existe o *Value Stream Mapping* que permite representar o fluxo de material de informação através de uma cadeia de valor. É utilizado para fornecer uma visão global das atividades envolvidas no processo de produção e, deste modo, identificar as fontes de desperdício (Lacerda et al 2015). Num processo interno da organização, o processo é seguido desde a ordem de encomenda até ao produto final ser expedido e são especificados tempos de valor acrescentado como de valor não acrescentado. O tempo de valor acrescentado é o tempo real de processamento de um produto e é calculado ao adicionar-se todos os tempos de processamento de cada processo da cadeia de abastecimento enquanto que o tempo restante é considerado como tempo de valor não acrescentado (Abdulmalek e Rajgopal 2007). O VSM permite assim ligar e visualizar o material e o fluxo de informação ao longo de toda a cadeia de abastecimento e assim identificar os tipos de perdas na cadeia de valor permitindo implementar medidas da sua eliminação de acordo com *Rother e Shook* (2003).

A importância do VSM pode ser verificada através dos inúmeros estudos realizados. Podemos observar na figura 2-1, uma pesquisa sobre as áreas de aplicação de estudos sobre o VSM por Bhim Singh et al (2011), que o VSM pode ser aplicado em diversos estudos:

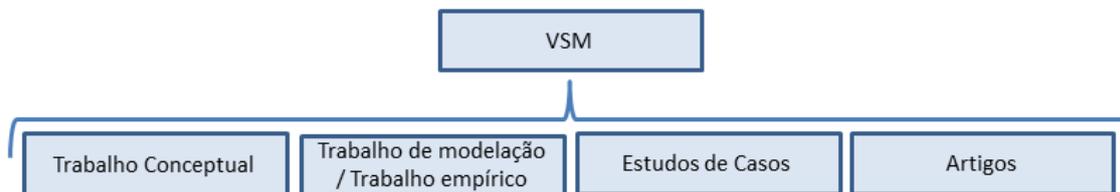


Figura 2-1 Áreas de aplicação de estudos sobre o VSM.

Os estudos de casos, como a presente dissertação, são os documentos onde o termo VSM é mais citado o que indica uma forte aplicação do mesmo em termos práticos. No entanto, podemos observar na tabela 2-1, adaptada do mesmo trabalho de Singh et al (2011), que não existem referências à utilização de métodos de simulação nos casos de aplicação de VSM, sendo assim uma vertente a desenvolver. Na tabela 2-1, podemos observar os atributos, isto é, a frequência decrescente da presença de palavras-chave utilizadas em artigos relacionados com VSM.

Tabela 2-1 Atributos organizados de modo decrescente consoante a sua importância na literatura, adaptado de Singh et al (2011)

Atributos de VSM mais discutidos	Percentagem de importância na literatura
Valor acrescentado	64
<i>Takt time</i>	50
Desperdício no transporte	46
Melhoria contínua	42
Redução de <i>Lead Time</i>	40
Situação atual	40
Situação futura	40
Inventário	34
Redução de tempo de ciclo	32
Zero defeitos	30
WIP	30
Redução de tempo de arranque de produção	28
Inventário de matérias primas	28
Informação eletrónica	28
<i>Bottle Necking</i>	28
Processo de <i>Pace Maker</i>	24
Proximidade de fornecedores	22
<i>Kanban</i>	22
<i>Kaizen</i>	22
Lotes reduzidos	20
Envolvimento de fornecedores	18
Fornecedores flexíveis	14
Redução de mão-de-obra	12

## 2.2 Metodologia de um *Value Stream Mapping*

Para se começar a realizar um VSM, é necessário escolher ou determinar um tipo particular de produto ou família de produto num sistema (meio fabril por exemplo) a melhorar. Após a escolha da família de produto, desenha-se um “mapa” dos processos pelos quais o produto atravessa tais como os tempos associados a cada processo e recursos utilizados.

Os recursos utilizados são o número de operadores e máquinas necessários para realizar um processo produtivo. É fulcral registar os tempos de ciclo do processo e os tempos intermédios entre

cada processo de modo a determinar o tempo de valor não acrescentado no sistema, ou seja, os desperdícios de acordo com a filosofia *lean*. Para tal é necessário que os responsáveis pelo mapeamento estejam presentes no sistema e que recolham dados de produção suficientes de modo a obter valores representativos do estado atual. Em termos estatísticos é sempre recomendado ter no mínimo 30 observações para poder ajustar dados a uma distribuição normal e assim reduzir a variabilidade num estudo (Shapiro e Wilk 1965). No entanto, se com menos dados for possível definir o estado atual de cada processo produtivo com o desvio padrão estipulado para o intervalo de confiança desejado, é possível efetuar um menor número de observações (Lacerda et al 2016).

Após ter o *Value Stream Mapping* atual desenhado, é necessário realizar o mapa do estado futuro em que este terá valores de *lead time* menores e adaptados às necessidades da produção. As necessidades de produção são estimadas através do cálculo do *Takt Time* e a redução do *lead time* é atingida através de vistorias no meio de produção, de modo a observar possíveis causas de valor não acrescentado, ou seja, os desperdícios que se denomina de *muda*.

### 2.3 Takt Time

De acordo com Womack e Jones (1996), em cada meio produtivo é crucial estabelecer um *takt time*. O *takt time* é o rácio entre o número de pedidos feitos pelos clientes e o tempo disponível para satisfazer a procura. De facto, o *takt time*, desde cedo, se revelou essencial para evitar a tendência de produzir demasiado de forma desnecessária, isto é, sem encomendas que justifiquem. Este problema leva a que sejam acumulados inventários desnecessários e que se incorra o risco de produzir produtos sem procura.

Para tal é necessário saber qual o tempo necessário para se produzir ao ritmo da procura com a equação (2.1) do *takt time* da procura:

(2.1)

$$\text{Takt Time da procura} = \frac{\text{Tempo disponível (segundos por mês)}}{\text{Procura (quantidade por mês)}}$$

Este tempo disponível corresponde ao tempo total disponível na fábrica para se produzir a encomenda. Quando já existe uma linha de produção, é necessário adaptar o *takt time* da procura ao *takt time* atual da produção (equação 2) de modo a averiguar se existe uma diferença. O resultado desta tem de ser o mesmo valor de tempo que o *takt time* da procura:

(2.2)

$$\text{Takt Time da produção} = \frac{\text{Tempo disponível (segundos por mês)}}{\text{Produção (quantidade por mês)}}$$

Para o *takt time* da produção, o tempo disponível corresponde à disponibilidade do equipamento (Da Silva J.P, 2009) para produzir caso este não produza de forma contínua. Esse valor pode ser obtido através do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) que é obtido através da equação 2.3:

(2.3)

$$OEE = \text{Disponibilidade do equipamento} \times \text{Eficiência} \times \text{Qualidade do produto obtido}$$

Após estimar os dois valores de *takt time*, é desejável que o *takt time* da produção seja igual ao *takt time* da procura, o que significa que o ritmo de produção está adaptado ao da procura. No entanto se o *takt time* da procura for superior, significa que o sistema é capaz de satisfazer a procura, mas produz a um ritmo superior, o que cria inventário. Por outro lado, se o *takt time* da procura for inferior ao da produção, significa que o sistema não é capaz de satisfazer as encomendas realizadas.

Por esse motivo, de acordo com Womack e Jones (1996), é sempre preferível ter um *takt time* de produção inferior visto que cria uma oportunidade de aplicar métodos de filosofia *lean* no sistema ao produzir-se maior quantidade num menor espaço de tempo (atingível ao remover *mudas* do processo).

## 2.4 Muda

Como Womack e Jones (1996) referiram, o pensamento industrial deve começar por saber diferenciar o que acrescenta valor ao cliente final do *muda*, o termo japonês para desperdício. Saber distinguir o que realmente é um desperdício que cada etapa de um processo fabril pode ou não acrescentar valor ao produto final de acordo com interpretações diversas torna o termo “*muda*” um pouco lato, no entanto o intuito deve ser de possibilitar que uma linha de produção tenha um fluxo contínuo, sem tempos de espera, tempos de paragem ou desperdício entre etapas.

Ohno (1988) definiu então que existem sete *mudas*. Dos sete, existem cinco que são referentes a fluxo de material, sendo:

- O excesso de produção;
- Os defeitos;
- O transporte;
- O mau processamento;
- O inventário em excesso (WIP, material de transporte inutilizado, etc.).

Dois *mudas* são referentes à componente humana no sistema, sendo:

- A espera para realizar um procedimento;
- O excesso de movimento para realizar um procedimento.

No entanto, certos autores acrescentam um *muda*, trata-se do desperdício da não utilização de sabedoria do operador. De acordo com Koskela (2004), o WIP deve ser o primeiro *muda* a ser

eliminado ou pelo menos onde o maior esforço deve ser dedicado. Ao remover-se *muda*, é possível tornar uma linha de produção mais fluida e produtiva, pelo que é do interesse de qualquer indústria detetar e eliminar os mesmos.

## 2.5 Simulação

A simulação consiste num conjunto de métodos em que se mimetiza o comportamento de um sistema real. Tal como Kelton (2002) descreve, trata-se, de facto, de um termo lato e generalista, visto que é possível simular em vários contextos e cenários. Ainda explica que os modelos de simulação iniciais, em que não se tinha recurso a computadores, têm características em comum com os modelos de simulação atuais que são:

- O propósito da simulação serve para estimar algo complicado de se estimar logicamente e facilmente.
- A estimativa final costuma não ser exata, pois existe um erro associado, no entanto quanto maior o número de replicações “N”, maior a precisão do resultado final.

Atualmente realizam-se simulações com recurso a computadores. De acordo com Law (1991), ao simular, recorre-se a computadores para imitar operações de todos os tipos de indústria ou processos. Denomina-se de sistema as indústrias ou processos de interesse para o estudo de caso para os quais é necessário criar um modelo que represente o seu comportamento. Os sistemas para serem simulados não podem ser resolvidos apenas de forma analítica, segundo uma conclusão esquematizada por Law (1991) como se pode observar na figura 2-2.

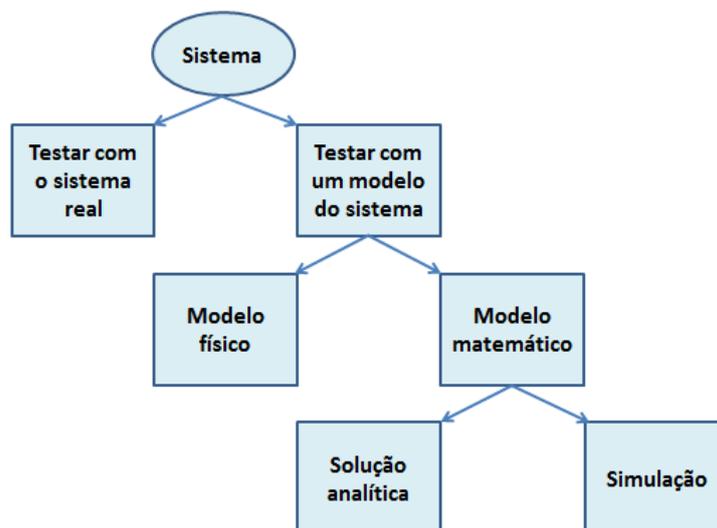


Figura 2-2 Métodos de estudo de sistemas

Os modelos utilizados para simulação são classificados em diferentes categorias de acordo com Maria (1997):

• **Determinísticos ou estocásticos:** Se o valor de *input* (dados de entrada ou inseridos no sistema) ou *outputs* (dados de saída ou obtidos através da simulação) presentes na simulação não têm variabilidade, isto é, se forem valores constantes e fixos então o modelo é do tipo determinístico. Se pelo menos um dos *input* ou *output* for probabilístico então estamos perante um modelo estocástico.

• **Estáticos ou dinâmicos:** Se o tempo de simulação não tiver influência nos resultados ao longo e no fim da simulação, então o modelo é estático, caso contrário o modelo é dinâmico.

De acordo com Carson e John (2004), os modelos podem ter uma classificação adicional:

• **Discreto ou contínuo:** Um modelo discreto é um modelo que apenas se altera em determinados momentos temporais e não continuamente. Isto é, o tempo é uma variável crítica para a simulação, visto que, quando um certo acontecimento localizado num determinado espaço temporal ocorre, leva a que novos acontecimentos, atividades ou processos ocorram.

Por norma, os modelos a ser estudados em modelos computacionais são modelos estocásticos e dinâmicos, isto devido ao grau de complexidade (Maria 1997).

O grau de complexidade do sistema pode ser resolvido através da simulação a computador. Assim, existe a possibilidade de testar vários cenários e analisar os resultados dos mesmos, algo impossível, demasiado dispendioso e pouco prático de se fazer no sistema real (Maria 1997). A simulação é utilizada por esse motivo antes da existência de um sistema ou alteração do mesmo, de modo a reduzir erros como falhas do sistema, surgimento de *bottlenecks* (engarrafamento de produtos na linha de produção), prevenção de sobreutilização de recursos ou subutilização dos mesmos tal como confere a possibilidade de otimizar o desempenho do sistema (Maria 1997). Uma limitação em certos modelos de simulação surge da componente humana que ao interagir no processo altera a performance do sistema. Na maioria dos casos, esta interação não pode ser quantificada e normalizada visto que depende de operador para operador e da ocasião de acordo com Robinson (2008). No entanto, o intuito de um modelo conceptual consiste na reprodução de *input-outputs* que representem o sistema num certo período de tempo com fiabilidade suficiente (Robinson 2008).

De uma forma simplificada, pode-se representar o modo de funcionamento da simulação como a figura 2-3 adaptada de Maria (1997).

Esta metodologia continua a ser seguida por autores como Seth e Gupta (2005) num estudo de caso na Índia de modo a satisfazer a procura de motociclos numa empresa local. No artigo publicado por Negahban e Smith (2014), pode-se observar que a mesma metodologia de Maria (1997) é utilizada ainda na década atual. De acordo com o artigo de Negahban e Smith, entre 2002 e 2013, foram publicados mais de 290 *papers* sobre a aplicação de simulação nos meios fabris em que cerca de 56% dos estudos são sobre a aplicação de sistemas de produção (onde a simulação é utilizada para fazer previsões para manutenção fabril), cerca de 24% dos artigos tratam do desenvolvimento de linguagem de simulação e finalmente 20% dos artigos expõem o *design* de sistemas de produção (em que programas de simulação são utilizados para otimizar técnicas de produção e resolver problemas de *design* fabril). Esta última categoria aparece em cada vez menos *papers* como se pode observar na figura 2-4.

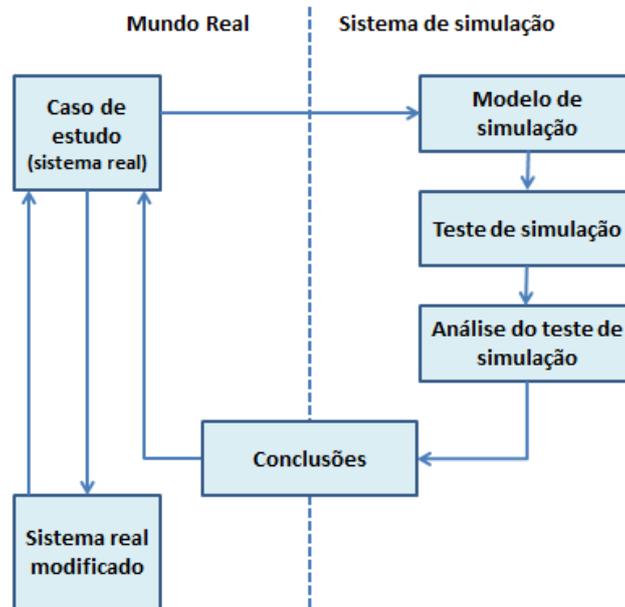


Figura 2-3 - Modo de funcionamento de um sistema de simulação.

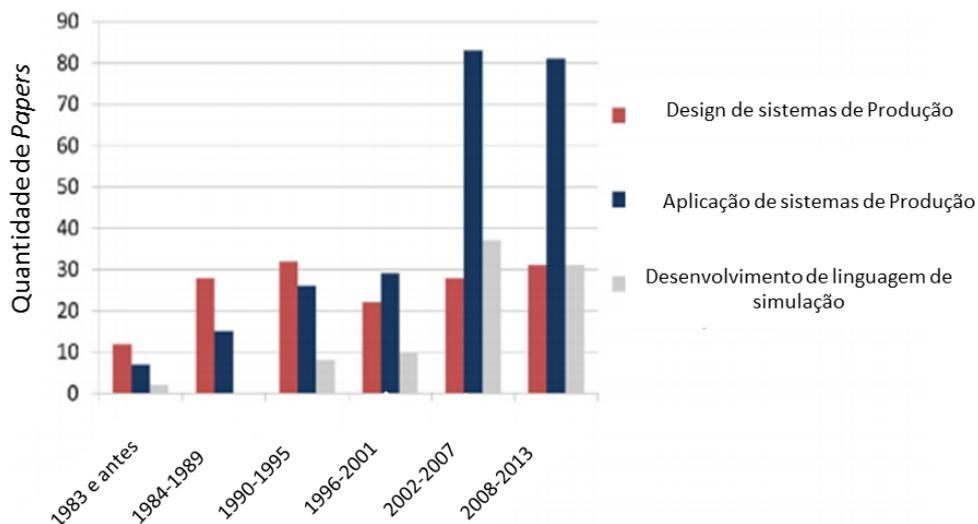


Figura 2-4 - Evolução das áreas de aplicação da simulação ao longo do tempo

Mesmo sendo menos referida, acaba por ser uma etapa importante na redução de custos de produção e na melhoria da eficiência de sistemas de acordo com Negahban e Smith (2014).

Vários autores focaram-se nos diferentes aspectos da melhoria de um sistema. Enquanto que Greasley (2008), Wang et al. (2008) e Altuntas e Selim (2012) usam a simulação para resolver problemas de áreas em meios fabris para alocar inventário, outros autores como Vasudevan et al (2010) usam a simulação para resolver problemas nas linhas fabris tais como *bottlenecks*, aproveitamento de espaço produtivo e medição de produtividade. Autores como Chan e Chan (2005) focam-se na avaliação de diferentes cenários a nível de alocação de máquinas estudando a utilização de cada máquina, tempos de espera e produtividade por linha. Observa-se que cada autor se foca em

pontos específicos no meio produtivo e que a utilização da simulação para estudar diferentes *layouts* é de interesse industrial após a decisão de alterar a disposição de linhas de produção.

## **2.6 Desenvolvimento de um modelo de simulação**

### **2.6.1 Formulação do problema**

A identificação do problema é o primeiro passo de qualquer projeto de simulação. Constitui-se uma equipa para desenvolver o modelo de simulação a pedido de um cliente num contexto fabril. Como os sistemas são normalmente complexos, é necessário saber limitar o que se pretende estudar. Para tal, de acordo com Carson e John (2004), é necessário que se estabeleçam três considerações importantes:

- Fronteiras de estudo do modelo:

É determinado o que se pretende estudar e o que deixa de ser relevante para a resolução do problema. Os sistemas normalmente são de grande dimensão e ao criar um modelo de um sistema complexo, torna-se difícil estudar o mesmo. Para tal, convém dividir as áreas de estudo e definir as fronteiras para se realizar o modelo.

- Nível de detalhe:

É necessário saber até que ponto é realmente importante detalhar o sistema. Por vezes, não é necessário acrescentar complexidade proveniente de detalhes de entidades, fluxos ou processos que não acrescentam informação relevante ao modelo, pelo que é necessário manter o modelo simples não deixando de ser representativo do sistema.

- Limite do projeto:

A noção de limite de projeto interliga-se com a primeira, visto que convém saber o que realmente é útil modelar para poder responder aos problemas e não tentar modelar partes do sistema que não acrescentam valor à resolução do problema.

E de acordo com Law (2003):

- O tempo mínimo necessário para o estudo ser realizado

Law acrescenta que o tempo necessário para o estudo tem de ser rapidamente estabelecido visto que os projetos de simulação consomem normalmente mais tempo que o estimado inicialmente. Isto ocorre visto que é comum surgirem imprevistos que levam à reformulação do modelo ou a recolha de dados é mais morosa que previsto e um dos principais erros cometidos reside no facto da equipa de simulação estimar mal o tempo e os recursos necessários para realizar o estudo (Law 2003).

### **2.6.2 Recolha de dados**

É necessário realizar uma recolha de dados do sistema e ajustá-los a distribuições probabilísticas caso os dados surjam de modo estocástico (Maria 1997). Programas de simulação, como o *software*

Arena, já contém a capacidade de ajustar dados a distribuições matemáticas pelo que apenas é necessário recolher amostras suficientes para tal.

Por vezes não é possível recolher dados, seja devido à escassez dos mesmos, ou porque exigem um tempo demasiado demorado para a sua recolha ou porque são subjetivos. No estudo de caso de Chen, Guinet e Ruiz (2015), em que se tenta modelar o tempo de evacuação de um hospital numa situação de cheias de águas (em que não existe registo histórico), não é possível ter uma recolha de dados pelo que é necessário fazer estimativas dos mesmos. Este método, tal como verificado em Carson e John (2004), aumenta a incerteza do *output* final e os dados devem ser revistos pela equipa de simulação e cliente final. Sempre que possível, é conveniente realizar uma recolha dos dados diretamente no sistema, pelo que, de acordo com Harpring et al. (2014), o ideal seria ter o local de trabalho de simulação dentro das instalações em contato com os operadores. Assim é possível testemunhar o sistema em tempo real e realizar inquéritos aos trabalhadores para a obtenção dos dados cuja recolha é impossível através da simples observação. No entanto, é possível ter como referência registos de dados, históricos de recolhas automáticas por parte de programas próprios das máquinas presentes no sistema, recolhas pontuais ou estimativas (Carson e John 2004). De acordo com Carson e John, é fulcral após a recolha de dados, verificar se os mesmos estão corretos e se não existem dados que possam não ser representativos do sistema.

### **2.6.3 Verificar o modelo conceptual**

De acordo com Law (2003), um dos passos, que é muitas vezes ignorado na modelação de um sistema, é a verificação do mesmo. É necessário rever, passo a passo, o modelo conceptual de modo a assegurar que os pressupostos realizados no mesmo são corretos e completos. Caso se descubram erros no modelo conceptual, é necessário resolver os mesmos antes de programar o modelo.

De acordo com (Maria 1997), a verificação do modelo é realizada durante a fase computacional que pode ter várias técnicas tais como rastrear passo a passo e observar se todas as entidades seguem o percurso esperado, verificar se o modelo não bloqueia devido à falta de atributos definidos, alterar os valores de *input* de modo a verificar se os *outputs* são plausíveis, substituir constantes por distribuições de probabilidades e verificar manualmente os resultados e animações. É interessante observar que, para Law (1993), a verificação é feita previamente ao desenvolvimento do modelo computacional enquanto Maria (1997) defende que a verificação é feita durante a concepção do modelo computacional. Enquanto Maria (1997) se foca em seis etapas para a formulação de um modelo de simulação, Law (2003) acredita que o ideal é separar uma simulação em sete passos com uma verificação prévia à programação, como podemos observar na figura 2-5.

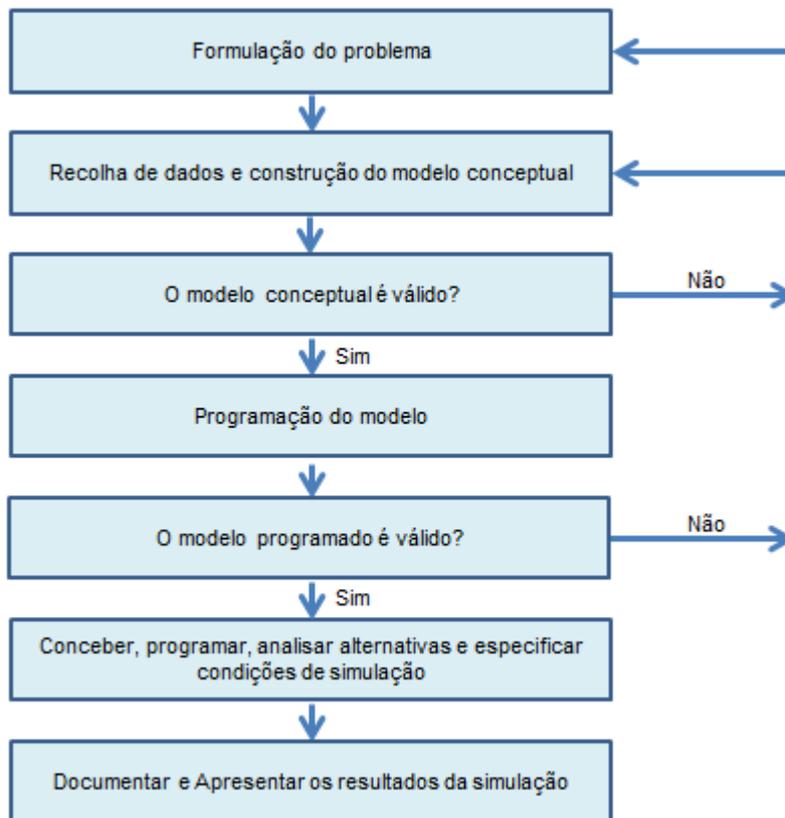


Figura 2-5 - Os sete passos indicados para se realizar um bom estudo de simulação

#### 2.6.4 Validar o Modelo

Na etapa de validação do modelo, existe um consenso entre os diversos autores em que defendem que este é feito após a verificação do modelo computacional funcionar de modo plausível. Na validação, comparam-se os resultados obtidos pelo modelo computacional com os do sistema real, isto se for possível. Tal como Sargent (2013) afirma, não existe nenhum procedimento geral para se validar um modelo visto que cada situação é diferente. Em alguns casos não existem dados disponíveis no sistema quando o modelo de simulação foi realizado e validado, no entanto uma nova validação deve ser realizada caso surjam novos dados ou o sistema se altere.

Caso existam dados e o modelo represente de forma fiel o sistema real, o modelo simulado diz-se válido e ganha credibilidade de acordo com Law (2004). De acordo com o mesmo, havendo ou não um sistema já existente com dados disponíveis para exercer uma comparação, a equipa de simulação pode comparar os resultados e caso os resultados surjam conforme o previsto, é suficiente para aferir que o modelo é válido. No entanto, Law (2000) partilha a ideia de que análises de sensibilidade deveriam ser realizadas para saber que fatores têm maior impacto no desempenho do modelo.

De acordo com Maria (1997), é conveniente realizar testes de inferência estatística e ter uma aprovação do modelo por parte de uma equipa devidamente qualificada para se poder validar de forma segura um modelo, o que permite aumentar a confiança do modelo. Para Carson e John

(2004), a realização de uma animação ou outro tipo de aferição visual pode complementar a análise de resultados finais e facilitar a validação do modelo para se perceber melhor o sistema real. Para Sargent (2009), existem três tipos de técnicas para validar um modelo.

- A equipa de desenvolvimento do modelo toma a decisão da validade do modelo baseada nos resultados de vários testes do modelo e ao longo do desenvolvimento do modelo.

- Um elemento terceiro à equipa de desenvolvimento do modelo determina a validade. Esta técnica é descrita como IV&V (Independent Verification and Validation) e é utilizada para conferir maior creditação ao estudo realizado.

- A utilização de pontuação. Ao utilizar este método, a equipa de desenvolvimento estabelece pontuações possíveis para cada critério do modelo e no momento de validar, se este apresentar uma soma de pontuações superior a um limite mínimo estabelecido pela equipa, o modelo é válido.

Diferentes técnicas para validar um modelo são utilizadas, no entanto cabe a cada equipa de desenvolvimento estabelecer o seu método. Porém, o modelo computacional na sua área de aplicabilidade tem de ter uma precisão consistente nos resultados depois obtidos no sistema (Sargent 2013).

### **2.6.5 Especificar as condições de uso**

Após validar o modelo, é necessário decidir quais os tempos de simulação adequados, período de aquecimento (*warm-up*) antes de se começar a recolher dados (algo normalmente utilizado em modelo em regime de *Steady-State*) e o número de replicações a realizar (Law, 2003). De acordo com Maria (1997), é necessário saber à partida se o sistema é do estilo estacionário (se as medidas de desempenho não se alteram com o tempo) ou não estacionário (se as medidas de desempenho se alteram com o tempo). Se o sistema for do estilo estacionário, normalmente, trata-se de um caso de comportamento *Steady-State*. As simulações podem ser divididas em simulações do estilo *terminating* ou não *terminating*. Uma simulação do estilo *terminating* inicia num determinado estado ou tempo e acaba quando atinge um estado definido ou determinado tempo. Se a simulação não for do estilo *terminating*, ou simulação com comportamento *Steady-State*, é uma simulação em que o foco é analisar o comportamento do sistema durante o período de *steady-state*.

### **2.6.6 Testar cenários diferentes e retirar conclusões da simulação**

Após a obtenção de um modelo verificado e validado com condições de uso especificadas, é possível realizar diferentes testes tais como análises de sensibilidade, comparação de cenários, simulações de Monte Carlo, etc. De acordo com Carson e John (2004), é comum o modelo inicial apresentar claramente o problema indicado pelo sistema real e, como a complexidade nem sempre permite identificar a causa, a solução mais comum é alterar medidas de desempenho do modelo ou adicionar recursos, formular hipóteses em vez de tentar identificar as causas do problema. O mesmo autor refere que normalmente os modelos de simulação são utilizados para comparar inúmeras alternativas diferentes e simplesmente no fim se começa a eliminar cenários e comparar apenas um número

reduzido de modelos de modo a propor um modelo que mais se ajuste com as necessidades do cliente.

Para se comparar os resultados obtidos entre os diferentes cenários, recorre-se tipicamente a testes de hipóteses de modo a saber se existem diferenças significativas entre os resultados dos vários cenários. Com o *software* Arena, também é possível realizar testes de análise do *output* com as ferramentas estatísticas Two Sample T test e Paired T test. Os testes permitem obter dados do intervalo de confiança da diferença de médias de dois modelos e assim verificar se existem diferenças estatísticas quanto às médias dos modelos (Law & Kelton, 1991).

## 2.7 Arena da Rockwell Simulation

O Arena (<https://www.arenasimulation.com/>) é um programa de simulação que combina a facilidade de utilização encontrada em simuladores de alto nível com a flexibilidade de linguagem de comunicação. O utilizador tem a opção de recorrer a diferentes módulos pré-definidos que estão agrupados de modo organizado e que permitam a facilidade de utilização em painéis. Ao utilizar os diferentes painéis, pode-se obter uma grande variedade de modelos de simulação com características próprias e diferentes. É comum utilizar-se módulos de painéis diferentes conferindo um sistema com características diferentes. Para além disto, o *software* Arena tem uma hierarquia de nível de esforço de programação em que o utilizador tem total flexibilidade em utilizar *blocos* e *elementos* de painéis diferentes para construir o modelo de simulação. Como podemos observar na figura 2-6 adaptada de Kelton (2002), existe para diferentes tipos de necessidades do modelo, opções de simulação variadas.

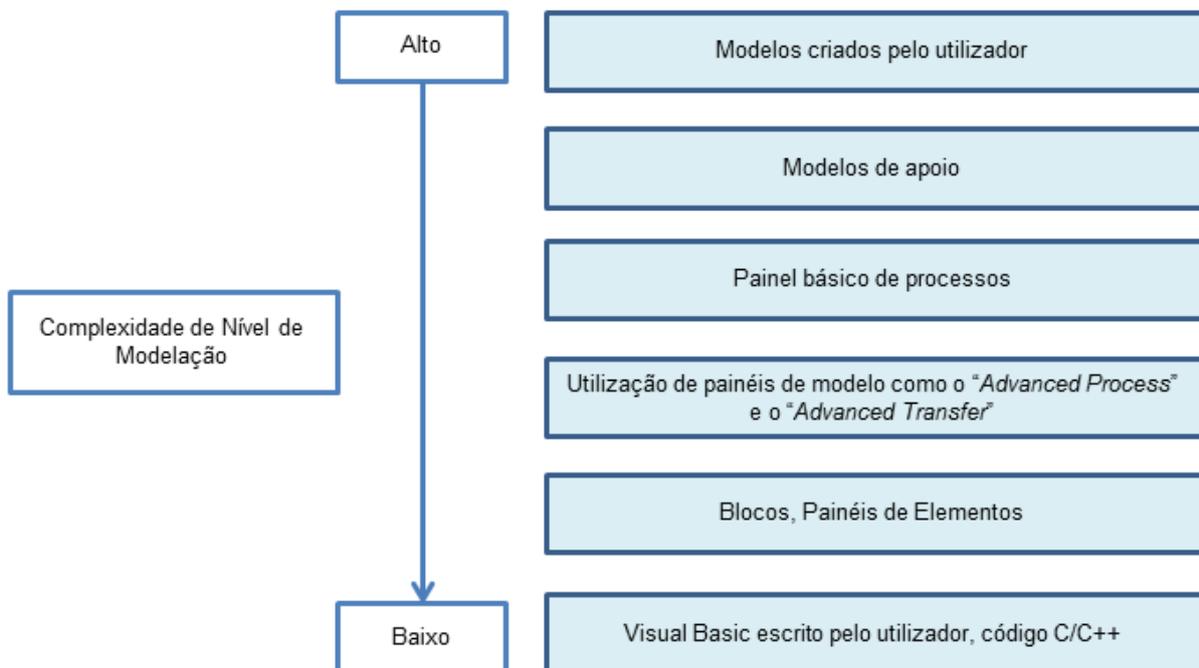


Figura 2-6 - Hierarquia estrutural do Arena.

Uma das características interessantes do programa Arena é a possibilidade de incluir uma animação dinâmica do sistema final, uma característica que é prática para apresentar o sistema modelado a

indivíduos externos à sua concepção. Tal permite facilitar a compreensão do que foi efetuado e permitir à equipa de simulação observar com detalhe os fluxos do sistema.

Existem três ferramentas disponíveis no programa Arena que são o *Input Analyzer*, o *Output Analyzer* e o *Process Analyzer*. Estas permitem estudar o *Input* e *Output* de uma forma simples e com fundamento estatístico.

### 2.7.1 *Input Analyzer*

Para ajustar dados de uma amostra numa distribuição probabilística, existe a ferramenta *Input Analyzer* do Arena. O utilizador pode ajustar os dados recolhidos no sistema real a uma distribuição de probabilidades em específico ao utilizar o *Input Analyzer* (escolhe uma função de distribuição e a ferramenta ajusta os dados à função correspondente), no entanto o utilizador também tem a possibilidade de inserir os dados no sistema e a ferramenta ajusta à distribuição probabilística mais adequada. Na tabela 2-2, estão representadas as diferentes distribuições de probabilidade suportadas pela ferramenta, o nome de código no programa e os parâmetros utilizados (Altiok e Melamed, 2010).

Tabela 2-2 Distribuições de probabilidade suportadas pelo programa Arena

Distribuições	Código no Arena	Parâmetros no Arena
Exponencial	EXPO	Mean
Normal	NORM	Mean, StdDev
Triangular	TRIA	Min, Mode, Max
Uniforme	UNIF	Min, Max
Erlang	ERLA	ExpoMean
Beta	BETA	Beta, Alpha
Gama	GAMM	Beta, Alpha
Johnson	JOHN	G, D, L, X
Log-normal	LOGN	LogMean, LogStdDev
Poisson	POIS	Mean
Weibull	WEIB	Beta, Alpha
Contínua	CONT	PI, VI, ...
Discreta	DISC	PI, VI, ...

### 2.7.2 *Output Analyzer*

O *Output Analyzer* é uma ferramenta do programa Arena que permite realizar uma análise estatística de replicações do *output* do modelo. Cada simulação realizada com o *software* Arena pode ser replicada “N” vezes e é possível, ao utilizar-se o módulo *Statistic* ou *Reccord*, obter um histórico dos dados das diferentes replicações e com a ferramenta *Output Analyser* é possível manipular, analisar os históricos e obter uma análise estatística (Altiok e Melamed 2010).

### **2.7.3 Process Analyzer**

Esta ferramenta permite correr um modelo várias vezes com diferentes características de *input* inicial e no fim comparar os resultados do desempenho de cada cenário simulado. Assim, é possível perceber o impacto que cada alteração de parâmetros tem no comportamento do sistema (denominado de análise de sensibilidade) de modo a saber qual o cenário que mais se adequa com as exigências impostas inicialmente na formulação do problema. As características iniciais que o utilizador pode alterar são variadas e podem ser simplesmente recursos ou variáveis de ordem diferente ou até mesmo adição de módulos dos painéis existentes.

## **2.8. Relatório do projeto**

Após o sistema ter sido modelado, simulado com recurso a um programa de computador e analisado, as conclusões acerca do mesmo devem constar num relatório organizado e de simples compreensão para indivíduos com pouco conhecimento do programa, normalmente o cliente final (Altiok e Melamed 2010). É de notar que, na maior parte dos casos, os clientes de modelos de simulação são constituídos por equipas de gestão que não possuem conhecimento técnico de linguagem utilizada nos modelos de simulação e necessitam de informação clara e concisa.

Um relatório de projeto é constituído normalmente pelas etapas previamente citadas neste capítulo e normalmente são expostas em subtópicos como os seguintes:

- Capa de cobertura em que está incluído o título do projeto (para posterior arquivo), nome dos autores tal como a data de publicação e todos os contatos dos mesmos.
- Sumário em que se resume o problema estudado tais como as conclusões sobre o modelo
- Índice de conteúdo, isto é, de títulos, figuras e tabelas presentes no relatório tal como as páginas onde as mesmas estão localizadas.
- Introdução, em que é relatado a historicidade correspondente ao estudo do caso, os objetivos do projeto e os problemas a serem resolvidos.
- Descrição do sistema, em que está detalhado o sistema a ser estudado e com detalhes relevantes para o problema
- Análise do *Input*, em que se descreve a informação (dados) recolhida do sistema caso exista e a respectiva distribuição de probabilidades a que se ajusta caso não se trate de dados constantes e determinísticos.
- Descrição do modelo de simulação, em que se descreve a abordagem à modelação do sistema, as fronteiras ou limites de modelação do mesmo, os seus componentes e fluxo de operações. Nesta fase, certos detalhes importantes não podem ser omissos nem colocados se não conferem valor para o modelo.
- Verificação e Validação, um passo essencial que permite dar credibilidade ao modelo computacional e eventualmente aos dados e conclusões retiradas. Na fase de verificação é necessário responder se

o sistema modelado replica o sistema real e se fornece informação para se estudar o modelo. Na fase de validação é necessário poder concluir que os dados fornecidos pelo modelo são os dados obtidos no sistema real.

- Análise do *Output*, em que é relatado os dados obtidos pelo modelo de simulação, as especificações de simulação tal como a quantidade de replicações efetuadas e uma análise estatística das observações obtidas.
- Resultados da simulação, em que se apresenta um sumário dos cenários replicados simulados.
- Cenários de melhoria do sistema, em que se sugere um cenário mais adequado às exigências do cliente ou que resolva o problema inicialmente exposto. Normalmente visa a aumentar a produtividade do sistema ou reduzir custos existentes.
- Conclusões e recomendações onde se sumariza as conclusões do estudo e as possíveis melhorias do sistema.
- Anexos, onde pode ser apresentada informação relevante, mas que fica pouco conveniente ser exposta no corpo do relatório (normalmente por apenas consistir em dados ou fluxogramas demasiado extensos, etc.).

Obviamente que o relatório pode conter uma diferente estrutura e cabe à equipa de simulação adequar o relatório às necessidades do cliente ou política interna.

## 2.9 Síntese

As metodologias e ferramentas *lean*, são utilizadas de forma eficaz para ter sistemas produtivos mais eficientes e com menos desperdícios na linha de produção. Como metodologias relevantes para a dissertação podemos referir o *Value Stream Mapping* que em combinação com duas metodologias *lean*, que são o *Takt Time* e a identificação de *Muda*, foi possível representar a situação real da empresa e identificar desperdícios presentes nas linhas de produção. Como complemento às metodologias *lean* temos a simulação computacional. A simulação de sistemas reais surge da necessidade de melhorar a produtividade ou reduzir custos de produção. É necessário identificar e resolver problemas, isto com uma recolha e análise de dados existentes (*input*) e tratamento de dados obtidos através da simulação (*output*). A menos que se trate de observações determinísticas, os dados devem ser estudados e sustentados com análises estatísticas e, para tal, o simulador *Arena* fornece as ferramentas essenciais. A complexidade do modelo efetuado é aumentada progressivamente e acompanhada por verificação e validação dos modelos de forma sequencial até se obter um modelo de simulação representativo do sistema em estudo. O modelo irá assim permitir resolver os problemas que não seriam facilmente resolvidos de forma analítica.

### **3. Caracterização do estudo de caso**

No capítulo que se segue, são descritos, de uma forma breve, o surgimento e evolução de produção de palhinhas para bebidas alimentícias e a importância das mesmas no mercado global. Também são apresentados os obstáculos que a TPTP enfrenta e que ferramentas são utilizadas num meio fabril para poder eliminar desperdícios de produção e assim aumentar a competitividade. Finalmente, faz-se a descrição do estudo de caso em questão. Apresenta-se inicialmente de uma forma concisa a empresa onde se aplica o estudo e os motivos da existência do mesmo.

#### **3.1 Contextualização**

##### **3.1.1 Metodologia de estudo de caso**

Um estudo de caso é, de acordo com Johansson (2003), um caso que é o objeto de estudo. O caso deve ser uma unidade de funcionamento complexa, deve ser investigado no seu contexto natural, com uma multiplicidade de métodos e ser contemporâneo. Este método, de acordo com Fidel (1984), é um método específico de pesquisa de campo e os estudos de campo são investigações de fenómenos à medida que ocorrem e sem qualquer interferência significativa do investigador. Ponte (2006) considera que se trata de uma investigação que se debruça deliberadamente sobre uma situação específica que se supõe ser especial e procura-se descobrir o que há nela de mais essencial e característico de modo a contribuir para a compreensão global de um certo fenómeno de interesse.

Na presente dissertação é exposto o caso de estudo de uma linha de produção de palhinhas na Tetra Pak Tubex Portugal. A linha em questão tem uma procura e método de processamento diferente das restantes linhas de produção. O processamento diferente origina uma formação de maior quantidade de WIP em relação às restantes linhas por esse motivo esta situação específica será investigada de modo a entender o problema e tentar resolvê-lo. Para tal é feita uma recolha de dados dos tempos de ciclo de cada máquina da linha de produção com recurso aos métodos disponíveis (cronómetro, leitura de velocidade de máquinas) para além de entrevistas informais com os operadores.

##### **3.1.2 A Tetra Pak**

A Tetra Pak foi fundada pelo sueco Ruben Rausing, no início da década de 1950, com o lema de que “uma embalagem deveria proteger mais do que os custos da mesma”, começando por proteger leite e gradualmente adaptando-se a diferentes tipos de embalagens alimentícias tais como sumos de fruta e bebidas. Hoje em dia, o grupo Tetra Pak está presente em 42 instalações de produção palhinhas pelo mundo de modo a servir 175 países com soluções de processamento, embalagem, linhas de distribuição e soluções para manufatura de produtos alimentícios. A cada dia, mais de 500 milhões de embalagens Tetra Pak são vendidos mundialmente e a fábrica de palhinhas de Lisboa, uma empresa de complemento de *additional materials*, está presente no 4º maior mercado para embalagens Tetra Pak (mercado português e espanhol na figura 3-1).

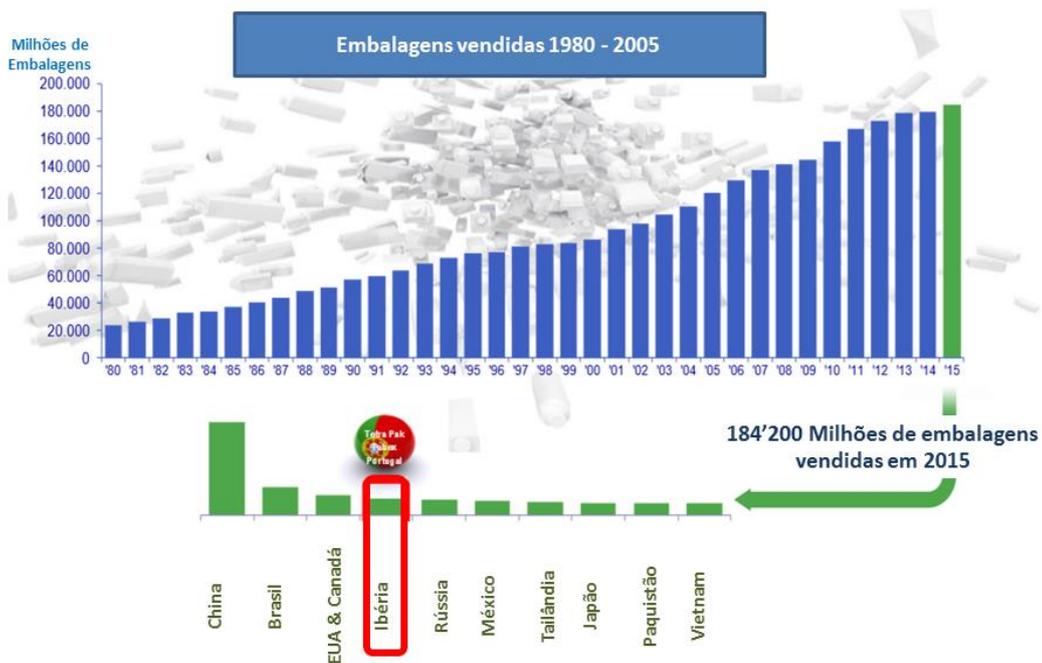


Figura 3-1- Vendas de embalagens Tetra Pak por cluster ao longo do tempo

### 3.1.3 Organização global

A Tetra Pak está dividida em 5 *clusters* geográficos e a organização é constituída por 4 grupos operacionais que consistem em Operações comerciais, Desenvolvimento e Operações de apoio, Serviços de Cadeia de Abastecimento e Sistemas de Processamento.

Dentro destes grupos, a unidade de Serviços de Cadeia de Abastecimento tem a responsabilidade de produção e fornecimento de embalagens, materiais complementares e equipamento de capital sendo que o sector de *Straw business* (Produção de palhinhas) faz parte dos *Additional Materials* constituído por 12 fábricas localizadas em diferentes locais no Mundo como visualizado na figura 3-2.

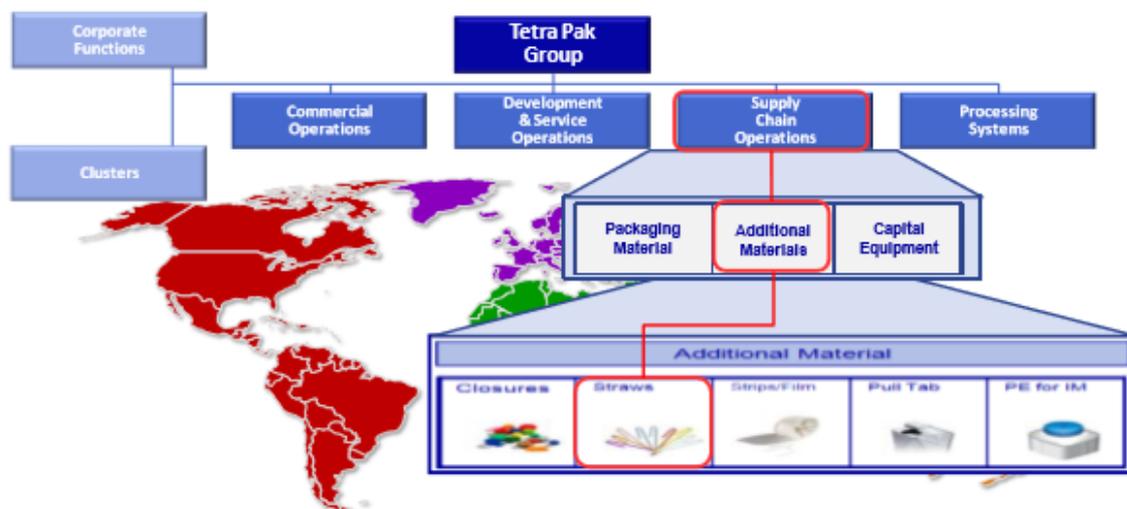


Figura 3-2 - Estrutura organizacional da Tetra Pak

### 3.2 WCM na Tetra Pak Tubex Portugal

O *World Class Manufacturing* (WCM), é uma metodologia de TPM introduzida nas fábricas Tetra Pak a partir do final da década de 1990 e foi expandida para as restantes unidades do grupo. De facto, o WCM está presente na organização da empresa desde 2008 numa estrutura em pilares compostos por indivíduos com destaque nas diferentes áreas que interagem entre eles de forma contínua para aumentar a produtividade da empresa.

O volume de produção tem acompanhado a evolução do mercado e o número de empregados foi reduzido tal como a quantidade de horas de trabalho semanais passando a reger um ciclo de apenas cinco dias por semana e com 37 empregados. De facto, a produção de volume de palhinhas na TPTP aumentou consideravelmente nos primeiros 20 anos de existência, atingindo um pico máximo de 5 mil milhões de palhinhas produzidas em 2006. No entanto, desde 2010, a competitividade no sector de venda de palhinhas e a diminuição de consumo destes produtos no mercado da TPTP obrigou a alterações estratégicas. Por esse motivo, foi transferida parte da produção para fábricas gémeas da TPTP noutras localizações geográficas e parte do sustento da fábrica adveio de formações e *outsourcing*.

Para aumentar a produtividade da fábrica, foi necessário reduzir todas as perdas possíveis e reduzir os custos de produção, uma característica da filosofia do WCM. Esta mudança de estratégia permitiu aumentar em 12% o volume de vendas e levou a que se aprofundasse mais na implementação da filosofia na fábrica como se observa na figura 3-3.



Figura 3-3 - Mercado e volume de vendas da TPTP

O WCM acaba por ser um percurso de uma filosofia que permitiu aumentar consideravelmente as vendas em Espanha e Itália ao reduzir os custos de produção e aumentar a qualidade do produto final (menor quantidade de defeitos). Cinco grandes clientes adquiridos desde então permitiram

aumentar em 50% o volume de vendas em 3 anos, no entanto a WCM é uma filosofia que requer um planeamento como se pode observar na figura 3-4.

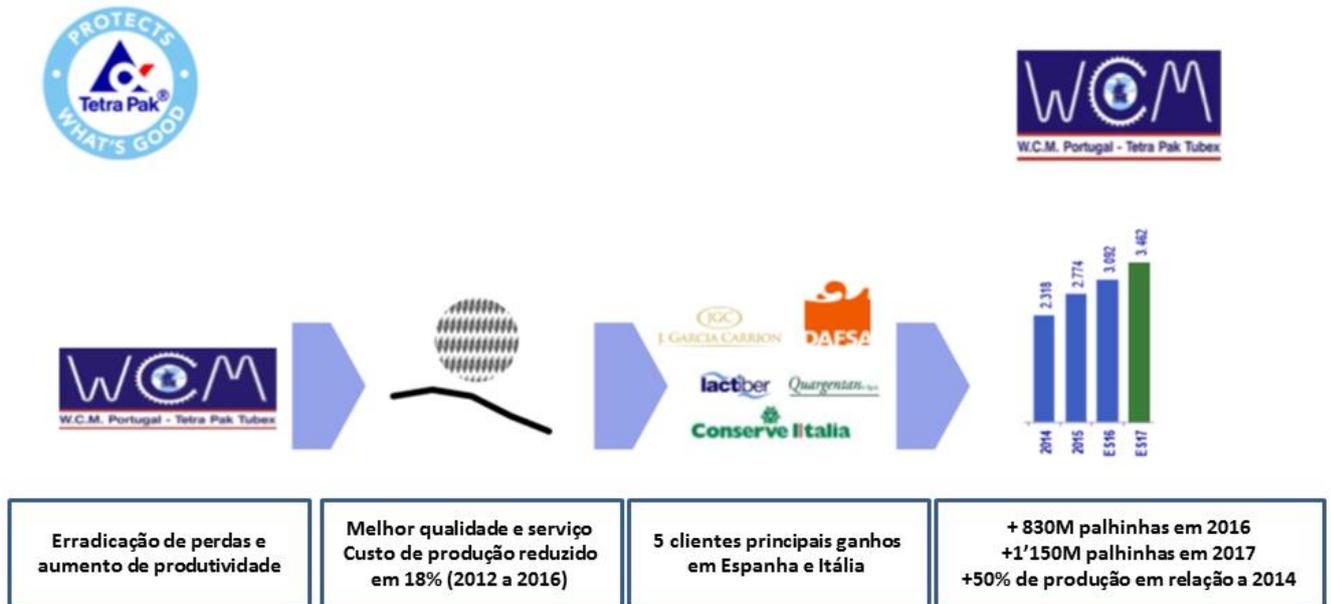


Figura 3-4 - Ciclo de melhoria contínua impulsionado pelo WCM

As atividades de WCM têm um impacto considerável no crescimento da TPTP ao reduzir as perdas e ao otimizar a forma como se utiliza os recursos presentes na fábrica. Como se pode ver na figura 3-5, houve uma redução de desperdícios, uma melhoria de utilização dos recursos e uma diminuição dos custos de produção. No entanto, é necessário ter uma cultura organizacional de melhoria contínua de modo a sustentar a ambição da empresa.

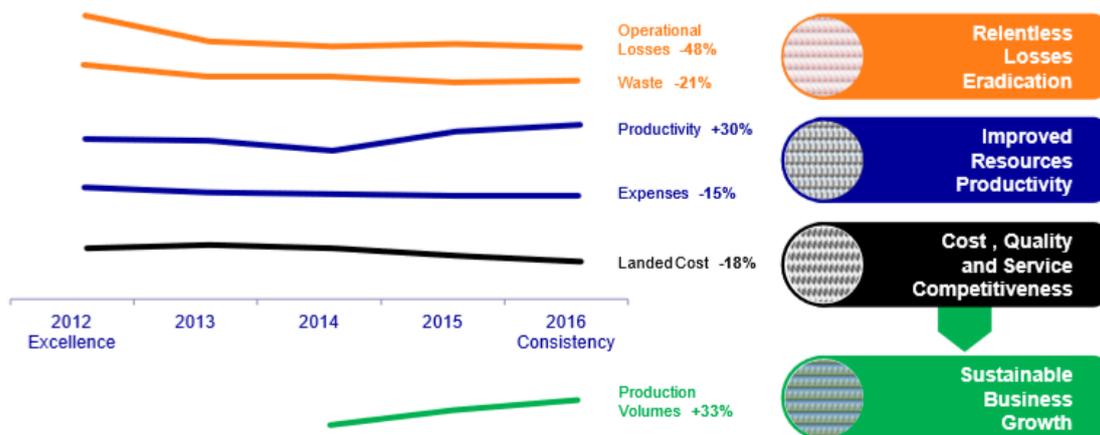


Figura 3-5 - Impacto do WCM no crescimento do negócio

### 3.3 Contextualização do problema

A Tetra Pak Tubex Portugal atua na produção de palhinhas para bebidas alimentícias; trata-se da última e única fábrica na Europa Ocidental de produção de palhinhas do grupo e tem uma das maiores capacidades de abastecimento de mercados europeus. Dentro das instalações existem nove linhas de produção e são produzidos três tipos de palhinha, as palhinhas Straight (palhinhas direitas com apenas uma linha de produção), as palhinhas em “U” (palhinhas em forma de U com sete linhas de produção) e as palhinhas Sensory (palhinhas em forma de U e zona bucal inovadora, com uma linha de produção). Embora os três tipos de palhinhas tenham um processo em comum (que é a extrusão de produto), estas divergem nas restantes etapas. Após a extrusão, a máquina “*SU-Machine*” confere uma forma diferente a cada palhinha (esta etapa designa-se de *forming*), em seguida a *Doctor Z-Folder* espalha as palhinhas em movimentos em “Z” dentro da caixa final que um operador embala com fita-cola.

Em 2017, uma das linhas de produção possui exigências próprias por parte do cliente e a sua produção tem um tempo de ciclo (TC) maior. A produção é mais lenta numa fase do processo, a do embalagem, e o ritmo não tem o mesmo tempo de ciclo do resto da produção (ver figura 3-6). Tendo em conta o espaço limitado de produção nas instalações, as máquinas são ajustadas de forma a produzir a maior quantidade de produto em menos tempo dentro das limitações impostas (o número de máquinas dentro da fábrica permanece o mesmo).

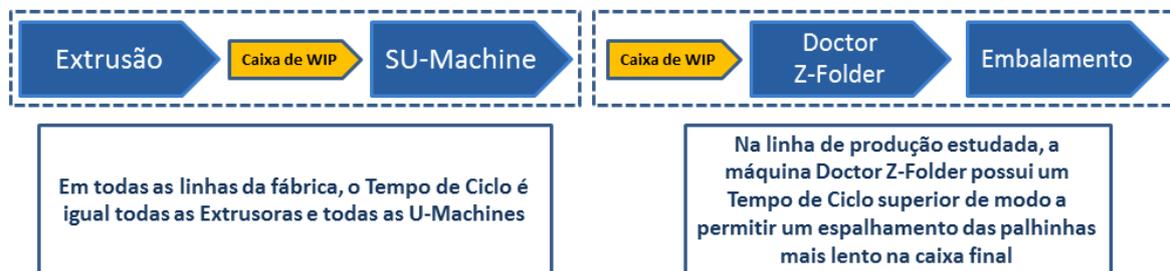


Figura 3-6 - Diferença no tempo de ciclo entre processos

A desaceleração na segunda fase do processo (algo que apenas ocorre na linha em questão), provoca uma dessincronização entre as fases de processos e gera um aumento de WIP entre as fases. Esta desaceleração ocorre visto que a máquina Doctor Z-Folder, ao ter um tempo de ciclo maior, permite minimizar a presença de defeitos e também permite ter uma alocação do produto final na caixa de embalagem mais organizada de modo a obter as palhinhas todas alinhadas e com menos área vazia. Na figura 3.7, pode-se observar as duas partes da máquina D-ZF. Numa primeira fase, existe a Doctor, um mecanismo de deteção de defeitos nas palhinhas com um sensor e na segunda fase existe a Z-Folder que recolhe as palhinhas e as coloca na caixa de embalagem como se pode observar na figura 3-7. As duas partes são mecanismos diferentes, mas que pertencem à mesma máquina.

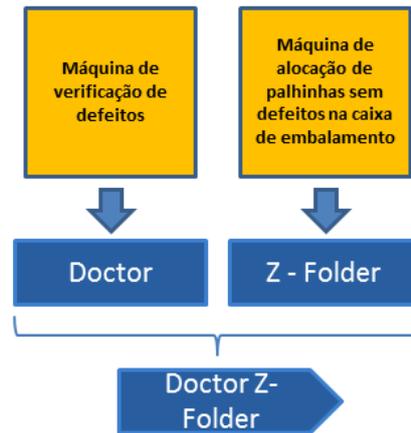


Figura 3-7 Constituição da Máquina Doctor Z-Folder

No entanto, a acumulação de *WIP* na linha fabril apenas se justifica entre a fase de *forming* (*SU-machines*) e a fase de verificação de defeitos onde há um aumento de tempo de ciclo em relação às restantes linhas. O surgimento de *WIP* entre a fase de extrusão e a fase de *forming* não deve ocorrer visto que tanto uma como a outra têm tempos de ciclo idênticos e a linha de produção foi planeada de modo a que um acumular de *stock* não seja possível.

Devido à competição do mercado e à importância que a linha em questão representa, existe a necessidade de a tornar mais eficiente para que o processo flua e não haja interrupções que possam levar à perda de clientes. A implementação da filosofia *WCM* (adaptação da filosofia *lean* no contexto Tetra Pak) nas linhas de produção levou à presença de outras metodologias provenientes da filosofia *lean*, no entanto o próximo passo consiste em alterar a configuração do *layout* fabril atual. Na impossibilidade de reduzir a distância das máquinas de toda a linha, recorre-se a uma ferramenta de simulação para avaliar cenários alternativos antes de se completar a mudança de *layout* (que implica um forte investimento financeiro). Por esse motivo, é necessário procurar uma solução que permita reduzir a quantidade de *WIP* na linha de produção com os recursos disponíveis na fábrica. Qualquer quantidade de *WIP* reduzida permite atingir progressivamente a meta de Zero desperdícios da fábrica e é do interesse da gestão que tal ocorra.

### 3.4 Descrição dos produtos

Na empresa TPTP são produzidos três tipos de palhinhas:

- a palhinha *Straight* (direita);
- a palhinha *U-Straw* (palhinha em forma de U) ;
- a palhinha *Sensory* (palhinha em forma de U, mas com dois furos na zona bucal e uma ponta selada).

Pode-se observar na figura 3-8 os diferentes tipos de palhinhas produzidos pela TPTP e a palhinha telescópica que é produzida na Tailândia, no entanto distribuída pela TPTP.



Figura 3-8 - Diferentes tipos de palhinha produzidos pela TPTP

A palhinha *Straight*, após a extrusão, é diretamente embalada. A *Sensory* e *U-Straw* passam por um processo dito de *forming* que lhe dá a forma em U e acrescenta dois furos na zona bucal nas palhinhas *Sensory*. Após este processo são verificadas quanto à existência de defeitos e em seguida são embaladas. Na figura 3-9, pode-se observar o processo de produção de palhinhas desde a extrusão ao embalamento.

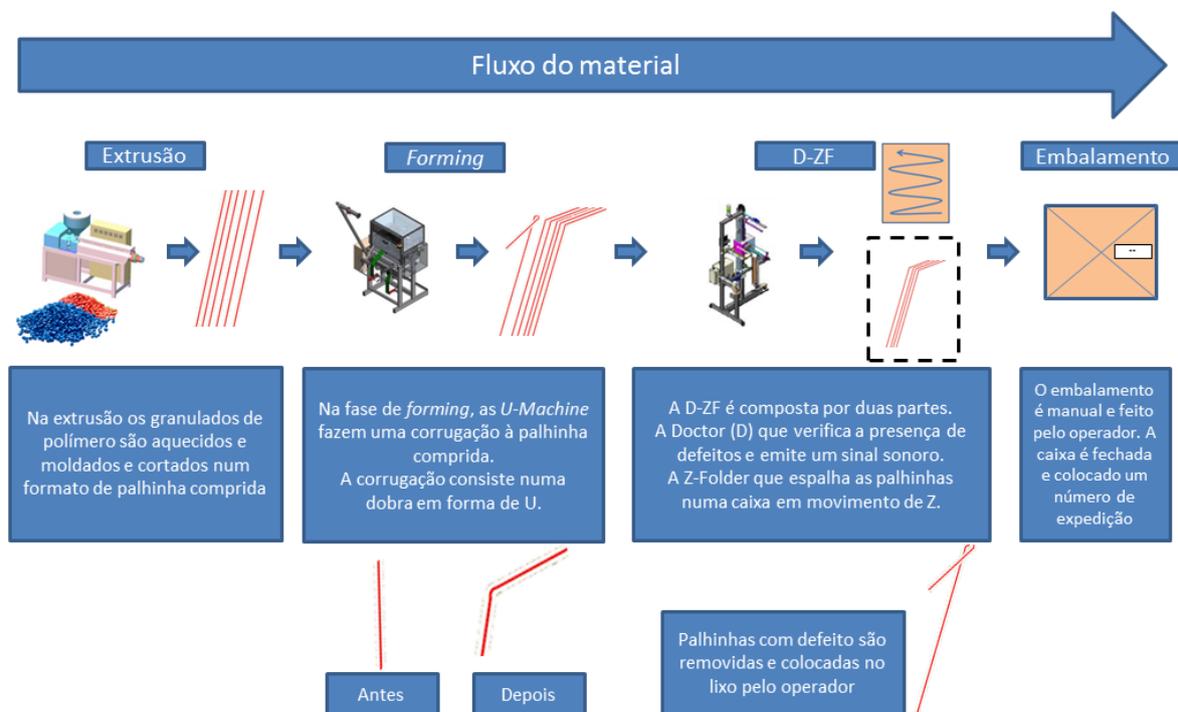


Figura 3-9 - Processo de produção de palhinhas

O trabalho desenvolvido nesta dissertação diz respeito a um tipo de palhinhas que, por motivos de confidencialidade, iremos denominar de 162x5 (162mm de comprimento por 5mm de diâmetro). Este tipo de palhinhas representa o maior volume produzido na fábrica, sendo assim uma prioridade melhorar o processo produtivo das linhas de produção de palhinhas 162x5 antes de implementar medidas de aumento de produtividade nas restantes linhas.

A produção de palhinhas 162x5 está dividida em três linhas às quais iremos atribuir o nome de A, B e C. Na figura 3-10, pode-se observar as diferentes características de cada linha.

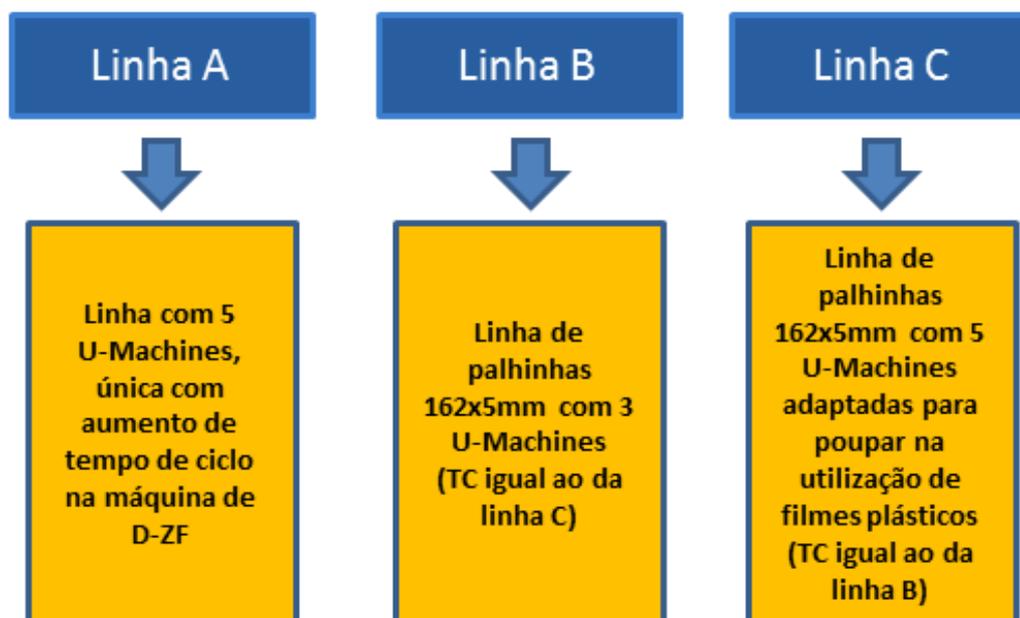


Figura 3-10 - Constituição das linhas fabris da família de palhinhas 162x5mm

A linha A abastece apenas um cliente, que tem exigências especiais quanto ao tipo de embalagem, o que requer um maior cuidado por parte dos operadores na preparação da mesma. Esta linha, ao ser a única com TC de embalagem superior, torna-a mais lenta que as linhas B e C, que produzem exatamente o mesmo tipo de produto. No entanto, a linha C está adaptada para funcionar com palhinhas sem filme plástico de ligação (invólucro) entre as mesmas, que é alocado na fase de extrusão. A linha B segue o mesmo padrão de produção utilizado para as restantes palhinhas da fábrica, com um polímero de ligação envolvente (invólucro).

### 3.5 Descrição das etapas de processo

Toda a produção de palhinhas é assegurada pelas instalações da Tetra Pak Tubex Portugal e na figura 3-11, que não se encontra à escala real, é possível observar a organização do processo fabril.



Por este motivo, o intervalo de tempo entre transportes consecutivos apenas tem influência durante o arranque da produção visto que após o arranque existe sempre uma zona de espera onde aguardam lotes (caixas) com palhinhas extrusadas e onde se acumulam até haver disponibilidade numa *U-Machine* (máquina de *forming*). As máquinas de *forming*, ao terem um tempo de ciclo superior à fase de extrusão (logo processam menos palhinhas por hora que a máquina de extrusão), permitem que não haja máquinas com falta de produto nesta fase. Como se pode observar na figura 3-12, é possível perceber como é gerida a área de *forming* e a zona dedicada à acumulação de WIP.

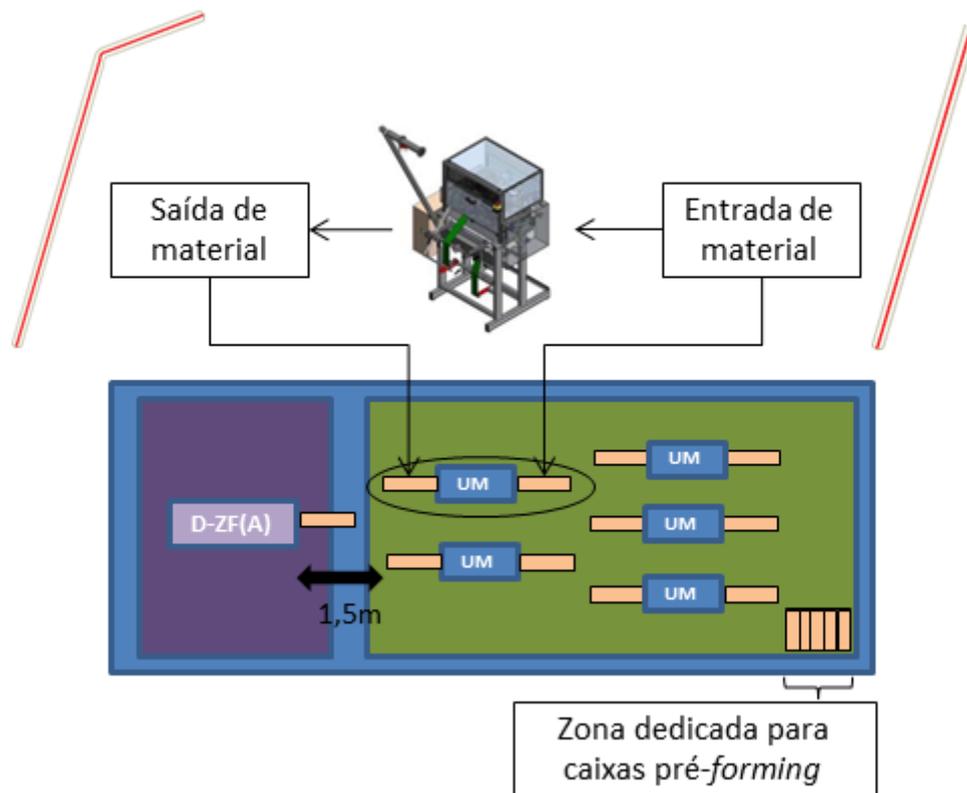


Figura 3-12 - Organização da área de *forming* numa linha de produção

Após o processo de *forming*, existe a formação de um novo lote de palhinhas. O produto já possui a forma final e está selado num filme próprio, sendo necessário passar pelo processo de verificação de defeitos e embalagem. Estes dois processos são contíguos visto que a máquina que verifica a existência de defeitos, a *Doctor* está acoplada à *Z-Folder* (Zona a roxo representado pela sigla D-ZF (A)) sendo que as palhinhas sem defeito são espalhadas num movimento em Z para dentro de uma caixa de cartão. Nesta fase, devido à ocorrência de defeitos, a máquina emite um alerta visual e o operador remove a palhinha defeituosa e quantos mais defeitos existirem, maior a probabilidade de se acumularem novos lotes à entrada da máquina. No entanto, existem poucas paragens visto que o operador presente tem a tarefa de tornar o processo contínuo. O produto é em seguida espalhado na caixa de cartão como se pode observar na figura 3-13.

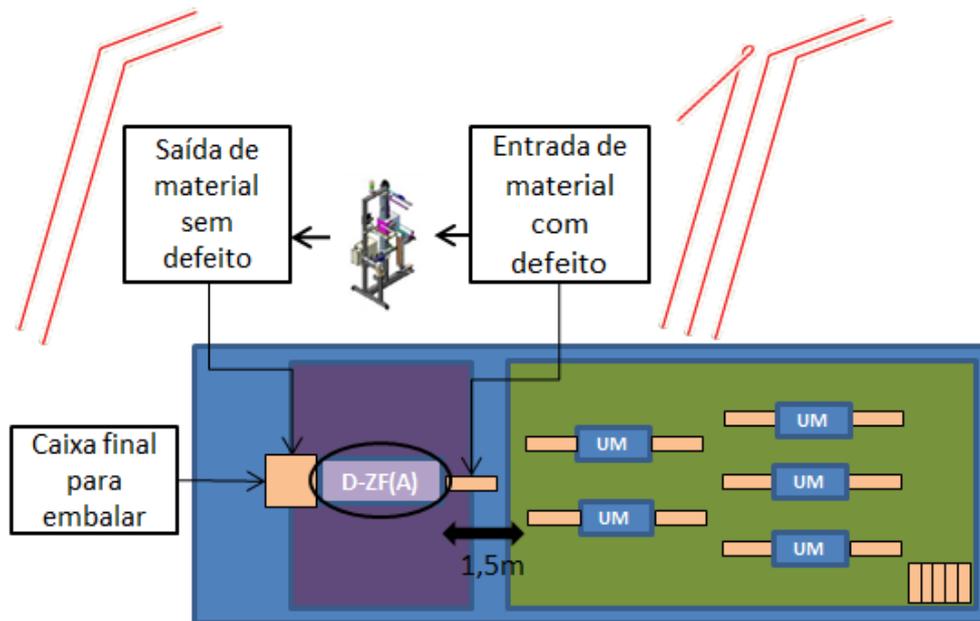


Figura 3-13 - Organização da área de DZ-F/Embalamento numa linha de produção

A fase final é o embalamento manual. Este embalamento segue um tempo ritmado, no entanto as caixas apenas são embaladas quando o operador está livre. Enquanto que toda a produção é feita com um fluxo constante, independente dos restantes processos fabris, o processo de embalamento depende da ocupação do operador. O operador encarregue de embalar as caixas finais é o mesmo que está presente na área de *forming* e de verificação de defeitos, ficando encarregue de vigiar o processo de 6 máquinas no total. A caixa final possui uma capacidade de armazenamento igual a 3 caixas de saída da zona de *forming*, o que permite ao operador de apenas embalar quando não está ocupado com outro processo. São necessárias quatro caixas da fase *Doctor Z-Folder* para que possa haver pedido de expedição por parte de um comboio automático. Por esse motivo, existe um espaço dedicado para as caixas finais ficarem retidas enquanto o lote de quatro não estiver completo, como observado na figura 3-14.

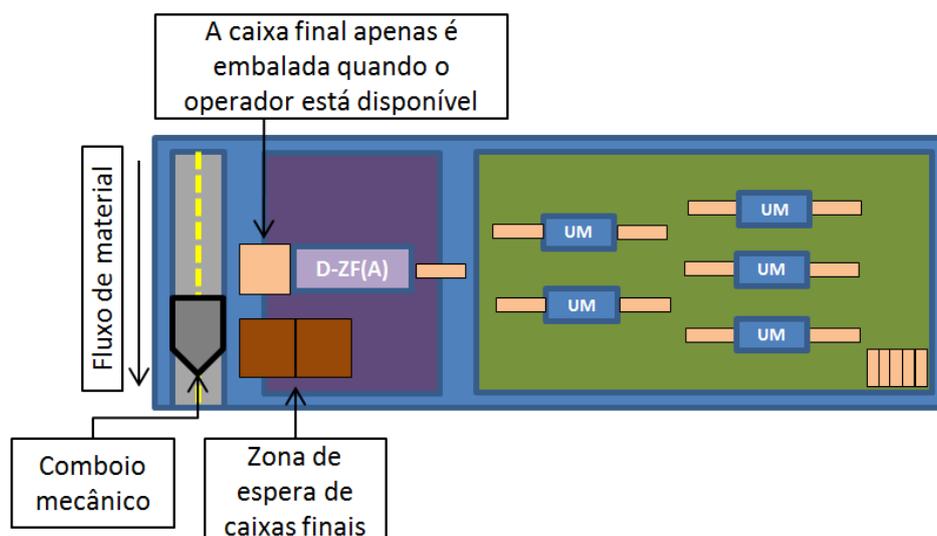


Figura 3-14 - Representação do processo pós-embalamento numa linha de produção

Foi observado que o aumento de tempo de ciclo do espalhamento de palhinhas na caixa final presente na linha A, para além de tornar a linha mais lenta, aumenta a quantidade de WIP (*Work in Progress*) em duas fases de produção da mesma. Existe um WIP acentuado entre a fase de Extrusão e *Forming* e entre a fase de *Forming* e a D-ZF. A acumulação de WIP também ocorre na presença de avarias de máquinas nas linhas B e C, entre outras linhas, no entanto apenas está sempre presente entre a Extrusão e o processo de *Forming*.

Por esse motivo, a empresa decidiu agir sobre a eliminação ou redução da quantidade de WIP existente entre as fases de processo visto que a presença excessiva (entende-se por excessiva uma quantidade superior a uma caixa por máquina) vai contra os princípios de gestão *lean*, uma filosofia respeitada no mundo Tetra Pak (em que o nome atribuído é de WCM).

### **3.6 Value Stream Mapping da família de palhinhas 162x5mm**

Para obter dados concretos quanto à quantidade de WIP e tempos de ciclo de cada processo fabril foi necessário realizar um levantamento de dados na área de produção através da observação individual de cada processo e cronometragem do respetivo tempo de ciclo. Cada processo foi observado individualmente em turnos diferentes até somar 30 observações (Shapiro&Wilk, 1965), ao fim das quais se registou o valor obtido. Complementa-se a observação, registando o valor indicado no velocímetro de cada máquina para averiguar se ambos são idênticos.

Foi tomada a iniciativa de realizar um VSM a família de palhinhas 162x5 que abrange as linhas A, B e C. No entanto, as três linhas da família de palhinhas estudada têm tempos de ciclo diferentes em certas etapas, nomeadamente a etapa de *Doctor-Z-Folder*. Esta situação envolve uma problemática. Como nem os tempos de ciclo, nem a frequência de encomendas são idênticos, é de um certo modo incorreto analisar as três linhas da mesma família de produtos como um todo para a realização de um VSM. Por este motivo e para fins académicos, foi decidido fazer um levantamento individual de dados e um VSM especial para a linha A (representado na figura 3-14.) e um segundo para a linha B juntamente com a C (representado na figura 3-15.). Isto porque a linha A abastece um cliente com necessidades especiais que requer um embalamento mais cuidado e consequentemente mais demorado como já referido anteriormente e as linhas B e C abastecem ambas o mesmo cliente. Na figura 3.15 e 3.16 não estão figurados os dados reais registados por observação dos processos, mas estão apresentados valores mascarados através de um algoritmo por motivos de confidencialidade.

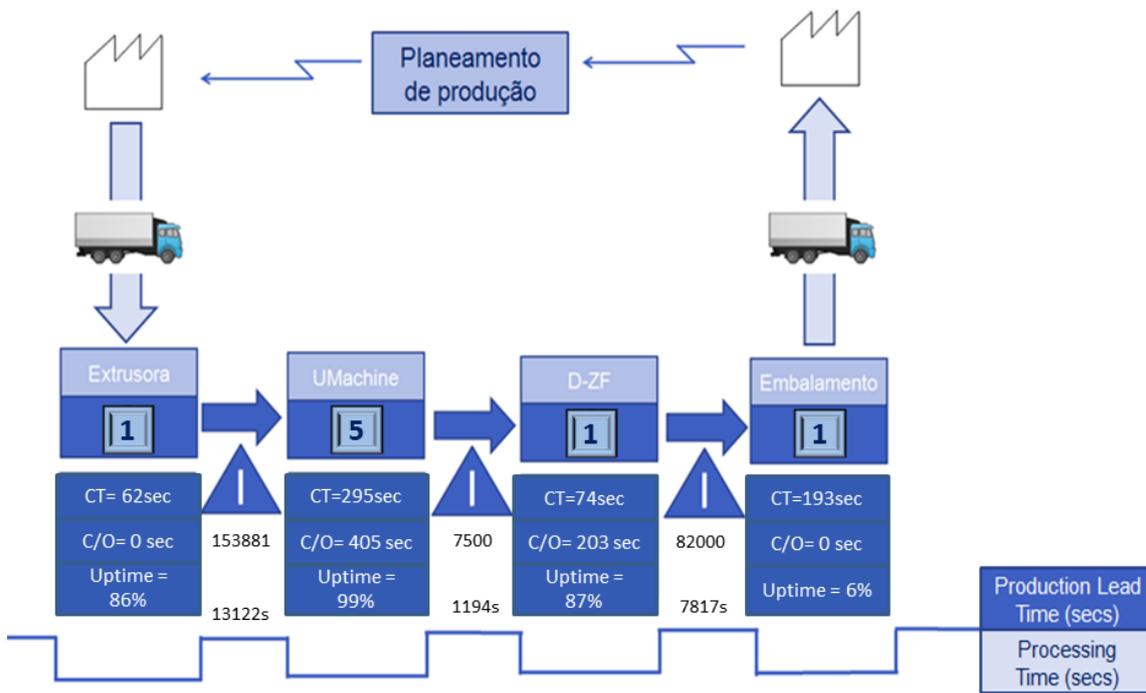


Figura 3-15 - Value Stream Map da linha A

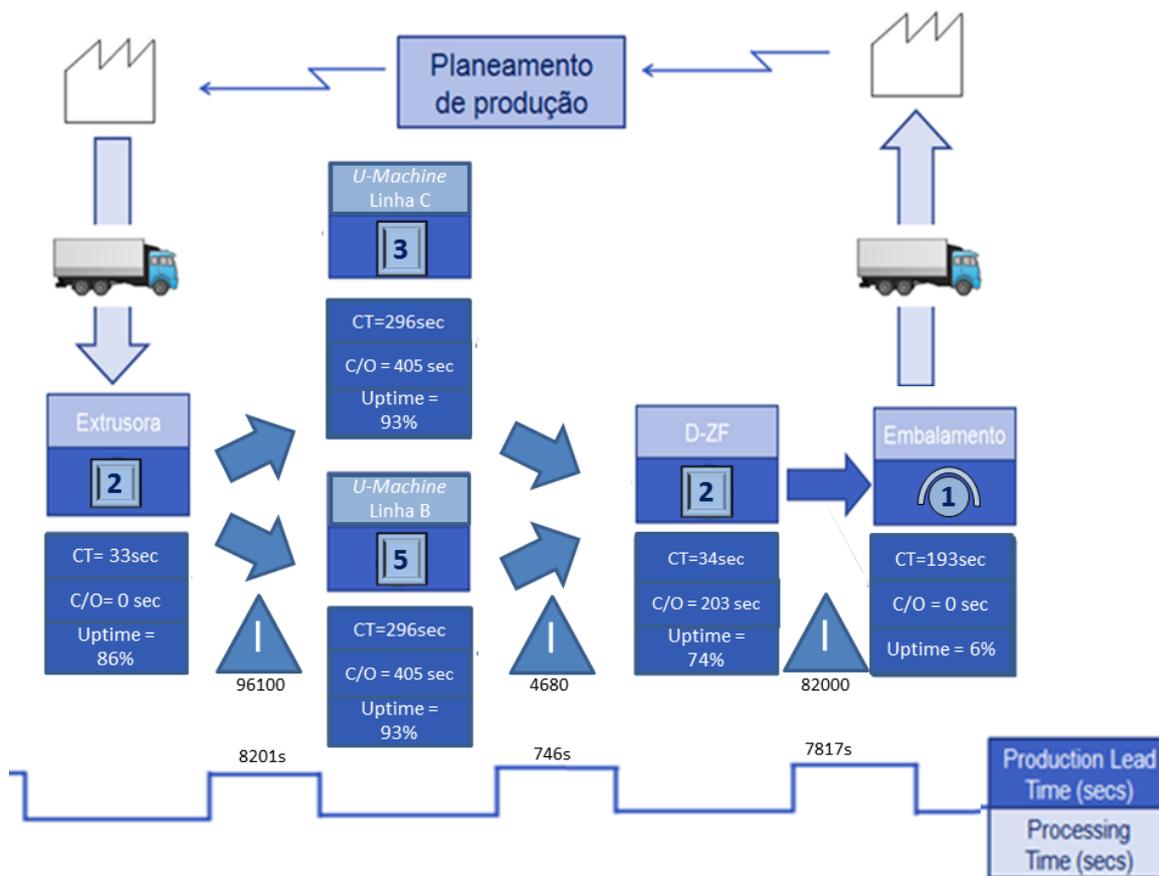


Figura 3-16 - Value Stream Map da Linha B&C

Após ser realizado o *Value Stream Mapping*, conseguiu-se averiguar que para a família de palhinhas 162x5mm, o *Lead Time* da linha A é 35,4 vezes superior ao tempo de valor acrescentado enquanto que na linha B&C é 19.7 vezes superior. Isto deve-se ao facto de as palhinhas serem acondicionadas e transportadas em lotes e enquanto o lote não é preenchido, existe um largo tempo de espera em que não se acrescenta valor para as palhinhas que já estão presentes. Do mesmo modo, os lotes permanecem nas filas de espera sob a forma de WIP e existe um *lead time* acumulado. Esta situação levou a que se realizasse um estudo do *takt time* de modo a perceber se o inventário presente no armazém é suficiente para suprir um possível aumento de pedidos de palhinhas ou se implica a longo prazo o requerimento de produto de outras fábricas.

### 3.7 Recolha e análise de dados

A recolha de dados nas instalações da TPTP foi efetuada de duas formas:

- Registo histórico efetuado por um estagiário no primeiro trimestre de 2017.
- Recolha de dados no local durante a concepção do modelo conceptual de simulação.

Os dados foram recolhidos presencialmente com recurso a um cronómetro, papel e caneta. Também foi pedido a chefes de turno e operários uma confirmação oral acerca do funcionamento das máquinas de modo a conferir se o primeiro trimestre de 2017 teve um funcionamento igual ao verificado nos trimestres anteriores.

Por motivos de confidencialidade não serão apresentados os dados recolhidos, no entanto foram calculados os tempos médios e desvio padrão de uma amostra de 30 observações para as máquinas que constam na tabela 3-1.

Tabela 3-1 Número de máquinas estudadas por linha de produção

		Máquina		
		Extrusora	U-Machine	D-ZF
Linha	Linha A	1	5	1
	Linha B	1	3	1
	Linha C	1	5	1

Devido à baixa variabilidade do processo, os dados têm um desvio padrão inferior a 1 segundo em todos os casos. A produção é contínua e os operários não têm influência no seu modo de funcionamento. Tendo em conta que o método de observação é manual, pode-se assumir que o desvio padrão resulta de erros de observação durante a recolha de dados e não do processo em si. De modo a verificar a velocidade real de produção, as máquinas possuem um contador digital de impulsos que regista a velocidade de produção. Na tabela 3-2, estão representados valores de tempo de ciclo das máquinas da linha de produção estudada para se produzir 1000 unidades de palhinha, não sendo dados reais visto estarem modificados com um algoritmo. Nesta tabela, na coluna da

esquerda da categoria de “*U-Machine*” pode-se observar a velocidade atual das *U-Machine* que possuem tempos de ciclo diferentes devido a uma perda de eficiência das máquinas desde o momento da compra. Numa segunda coluna pode-se observar o tempo de ciclo das máquinas após estas serem ajustadas a uma velocidade igual para todas, de modo a produzirem com o mesmo tempo de ciclo que corresponde à velocidade máxima possível para um bom funcionamento e corresponde igualmente à velocidade inicial da data em que foram adquiridas (de acordo com as fichas técnicas do equipamento).

Tabela 3-2 Velocidade de processamento de 1000 palhinhas por cada máquina antes e depois do ajuste.

		Máquina			
		Extrusora	<i>U-Machine</i>		D-ZF
Linha	Linha A	62s	Velocidade atual	Velocidade após o ajuste	74s
			304s	310s	
			287s	310s	
			290s	310s	
			310s	310s	
	285s	310s			
	Linha B	62s	Antes	Depois	68s
			295s	310s	
			288s	310s	
	300s	310s			
Linha C	70s	Antes	Depois	68s	
		301s	310s		
		285s	310s		
		282s	310s		
		308s	310s		
289s	310s				

### 3.8 Takt Time da família de palhinhas 162x5mm

De modo a averiguar se o *lead time* influencia a velocidade de produção para abastecer as necessidades dos clientes, foi decidido realizar um estudo sobre o mesmo. Para tal, foi necessário identificar qual a procura mensal de palhinhas da família 162x5mm, uma informação disponível através do registo por computador.

O segundo passo foi o de identificar a quantidade de horas disponíveis de trabalho existentes num mês, retirando paragens intencionais de fábrica (realizadas no início do ano de modo a expedir inventário presente nos armazéns da fábrica), pelo que se utiliza o OEE para estimar este valor. Tendo os dois valores, podemos calcular o *Takt Time* da procura com a equação 1 apresentada na secção 2.3.

Realiza-se o mesmo procedimento para saber o *takt time* da Produção. A Tetra Pak Tubex Portugal consegue ter um registo detalhado da quantidade de palhinhas da família 162x5mm produzidas mensalmente, pelo que se usam os dados da produção para o mesmo espaço temporal realizado para o *takt time* da procura e divide-se pelo tempo mensal de produção disponível. No entanto, para a

produção, utiliza-se as horas de produção real sem contar com os dias perdidos devido a paragens intencionais por parte da equipa de gestão. As paragens intencionais não devem ser utilizadas visto que não revelam o real potencial fabril e capacidade de adaptação a períodos de pedidos de encomenda mais intensivos. Após realizar os dois estudos de *takt time*, é necessário comparar os dois casos, como foi realizado na tabela 3-3 (com um algoritmo de modo a manter o sigilo).

Tabela 3-3 *Takt Time* da família de palhinhas 162x5mm da TPTP

	Produção em unidades por mês	Procura em unidades por mês	<i>Takt Time</i> da produção	<i>Takt Time</i> da procura
U 162X5mm	79 000 000	85 000 000	16,69 sec	17,89 sec

Este procedimento foi realizado individualmente para cada linha, visto que o estudo de caso recai principalmente sobre linha A que faz parte da família de palhinhas 162x5mm. Todas as linhas têm um *takt time* de produção inferior ao *takt time* da procura pelo que a fábrica consegue suprir as necessidades dos clientes.

Durante o período de estudo, houve uma paragem intencional de produção de modo a remover produto em excesso de armazém. Esta paragem intencional explica o facto do *takt time* de produção ser inferior ao *takt time* da procura havendo uma quantidade de unidades produzidas por mês inferior à quantidade de unidades encomendadas por mês, no entanto em condições normais não haveria essa necessidade de parar a produção,...

Como se pode observar na figura 3-17, a presença de inventário em excesso começa no armazém com paletes inutilizadas e na figura 3-18 podemos observar a presença de WIP (palhinhas saídas da fase de extrusão e em *stand-by* até serem moldadas na fase de *forming* pelas *U-Machines*) no meio de produção.



Figura 3-17 - Exemplo de WIP presente no armazém da TPTP

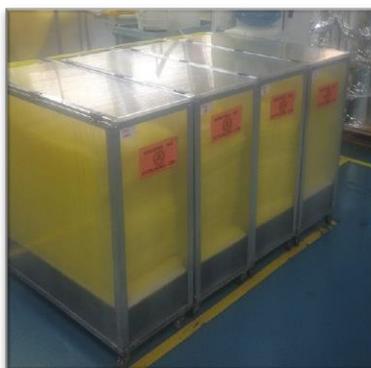


Figura 3-18 - Exemplo de WIP presente na área fabril da TPTP

A presença deste tipo de situações representa o caso de desperdícios referidos como *muda* do capítulo 2.4 e a sua eliminação é fundamental para reduzir os tempos de *lead time* e assim o *takt time* de produção, tornando a mais *lean*.

Na TPTP, foi realizado uma auditoria interna na fábrica de modo a identificar os diferentes tipos de muda existentes, pelo que se identificou todos os tipos de *muda* (excesso de produção, defeitos, transporte desnecessário, mau processamento, inventário, espera, excesso de movimentos para realizar um procedimento e a não utilização da sabedoria do operador), e o planeamento da sua remoção foi agendado, mas não foi efetuado em 2017. Como a presente dissertação tem como enfoque a linha A de produção de palhinhas, focamos-nos no *muda* com maior prioridade de remoção determinado pela equipa de gestão da empresa que se trata do WIP existente, a sua presença pode ser observada sob a forma de *lead time* no VSM realizado no capítulo 3.

### 3.9 Recursos e a sua programação

No caso da linha A (linha em estudo), existem dois tipos de recursos que são as máquinas e os trabalhadores.

Na área da extrusão existe um operador que controla a saída de caixas da extrusora. Este recurso, embora não se dedique unicamente a uma extrusora, mas sim a toda as extrusoras presentes, não tem controlo na velocidade da máquina. A extrusora funciona a um ritmo constante pelo que o operador não tem influência no tempo de ciclo da máquina em questão.

Na célula de *forming* existe um conjunto de máquinas que são operadas por um único operador. Este também está alocado à área de verificação e embalagem (área de *Doctor-ZFolder*). O recurso homem nesta fase apenas tem influência no embalagem visto que é a única etapa que é realizada manualmente; este processo apenas é realizado quando existe tempo livre na operação de deslocação de caixas entre as duas fases do processo. Como podemos observar, tanto na etapa da extrusão como no *Forming* e D-ZF, o operador age apenas como vector de transporte de caixas e não tem qualquer influência na velocidade das máquinas presentes. Por este motivo, o processo tem um tempo de ciclo constante, correspondente à velocidade da máquina em questão.

O operador tem, no entanto, o direito de parar máquinas na zona do *forming* caso exista um *bottleneck* (surgimento de uma quantidade de material superior ao que a máquina é capaz de processar) considerável entre esta fase e a seguinte; o mesmo se passa entre a fase de extrusão e *forming*. As máquinas são geralmente paradas apenas quando o WIP atinge um limite imposto (número elevado para que a produção possa continuar a ser abastecida durante várias horas em certos casos).

Por outro lado, nas linhas B e C, existe uma produção de cerca de 51% do volume produzido de palhinhas de toda a família 162x5mm. Estas linhas em conjunto possuem quase o dobro de recursos materiais como se pode observar na tabela 3-4 (dados modificados por um algoritmo por motivos de confidencialidade).

Tabela 3-4 Recursos materiais por linha da família de palhinhas 162x5mm

Linha 162x5mm	Quantidade de máquinas de extrusão	Quantidade de máquinas de <i>Forming</i>	Quantidade de máquinas de <i>Doctor Z-Folder</i>	Unidades produzidas por mês
A	1	5	1	38 710 000
B&C	2	8	2	40 290 000

De facto, nestas duas linhas que operam em conjunto, existe o dobro de extrusoras, quase o dobro de máquinas de *forming* e o dobro de máquinas D-ZF, mas apenas um operador. Esta situação leva a que nas linhas B&C exista uma menor quantidade de WIP (por haver mais máquinas para a mesma quantidade de palhinhas a entrar no sistema) entre as diferentes fases e, por vezes, há falta de matéria-prima na *Doctor-Z-Folder*. Tendo em conta que todas as máquinas de *forming* estão a funcionar a velocidades idênticas (em ambas as linhas) e sabendo que as linhas B&C produzem 51% da produção mensal da família 162x5mm com 60% de capacidade superior à linha A, é possível perceber que existe uma alocação incorreta de recursos.

### 3.10 Síntese

Uma apresentação do grupo Tetra Pak desde a sua organização global até à fábrica portuguesa de palhinhas permitiu contextualizar melhor o estudo de caso da presente dissertação, tal como as metodologias lean presentes no grupo. Foram descritos os diferentes produtos produzidos na fábrica tal como as diferentes fases de processo e aspectos a melhorar, isto é, a redução de WIP.

Com o intuito da empresa em ter uma produção mais lean ao remover o WIP de uma das linhas de produção, foi realizado um VSM da família de palhinhas estudada e considerada mais crítica devido ao grande volume de produção.

Verifica-se que o recurso humano não tem influência nos tempos de ciclo das máquinas e consequentemente na linha de produção. Este age apenas como um recurso que transporta material

entre as diferentes máquinas e, tendo em conta que se acumula WIP entre todas as fases, a influência do operador no *Lead Time* total acaba por não existir e os tempos de ciclo são constantes.

Verifica-se que um ponto a corrigir é o desequilíbrio na alocação de recursos materiais dentro da família de palhinhas 162x5mn que não é justificada visto que todas as máquinas têm o mesmo modo de funcionamento e as velocidades podem ser reguladas. Esta situação pode representar uma oportunidade de melhoria para a produtividade da empresa, no entanto a deslocação de máquinas tem de ser bem estudada visto que representa custos consideráveis num orçamento apertado (contratação de mão de obra, alteração de sistema eléctrico, pintura de solos, fragilidade de máquinas, etc.).

Assim, é necessário simular diferentes cenários alternativos com deslocações de máquinas U-M e Doctor Z-Folder da família de palhinhas 162x5mm de modo a encontrar um cenário que permita reduzir o WIP existente na linha A.



## 4. Sistema atual

Expõe-se neste capítulo o modelo representativo do processo atual. Começa-se por identificar os pressupostos do modelo a desenvolver e a partir dos pressupostos é elaborado o modelo conceptual, seguido do modelo computacional que será verificado e validado. É utilizado o *software* Arena para implementação do modelo de simulação, uma vez que o mesmo está disponível nas instalações da Faculdade de Ciências e Tecnologias e por dominar a sua utilização.

### 4.1 Desenvolvimento do modelo de simulação

O modelo de simulação resulta, do VSM realizado anteriormente. Nele foi esquematizada a linha de produção e foram recolhidos dados acerca do tempo de ciclo de cada processo, bem como as quantidades movimentadas do início ao fim. Para desenvolver o modelo de simulação será, no entanto, necessário analisar separadamente o tempo de ciclo de cada máquina da fase de *forming*.

#### 4.1.1 Pressupostos

No modelo computacional existem alguns pressupostos a ter em consideração:

- Em todas as operações, não se considera o operador visto que, durante o decorrer das operações, o *lead time* e tempos de ciclo dos processos apenas são dependentes da atividade das máquinas. A única fase onde o operador é essencial é no embalamento que apenas é realizado quando existe tempo disponível, pelo que não tem influência no tempo de ciclo dos processos anteriores;
- Quando um trabalhador se ausenta do local de trabalho, as operações são asseguradas por um colega ou chefe de turno, pelo que um dia tem 24h seguidas de trabalho;
- O tempo de movimentação de caixas entre as diferentes fases não tem influência no sistema, devido ao facto de existir WIP como mencionado anteriormente, pelo que se atribui um tempo de 1sec;
- O sistema é do tipo *Terminating*. No final de cada semana é parada a produção visto que a fábrica apenas funciona durante os dias úteis.

#### 4.1.2 Desenvolvimento do modelo de simulação do sistema atual

Após desenvolver o fluxograma das linhas de produção da família de palhinhas 162x5mm, reproduz-se o modelo conceptual do processo como se pode observar na figura 4-1. Numa primeira fase está representada, com um número 1, as tarefas realizadas pelo operador da área de extrusão enquanto que na segunda fase, representada com um número 2, está exposto o fluxograma das tarefas realizadas pelo operador das máquinas de *forming*, *Doctor Z-Folder* e embalamento.

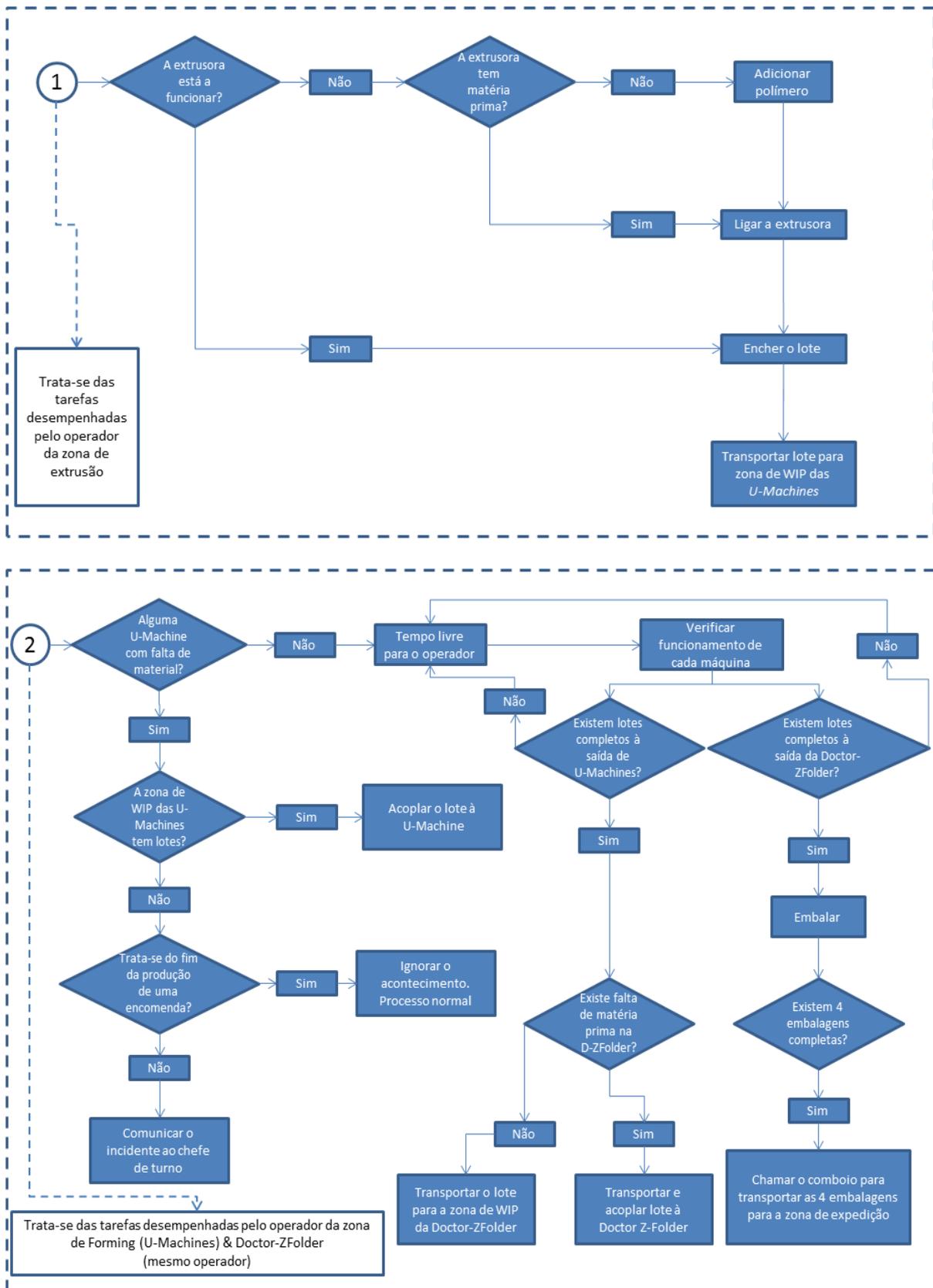


Figura 4-1 Modelo conceptual da linha de produção da família de palhinhas 162x5mm

Com o modelo conceptual realizado, é possível fazer o modelo computacional. Tendo em conta que a quantidade de máquinas não é a mesma para as três linhas, fez-se três modelos computacionais diferentes. Sendo que na figura 4-2 está representado o modelo da linha A (modelo que está no enfoque do estudo de caso), na figura 4-3, está representado o modelo da linha B e, na figura 4-4, está representado o modelo da linha C.

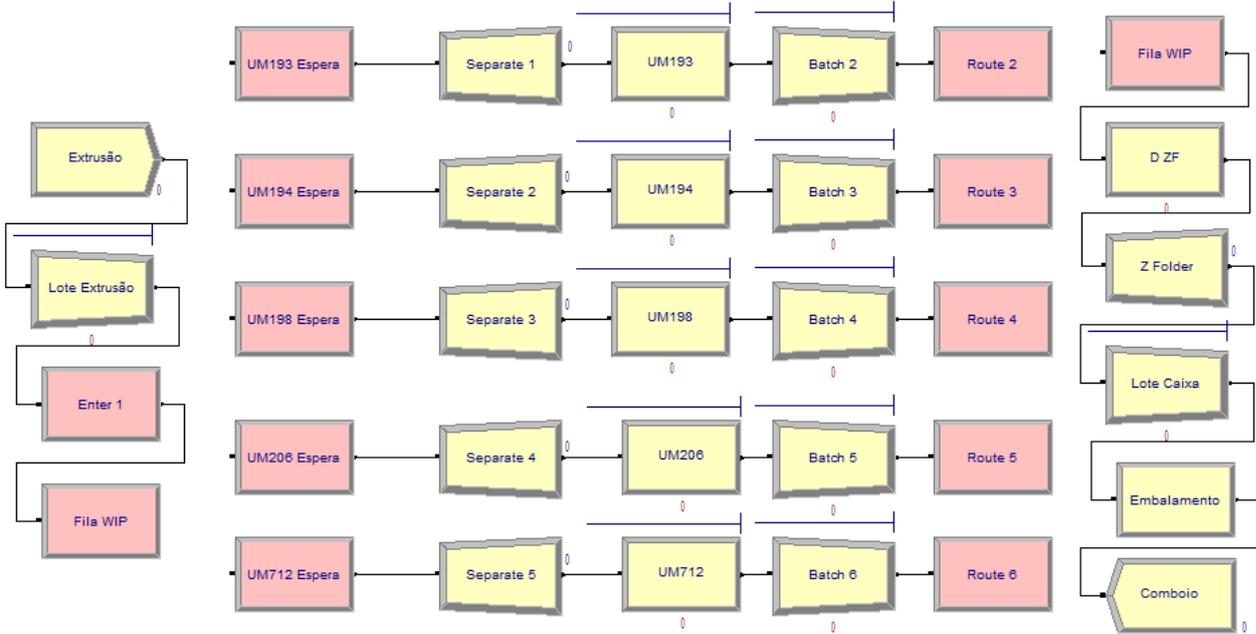


Figura 4-2 - Modelo Computacional da linha de produção A da família de palhinhas 162x5mm

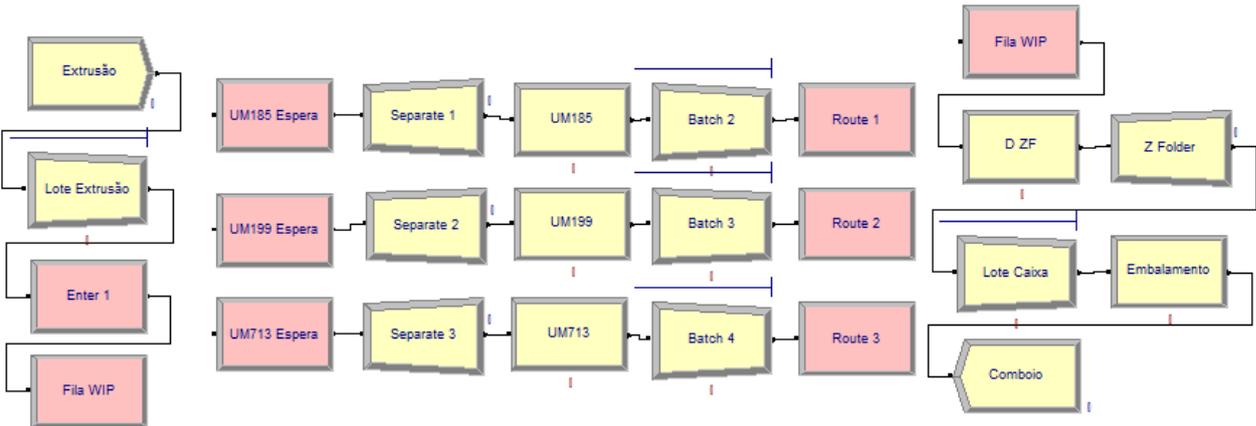


Figura 4-3 - Modelo Computacional da linha de produção B da família de palhinhas 162x5mm

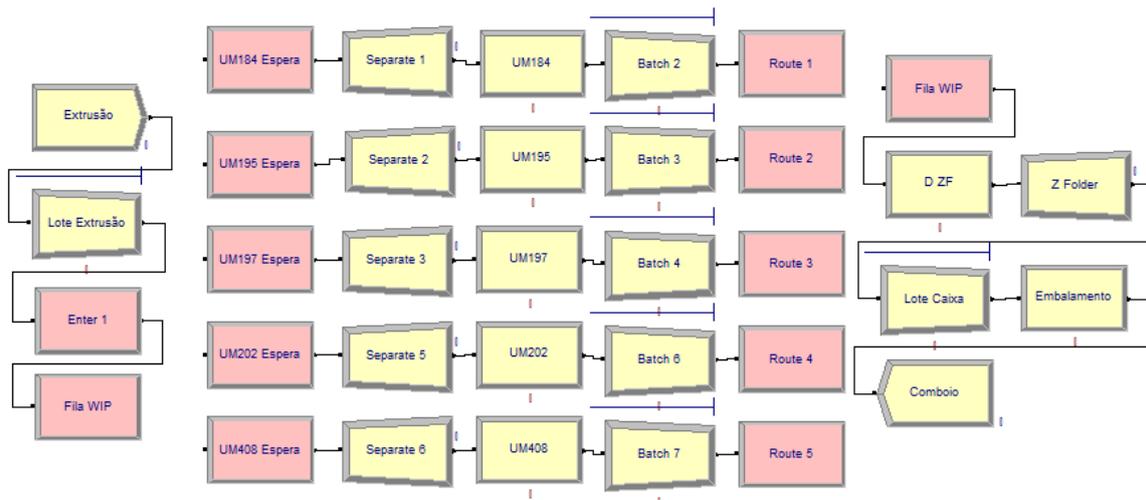


Figura 4-4 - Modelo Computacional da linha de produção C da família de palhinhas 162x5mm

Acima apenas se demonstrou o modelo computacional na sua forma final já programado, no entanto a modelação tem de ser estruturada de uma forma mais minuciosa e certos detalhes têm de ser incluídos como a seguir se apresenta.

#### 1) Modelação de entidades do sistema

No estudo de caso em questão e aliás, em todas as linhas de produção da fábrica, apenas existe uma entidade presente, a palhinha. Para que no *output* se possa avaliar a quantidade de palhinhas ao longo de todo o processo, é necessário inserir no modelo recorrendo ao módulo *Entity* (Figura 4-5).

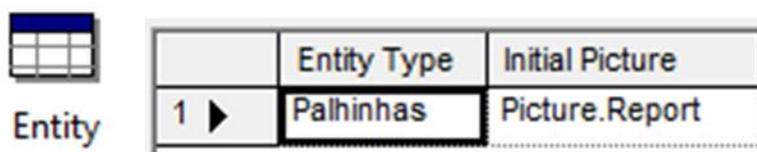


Figura 4-5 - A integração de entidade "Palhinhas" no modelo atual

Estas entidades entram no sistema através do processo de extrusão. Para se representar a geração destas entidades (porque, de facto, são geradas pela extrusora a partir de um granulado de polímero), é necessário inserir um módulo *Create*. Como se pode observar na figura 4-6, a chegada das entidades no sistema (as palhinhas) segue um intervalo constante, isto porque, como foi referido, provém da máquina de extrusão que não tem interrupção e funciona a um ritmo constante. O tempo de chegadas foi omitido e a quantidade de palhinhas por chegada foi alterada para um valor bem inferior ao real, de modo a facilitar a análise final (são produzidas dezenas de palhinhas por segundo pelo que se divide por um coeficiente). As chegadas surgem infinitamente até ao fim da semana ou até à saturação do sistema sob a forma de WIP entre a extrusão e a fase de *forming*.

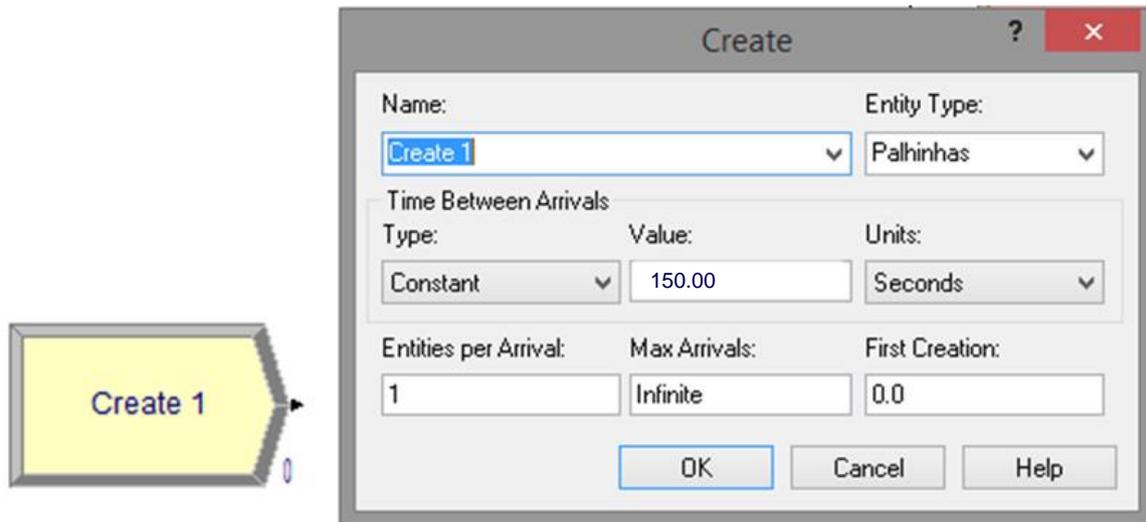


Figura 4-6 - Geração de chegada das entidades “palhinhas” no sistema

Após a geração das entidades, estas são acumuladas numa caixa até atingir um certo nível. Esta caixa tem uma quantidade específica de palhinhas acumuladas e pode-se considerar como um lote. Este lote depois de completo é removido pelo operador que transporta a caixa para o processo seguinte, no entanto é necessário recorrer ao módulo *Batch* para representar na simulação a caixa gerada a partir da qual, após estar cheia, é substituída por uma vazia. Na figura 4-7, está exemplificado o loteamento sob a forma do módulo *Batch*. Como a caixa serve apenas de meio de transporte e como as palhinhas em seguida serão separadas, o tipo de loteamento é temporário, algo fulcral a ser definido nesta etapa. É também necessário definir que apenas quando se acumula uma certa quantidade de palhinhas é que a caixa é substituída, daí existir o critério de *Sum* (soma em inglês).

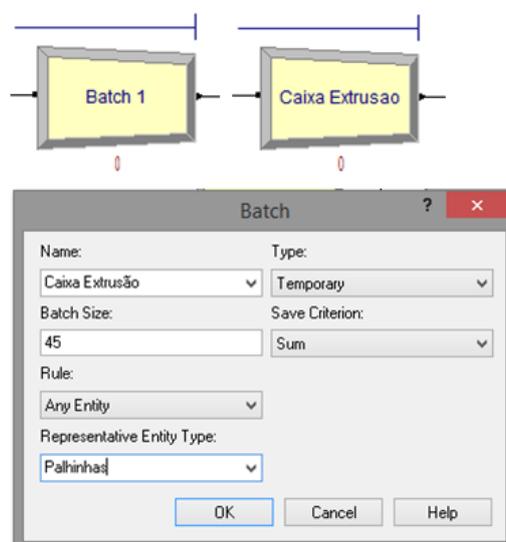


Figura 4-7 - Caracterização da geração de caixas após extrusão através do módulo *Batch*

As caixas, após saírem da zona da extrusão, são transportadas para a zona de *forming*. Caso as máquinas presentes da zona de *forming* estejam livres (normalmente apenas acontece no início do primeiro turno da semana), a caixa é directamente acoplada à máquina. Caso contrário, as caixas vão se acumulando numa pequena zona ao lado das máquinas de *forming*, em fila, até existir uma máquina livre. As caixas não vão para uma máquina específica pelo que existe uma espécie de “sorteio” em que a caixa vai simplesmente para a primeira máquina vazia. Tal processo pode ser representado através de dois módulos:

- O primeiro é um módulo *Enter* que permite definir a transferência da caixa da extrusão para a zona de *forming*. Neste módulo iremos atribuir um tempo de transferência de trinta segundos que representa a média de tempo utilizado pelo operador para transportar a caixa de um local para o outro.
- O segundo é o módulo *PickStation*, este módulo permite que se escolha, a partir de várias “*Stations*”, uma *Station* (zona de destino) mais indicada para que a entidade seja alocada consoante uma série de critérios previamente definidos. Como podemos ver na figura 4.9, os critérios definidos para a alocação de caixas nas *Stations* (que neste caso são as máquinas de *forming*) são a menor quantidade caixas na fila de espera e a menor quantidade de material presente no recurso em questão. Como a zona intermédia está acoplada à zona de *forming*, o tempo de transição é praticamente nulo, daí ser definido como de zero segundos e o destino é assegurado sob a forma de *Stations* na fase seguinte.

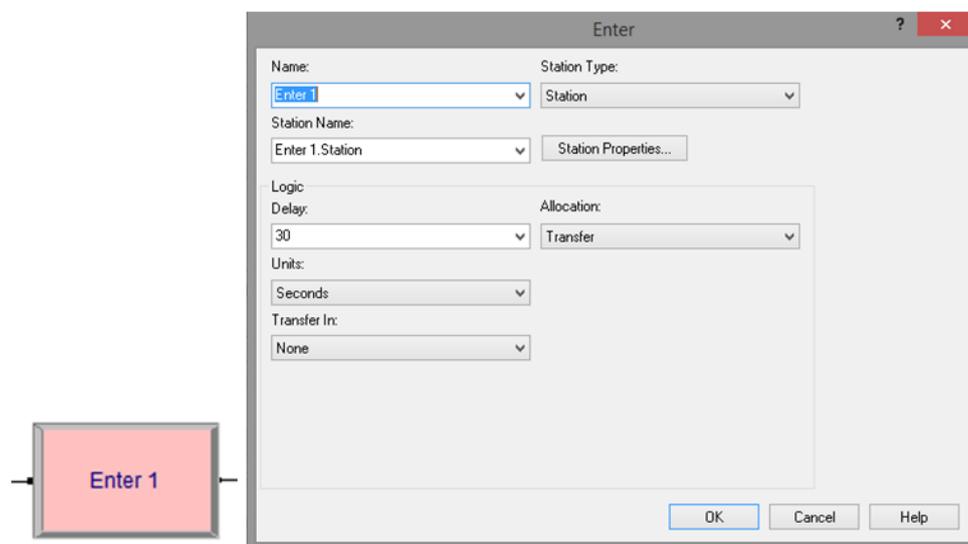


Figura 4-8 - Representação do módulo *Enter* que permite definir o tempo de transporte das caixas de extrusão para o *forming*.

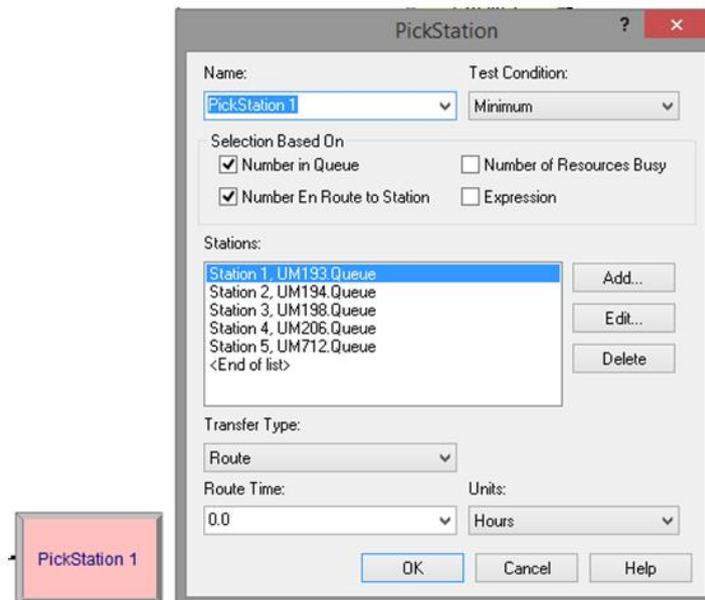


Figura 4-9 - Representação do módulo *PickStation* que define o sorteio para a alocação de caixas às máquinas de *forming*.

Os módulos *Station* são, neste caso, o destino das entidades ao saírem da *PickStation 1*. Estes representam a chegada da caixa de palhinhas à entrada da máquina de *forming* quando está vazia/disponível. Por este motivo, existe uma quantidade de módulos *Station* correspondente à quantidade de máquinas presentes na zona de *forming* (que são cinco no caso da linha A).

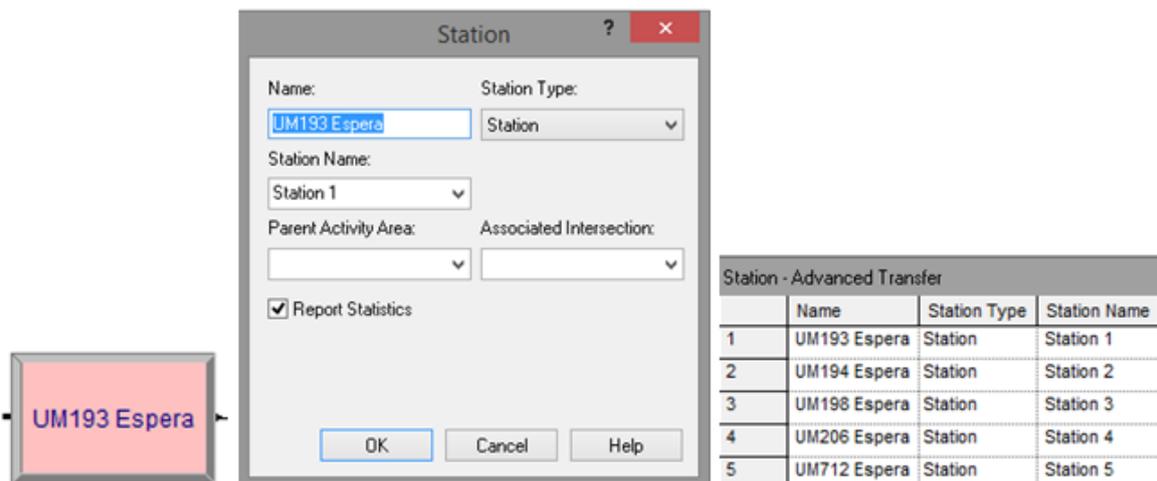


Figura 4-10 - Representação do módulo *Station* que indica a entrada da máquina de *forming* (U-M)

O lote da caixa, ao entrar na máquina de *forming*, é separado. As palhinhas são divididas individualmente de modo a que cada uma altere a sua forma direita para uma forma em U. Nesta parte do processo, é essencial ter definido anteriormente no módulo *batch* um critério “temporário”,

caso contrário não seria possível separar o lote nesta fase. O módulo *separate* duplica a entidade existente que representa a separação de uma palhinha de dimensões 324x5mm em duas palhinhas de dimensões 162x5mm, cada uma. No entanto, as duas palhinhas de dimensões 162x5mm vão sempre continuar juntas lado a lado pelo que continua a ser a mesma palhinha de dimensões 324x5mm simplesmente afastada. Como podemos observar na figura 4-11, está representado o módulo *separate* que é replicado para cada máquina de *forming* presente.

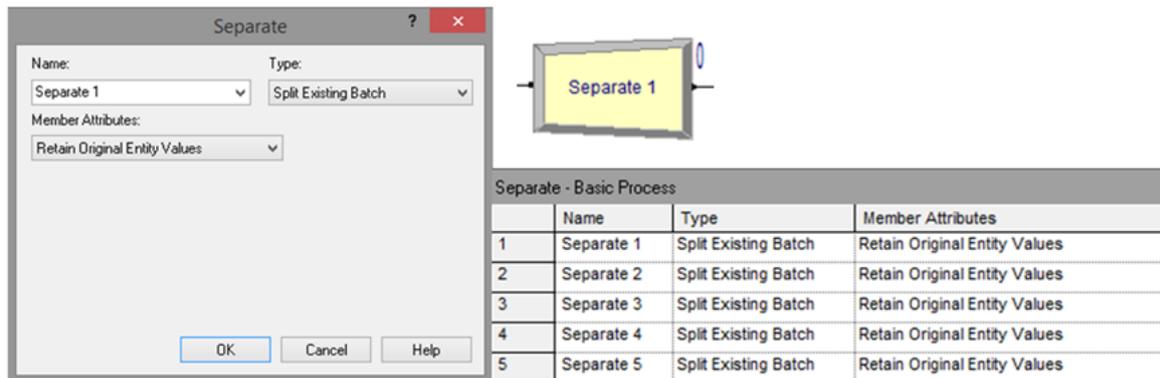


Figura 4-11 - Modelação da separação das caixas da extrusão para utilização na máquina de *forming*.

Após as palhinhas serem separadas, a máquina de *forming* retém a palhinha durante um período de tempo, de modo a conferir-lhe uma forma diferente, uma forma em U. No programa Arena, a máquina U-M é um recurso que utiliza a entidade durante um período de tempo que pode seguir quatro tipos de ações lógicas:

- O *Seize Delay Release*, em que o recurso (máquina U-M) é ocupado pela entidade até que o processo se conclua, momento em que o recurso é libertado ficando disponível para ser ocupado por uma nova entidade;
- O *Seize Delay*, em que o recurso é ocupado pela entidade se estiver disponível e após ser realizado o processo, este continua retido;
- O *Delay*, em que o processo é realizado usando um recurso definido anteriormente pela ação lógica, no entanto não se utiliza qualquer recurso;
- O *Delay Release* em que é obrigatório que tenha sido ocupado, anteriormente, um recurso de modo a que o mesmo esteja ocupado durante o tempo do processo para depois ser libertado.

Um dos quatro tipos de ações lógicas é selecionado para representar a atividade da máquina de *forming*. No entanto, a ação de *forming* é modelada através do módulo *Process* onde, para cada máquina presente nesta zona, é efetuado um módulo em separado. Isto porque, embora o tempo de ciclo das máquinas (tal como na fase de extrusão) seja constante e não dependente do recurso humano, foi observado que as máquinas não estão reguladas com o tempo de ciclo de fabrico e, por

esse motivo, cada máquina tem uma variação no tempo de ciclo. Na figura 4-12, está representado o módulo *Process* para uma das máquinas.

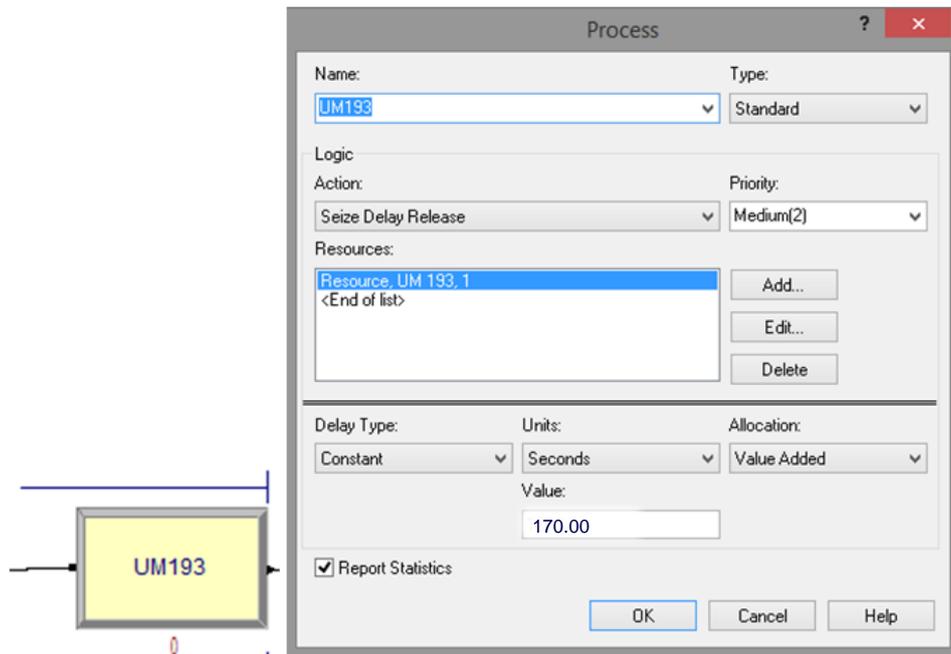


Figura 4-12 Exemplo de um dos módulos *Process* da fase de *forming*

A máquina de *forming* após conferir a nova forma à palhinha, liberta esta entidade para uma nova caixa. Esta nova caixa representa um novo lote, logo tem de ser gerado a partir de um novo módulo *Batch*. Este lote tem dimensões inferiores ao lote que sai da extrusão pelo que têm de ser definidos novos critérios, no entanto, continua a ser um lote temporário como podemos observar na figura 4-13.

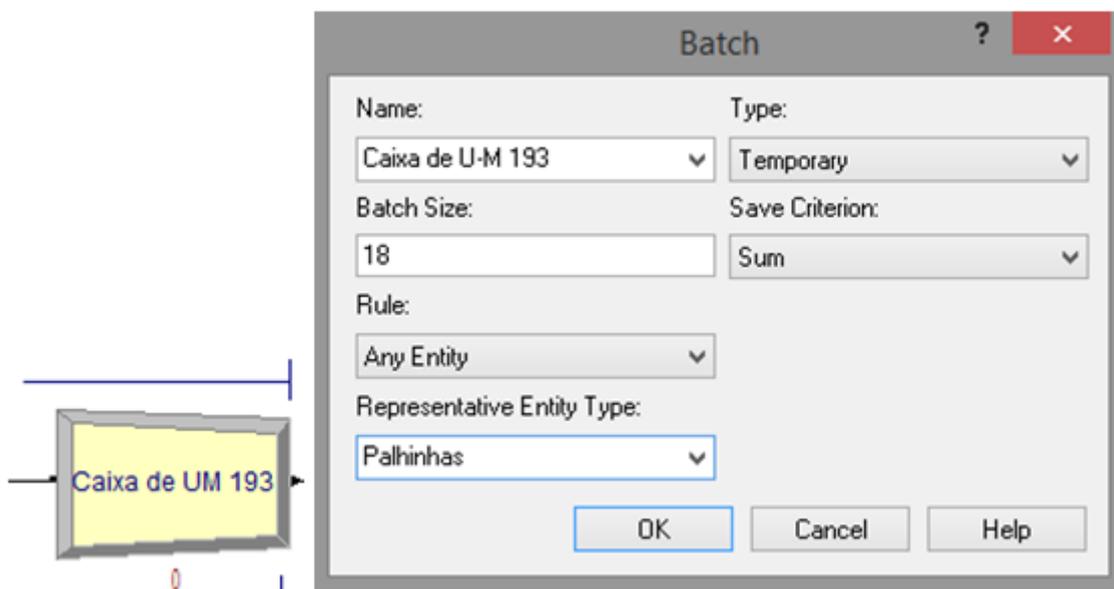


Figura 4-13 - *Batch* representativo das caixas formadas após o processo de *forming*

Após o lote ser formado é necessário que este seja direcionado para um destino específico que se trata da fila para a máquina Doctor-Z-Folder. Para tal utiliza-se à saída de cada *batch* da zona de *forming* um módulo *Route* com um determinado tempo de movimentação e um único módulo *Station* para o qual todas as caixas formadas seguem de modo a serem inspecionadas no próximo passo. O módulo *Route* direciona uma entidade que entra nele para um determinado destino (*Destination Type*) e com um tempo associado. Neste caso é a *Station 6*, com um tempo de transporte de 15 segundos.

Na figura 4-14 está representado um módulo *Route*, representativo dos módulos criados e na figura 4-15 o módulo *Station*.

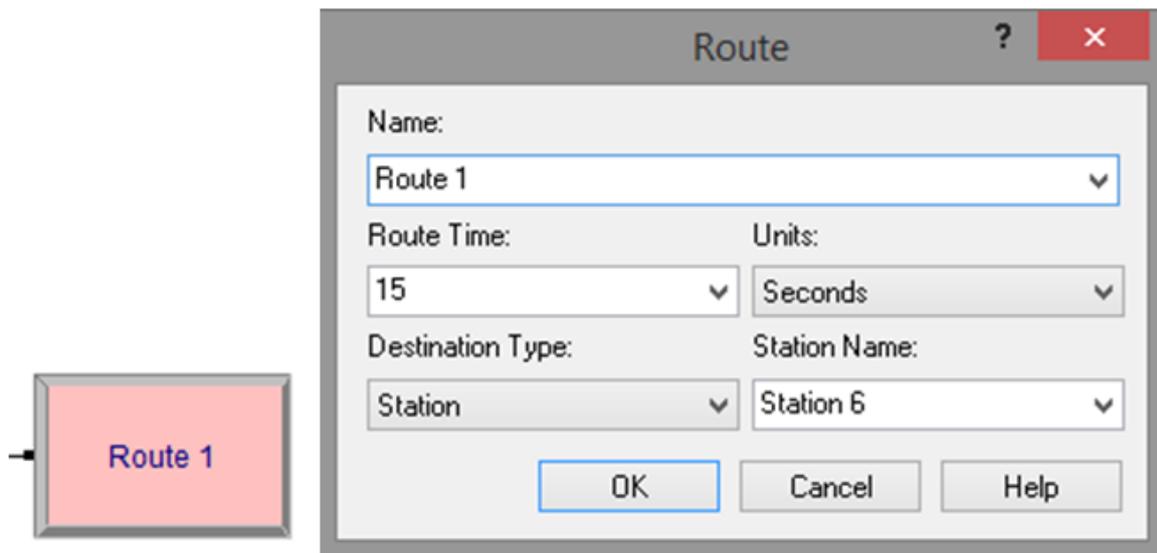


Figura 4-14 - Exemplo de módulo *Route* utilizado na saída de cada máquina *UM*

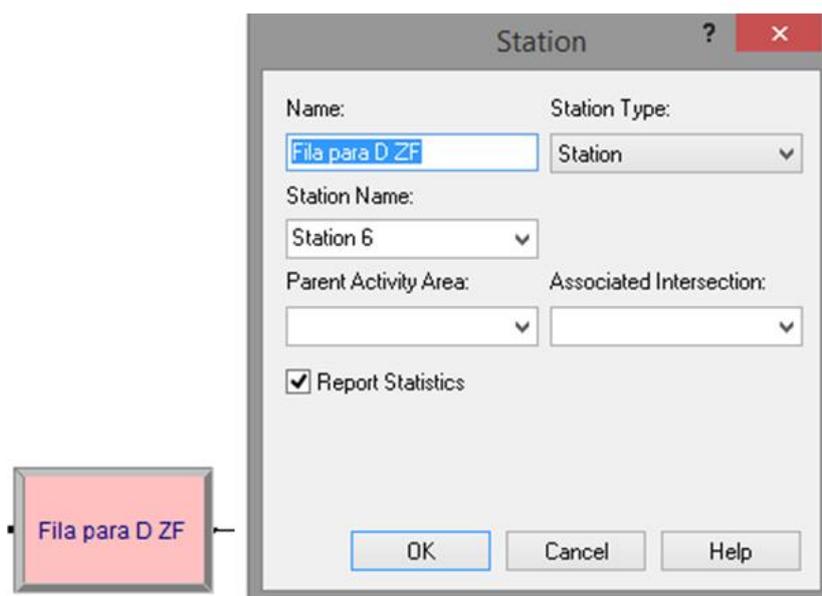


Figura 4-15 - Módulo *Station* que acolhe as caixas provenientes dos módulos *Route*

Após a chegada da caixa à máquina de *Doctor*, o lote tem de ser separado em palhinhas individuais de modo a que a *Doctor* possa analisar possíveis defeitos de corrugação (dobra em forma de U) ou ausência de palhinhas. Por esse motivo, é necessário a adição de um módulo *Separate* tal como representado na figura 4-16.

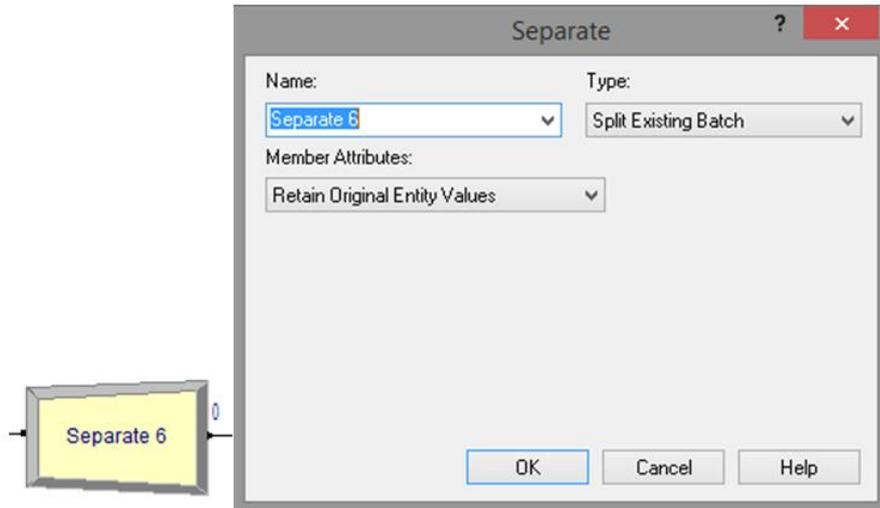


Figura 4-16 - Módulo *Separate* representado para a utilização da *Doctor Machine*.

Após a remoção das palhinhas da caixa e o seu alinhamento, a máquina *Doctor* verifica a ausência de palhinhas ou defeitos mais comuns nas mesmas através de um sensor a *laser*. A *Doctor Z-Folder* é um recurso que pára a linha na ocorrência de defeito, caso contrário não tem influência no tempo de transporte das palhinhas para a caixa de embalagem. O tempo médio de passagem das entidades é constante como exemplificado na figura 4-17.

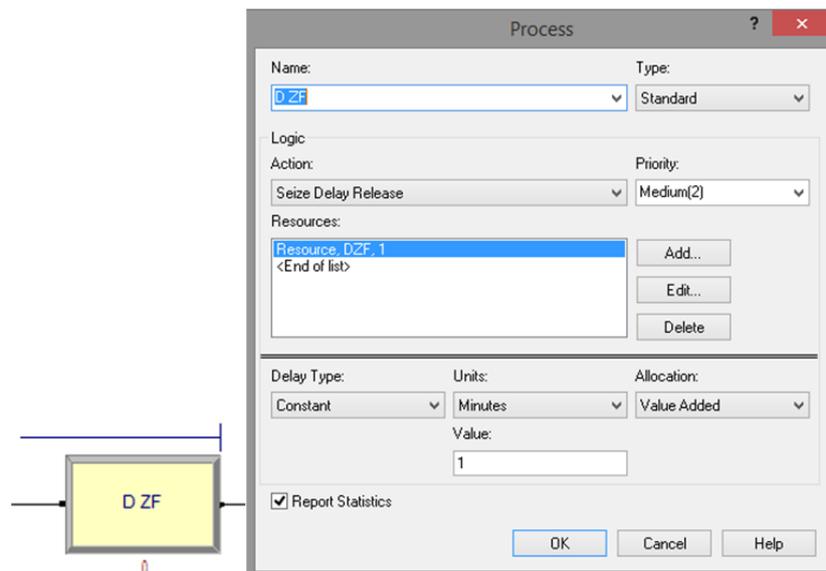


Figura 4-17 - Módulo *Process* utilizado para representar a máquina *Doctor Z-Folder*

Após a verificação do produto, este é disposto numa caixa final até ter um valor próprio de acordo com as necessidades do cliente. Esta caixa final é gerada através de um último módulo *Batch* no

qual, tendo em conta que se trata do último, é necessário alterar o critério de loteamento temporário (*Temporary*) para permanente (*Permanent*) como se pode observar na figura 4-18.

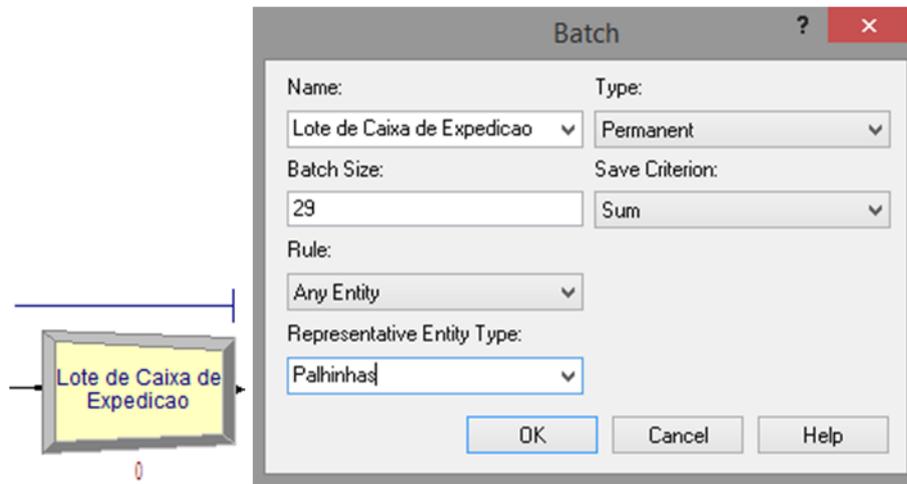


Figura 4-18 - Batch final para a caixa de expedição

Após a caixa final para expedição estar completa, um operador retira a caixa, substitui-a por uma vazia e procede ao embalamento da mesma. Este é o único processo realizado por um operador, no entanto segue a mesma lógica que os restantes. Atribui-se um tempo que neste caso continua a ser constante visto que se trata de um processo simples e sem variáveis que poderiam alterar o tempo de embalamento como se pode ver na figura 4-19. Usa-se a ação lógica *Delay* visto que não se consideram quaisquer recursos (o recurso embora exista e seja humano, este embala a caixa quando está disponível e independentemente da rapidez a embalar a caixa, esta tem um tempo constante).

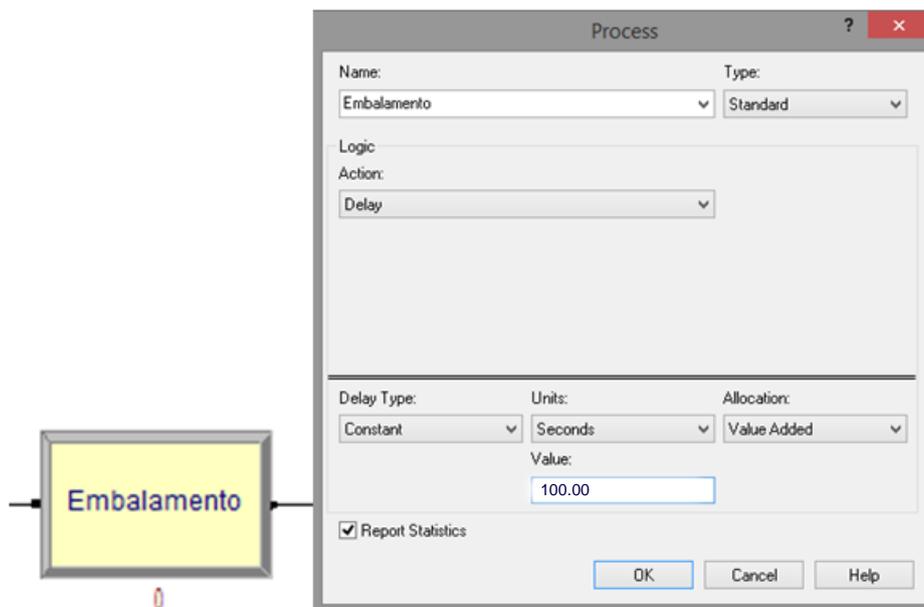


Figura 4-19 - Único módulo Process realizado por um recurso humano

Finalmente termina-se o ciclo produtivo no módulo *Dispose*. Este último serve para terminar a simulação e recolher as entidades geradas pelo módulo *Create*. No entanto, apenas recolhe as entidades que completam o percurso todo, sendo que as entidades ainda no sistema permanecem bloqueadas e servem igualmente para estudar o comportamento do sistema. Na figura 4-20, podemos observar o último módulo do sistema. No estudo de caso este é representado por um comboio que encaminha as caixas finais embaladas para fora da área fabril, que de seguida são guardadas no armazém para inventário ou diretamente colocadas num camião de carga para ser expedido.

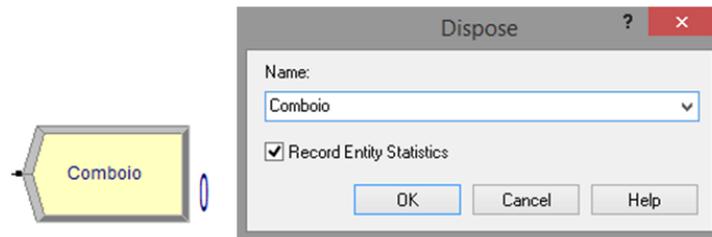


Figura 4-20 - Módulo *Dispose* que representa o fim do modelo de simulação

## 4.2 Verificação e validação do modelo

Um dos passos essenciais para se poder utilizar modelos computacionais que representem casos de estudo reais é a verificação e validação do modelo. Apenas ao ter a certeza de que o modelo realizado corresponde à realidade é que se pode seguir para o passo seguinte que corresponde à concepção de um modelo futuro.

Ao verificar um modelo é necessário, que este ilustre o comportamento observado na fábrica e que não existam passos desnecessários, nem complexidade acrescida. O modelo tem de ser o mais simples e representativo possível.

Para tal são realizadas replicações da simulação alterando certos parâmetros do *input* para períodos de um turno, dois turnos e uma semana de produção (parâmetros representativos à capacidade da fábrica), observa-se o *output* do sistema e verifica-se se seria legítimo obter tais valores no caso real. Também é apresentado o modelo a terceiros presentes na fábrica, de modo a aferir que o modelo é representativo e se não existem processos, entidades ou recursos tanto em excesso como em falta e finalmente observa-se se as entidades de facto seguem para os destinos idênticos aos fluxos do caso real.

Verificar se não existem filas de espera para uma das máquinas de *forming* havendo uma livre é um dos critérios a observar com cuidado visto que este enviesaria consideravelmente os dados finais aumentando o valor do *WIP* consideravelmente e levando a uma má representação do sistema real. Esta verificação foi realizada progressivamente de modo a estudar se cada passo extraordinário funcionava como esperado e finalmente numa última replicação com o modelo completo.

Após a verificação do modelo foi necessário validar o mesmo. Ao validar estamos a comparar a performance do modelo realizado em condições conhecidas com o sistema real. Para tal, foram

efetuadas diversas replicações correspondentes a períodos de tempo diferentes, neste caso em concreto foram efetuadas replicações em períodos correspondentes aos tempos de turno, isto é, em 8h correspondente a um turno, em 16h correspondente a dois turnos, em 24h o que corresponde a um dia completo de trabalho e finalmente em 5 dias que é o período máximo de funcionamento contínuo da linha de produção. O intuito da empresa não é de obter medidas de desempenho tais como tempos de permanência de material em cada zona, mas sim de reduzir a quantidade de WIP e verificar se existe forma de obter mais produto final concluído.

Pontualmente existem paragens da produção de palhinhas (como por exemplo para a realização de manutenção preventiva), o que origina um diferente número de caixas finais embaladas entre as diferentes semanas do mês. Foram replicadas simulações do modelo par um processo contínuo com duração de uma semana e, na linha de produção foram recolhidos dados de produção de modo a comparar com os dados obtidos no simulador. De seguida, foram apresentados os dados aos operadores de modo a validar o modelo computacional.

Como representado na tabela 4-1, embora exista uma constante adicionada nos dois valores para garantir a confidencialidade, pode-se aferir nesta tabela, as diferenças entre o *output* do modelo de simulação (o valor do WIP medido em caixas) e os dados reais.

*Tabela 4-1 Representação da replicação para um turno de 8h*

Tempo de simulação (horas)	Dados Reais (quantidade de WIP)	Dados obtidos na simulação (quantidade de WIP)
8	22	21
16	46	47
24	75	77

Também foi feita uma verificação quanto à quantidade de WIP como se pode observar na tabela 4-2, a quantidade de WIP obtida por simulação é inferior aos dados recolhidos na linha de produção, algo que deverá ser estudado a seguir e averiguar qual a causa deste acontecimento (dados modificados por um algoritmo). É possível que tal se deva ao facto de interrupções voluntárias ou não intencionais que tenham ocorrido durante a recolha aleatória de dados e não tenha sido repertoriado por provir de um turno diferente.

*Tabela 4-2 Comparação do sistema real com o sistema modelado quanto à quantidade de WIP antes da fase de forming*

Quantidade de caixas de WIP antes da fase de <i>forming</i>	
Dados Reais (30 observações)	Simulação
3,28	2,50

Seria interessante poder realizar um estudo mais aprofundado para validar o modelo tal como uma análise de sensibilidade, no entanto o sistema é demasiado simples com um fluxo contínuo, sem

variabilidade de tempos de ciclo ou de quantidade de entrada de entidades no sistema. Trata-se de um modelo determinístico em que uma avaliação visual por parte de trabalhadores com acesso e a responsabilidade fabril conseguem aferir a validade do modelo realizado.

### **4.3 Síntese**

O modelo desenvolvido foi verificado e representa o estudo de caso presente na Tetra Pak Tubex Portugal. O modelo apresenta valores de *output* representativos dos valores recolhidos e assume-se que as diferenças observadas resultam de variáveis inerentes à produção em turnos precedentes tal como uma avaria de máquina (algo que ocorre de forma espontânea mas que no entanto não é considerado visto que existe manutenção preventiva). Tal pode alterar a média real ou então um tempo de arranque ligeiramente superior ao esperado (algo possível devido a um defeito na origem na cor ou o operador em questão). Mudanças de cor do produto também obrigam a parar a produção temporariamente e resultam em dados diferentes do esperado na simulação. Cada máquina da fábrica tem tempos de ciclo constantes e remete para métodos de validação simples e intuitivos por não existir variabilidade no processo produtivo. Não é possível realizar estudos aprofundados com várias replicações visto que a variabilidade é ocasional e resulta de paragens de produção imprevistas e pouco frequentes ou paragens de máquinas que ocorrem geralmente uma vez por semana para uma manutenção preventiva. O modelo computacional por esse motivo permite perceber quais as diferenças entre um estado teórico em relação a um prático (a realidade), que embora sejam pequenas, existem.



## 5. Proposta de sistema futuro

Neste capítulo é contextualizado a situação futura e a descrição de possíveis alterações que podem ser realizadas para satisfazer as necessidades da empresa em reduzir a quantidade de WIP no sistema. São apresentados diferentes modelos que visam a servir de apoio à tomada de decisão bem como as vantagens de cada um dos modelos.

### 5.1. Contextualização da situação futura

De modo a obter uma valorização acrescida da fábrica sob a forma de prémios de aplicação de metodologias *Lean* no processo fabril e de ter uma linha de produção mais fluida, a Tetra Pak Tubex Portugal espera que a linha mais importante, a nível de volume de vendas (em proporção), tenha a menor quantidade de WIP dentro das limitações possíveis. Considera-se que nos anos seguintes os produtos da linha 162x5mm continuarão a ser os mesmos. Devido ao aumento da concorrência e a necessidade de garantir o menor custo de produção é necessário tornar a linha A o mais fluido possível para não perder o cliente. Caso a linha A atinja valores menores de WIP do que os existentes atualmente, é esperado alargar as metodologias utilizadas nas restantes linhas de produção.

### 5.2 Limitações

Existem certas limitações quanto ao modelo futuro, algumas são impostas por parte dos objetivos da empresa, outras pelos recursos existentes. As limitações consistem em:

- Não existir intenção de adquirir novas máquinas no momento atual.
- Não haver possibilidade de alocar mais operadores na linha de produção.
- Apenas se poder deslocar máquinas de outras linhas com menor utilização sendo que:
  - Existe na linha A: 1 extrusora, 5 U-Machine e 1 D-ZF
  - Existe na linha B: 1 extrusora, 3 U-Machine e 1 D-ZF
  - Existe na linha C: 1 extrusora, 5 U-Machine e 1 D-ZF

### 5.3 Simulação do sistema

Para simular casos futuros, foi utilizado o mesmo modelo computacional que representa o estado atual da empresa. Trata-se de um procedimento correto visto que foi verificado e validado previamente e seria incorreto criar outro modelo sem saber se daria resultados de *output* válidos em condições conhecidas.

Inicialmente foi verificado que as velocidades das máquinas U-M estavam a funcionar a valores inferiores aos valores padrão estipulados nos manuais de compra. Tal acontecimento deve ter ocorrido com uma perda de potência gradual ao longo dos anos, no entanto, existe a possibilidade de

aumentar a velocidade das máquinas. O aumento das máquinas é feito ao modificar a frequência (Hz) dos impulsos das máquinas. Ao aumentar a frequência (Hz) para uma frequência superior, a máquina gera impulsos a um ritmo superior e assim se aumenta a velocidade de funcionamento para os valores de velocidade iguais aos recomendados pelo fabricante do equipamento..

O primeiro passo a realizar foi de simular um modelo com a velocidade de funcionamento das máquinas igual à recomendada pelo fabricante do equipamento e observar as diferenças entre os dois cenários, o atual e o futuro.

*Tabela 5-1 Valor de WIP no cenário atual e após o aumento da velocidade das máquinas de forming*

	8h		24h	
Velocidade das máquinas	Cenário atual	Depois do aumento da velocidade	Cenário atual	Depois do aumento da velocidade
WIP (em milhares de palhinhas)	176,73	173,63	207,55	190,33

Como se pode observar na tabela 5-1, os dados foram modificados com um algoritmo no entanto existe uma diferença na diminuição da quantidade de WIP total quando se aumenta a velocidade das máquinas U-M. Trata-se por esse motivo de um critério a implementar visto que não altera negativamente o desempenho das máquinas de um ponto de vista mecânico, no entanto uma diminuição de 3 milhares de palhinhas por turno não resolve totalmente o problema de WIP existente.

Tendo em conta que a quantidade de WIP permanece alta é necessário desenvolver cenários possíveis que tenham capacidade de diminuir ainda mais este volume existente.

Para tal foi desenvolvido um cenário em que se altera o *layout* fabril ao deslocar uma máquina U-M da linha B ou C, ou até mesmo uma máquina D-ZF para a linha A. Tal hipótese foi posta em questão visto que, depois de realizados cálculos quanto à quantidade de volume de pedidos nestas duas linhas, se averigua que a produção destas linhas pode ser colmatada com a ausência de duas destas máquinas tal como concluído no capítulo 3-9. Contudo, verifica-se que não seria possível manter o nível de produção de palhinhas pedido pelo mercado com a ausência de uma máquina de Extrusão, por exemplo. Tendo em conta que uma das limitações neste estudo de caso recai sobre a área de trabalho disponível e tendo em conta que a compra de novas máquinas não consta no orçamento da empresa, a alteração da localização de máquinas de uma linha para a outra não tem impacto negativo e segue os objetivos da equipa de gestão em alterar o *layout* fabril. No entanto, é de notar que apenas é possível deslocar máquinas que pertençam à mesma família de palhinhas como é o caso (algo que talvez não fosse possível implementar noutras linhas por exemplo, visto que trabalham com comprimentos de palhinha diferentes e nem todas são reguláveis para realizar palhinhas do tipo 162x5mm).

A simulação foi realizada através da ferramenta *Process Analyser* em que é possível correr diferentes modelos de simulação criados. Neste caso, optou-se por correr o mesmo modelo de simulação com diversas variações que corresponde à quantidade de recursos utilizados. Esta ferramenta permite obter dados dos diferentes modelos e construir gráficos que facilitam a análise e futura tomada de decisão quanto ao melhor cenário simulado. Tendo em conta que foi aumentada a velocidade das máquinas de *forming* para um valor máximo e estandardizado para todas as máquinas da linha de produção, realizou-se um cenário em que se duplica a existência de uma das máquinas, mantendo as restantes a funcionar normalmente. Neste caso selecionou-se a máquina U-M 193 para servir de recurso variável (esta máquina será utilizada nos cenários em que se duplica uma U-M) como se pode observar na figura 5-1.

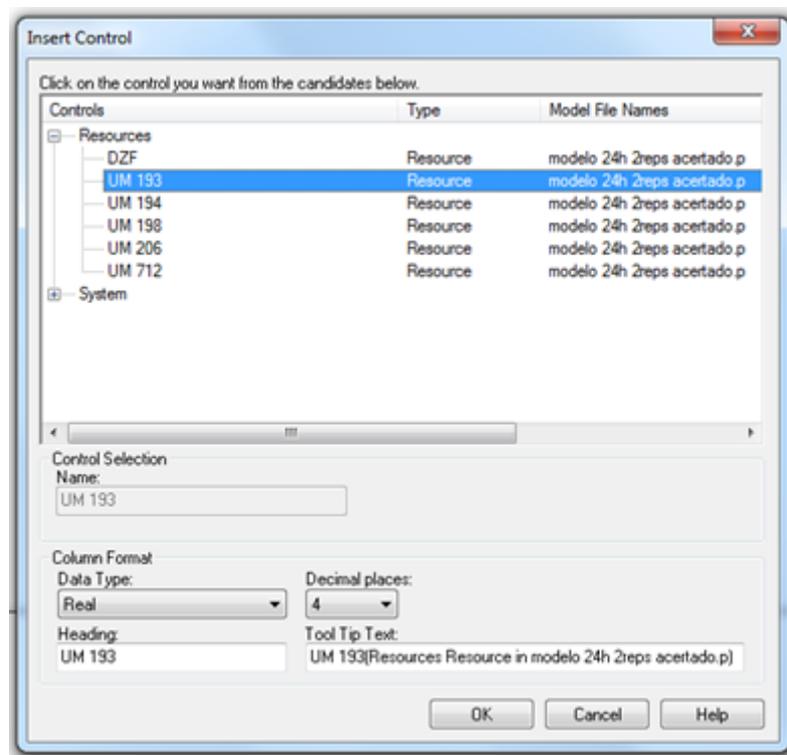


Figura 5-1 - Escolha de recursos no Process Analyser

Tal estudo foi concretizado ao comparar diferentes cenários:

- Cenário 1: não se realizou mudanças,
- Cenário 2: adicionou-se uma U-M no sistema mas sem alterar do número de máquinas D-ZF,
- Cenário 3: não se alterou a quantidade de U-M mas adicionou-se uma máquina D-ZF,

- Um cenário duplo, em que se teve uma máquina U-M adicional e uma segunda D-ZF.

Tal esboço está representado na figura seguinte onde, quando se quer manter um cenário igual ao atual, coloca-se o valor de “0” na área de *Control*, no entanto, quando se quer adicionar um recurso, coloca-se o valor de “1” como se pode observar na figura 5-2.

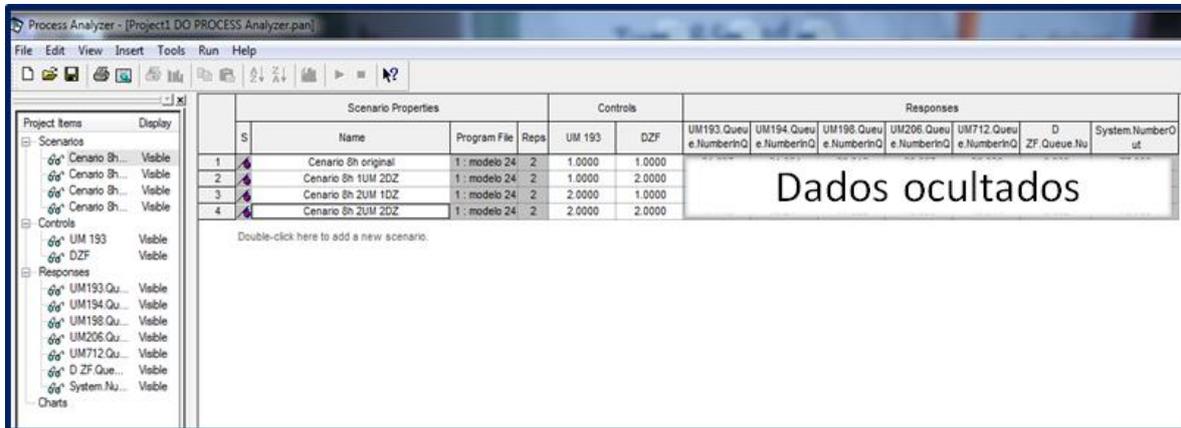


Figura 5-2 - Alteração de cenários no Process Analyzer.

Após as alterações realizadas, o *Process Analyser* apresenta as respostas às mudanças de cenário que neste caso se escolheu obter respostas quanto ao valor de *Queue*, isto é ao WIP anterior a cada máquina U-M. Pretendeu-se também saber o valor de WIP presente na entrada da máquina *Doctor-ZFolder* e, por motivos de produtividade, saber a quantidade de volume de palhinhas produzidas em cada um dos cenários possíveis.

#### 5.4. Análise do modelo de simulação

Tendo em conta que o modelo de simulação não tem parâmetros estocásticos, apenas é necessário realizar uma replicação para analisar o modelo de simulação. No entanto, observou-se o modelo para vários períodos temporais, um primeiro correspondente a um turno, um segundo a um dia (três turnos) e um último correspondente a uma semana de produção. Esta decisão remete para a eventualidade de ser necessário realizar uma paragem de produção a meio da semana para alterar a cor das palhinhas. Uma paragem de produção implica uma alteração no nível de produtividade. Atualmente, a linha de produção abastece um cliente que tem necessidades iguais ao longo do ano, pelo que não existem paragens de produção para alteração de cor e, por este motivo, a equipa de produção deve optar por escolher um cenário com duração de cinco dias consecutivos. Um cenário com uma simulação de duração de um turno ou 24 horas é interessante para o caso de um dia a produção ter de alterar a cor a cada turno ou de dia para dia.

Assim obtemos para uma simulação correspondente a um turno os valores representados na figura 5-3. Nas colunas mais pequenas podemos observar o número de caixas de WIP na fila de cada máquina U-M da linha de produção (a U-M 193, U-M 194, U-M 198, U-M 205 e U-M 712), temos

também o número de caixas na fila de espera da Doctor Z-Folder e finalmente o número de caixas que saem do sistema.

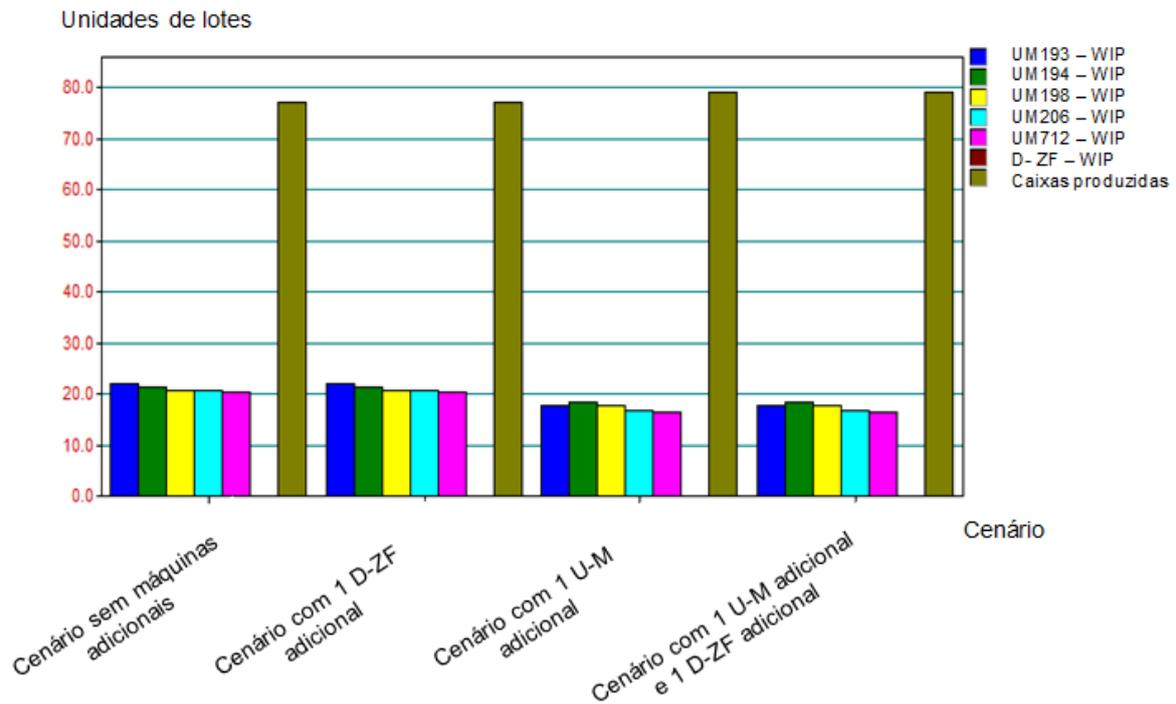


Figura 5-3 - Valores de diferentes cenários

De modo a poder comparar com melhor detalhe os valores de WIP, removeu-se o valor de número de caixas produzidas. Na figura 5-4 temos assim um enfoque unicamente nos valores de WIP, que corresponde ao critério que se pretende estudar, a remoção de desperdícios.

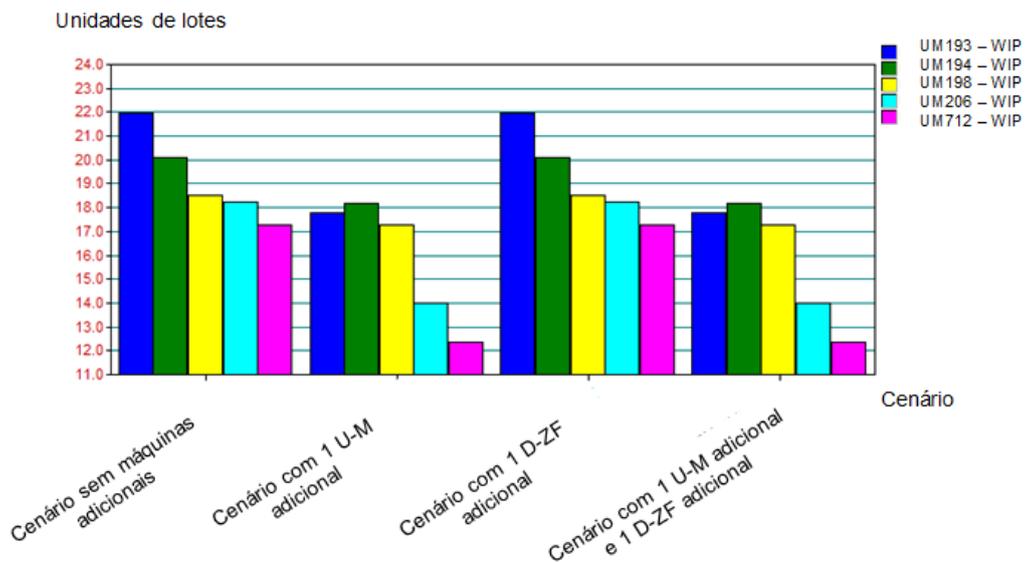


Figura 5-4 - Valores de WIP em diferentes cenários da linha A no Process Analyzer

Na figura 5-4 observa-se que os cenários mais favoráveis em relação a uma menor quantidade de

WIP na fase de *forming* são os cenários em que se adiciona uma segunda máquina U-M e o valor de palhinhas produzidas também é superior nesta situação, no entanto, como esperado, a adição de uma segunda máquina de D-ZF nesta fase do processo não altera o valor de WIP.

A adição de uma máquina D-ZF elimina o WIP como podemos observar na figura 5-5.

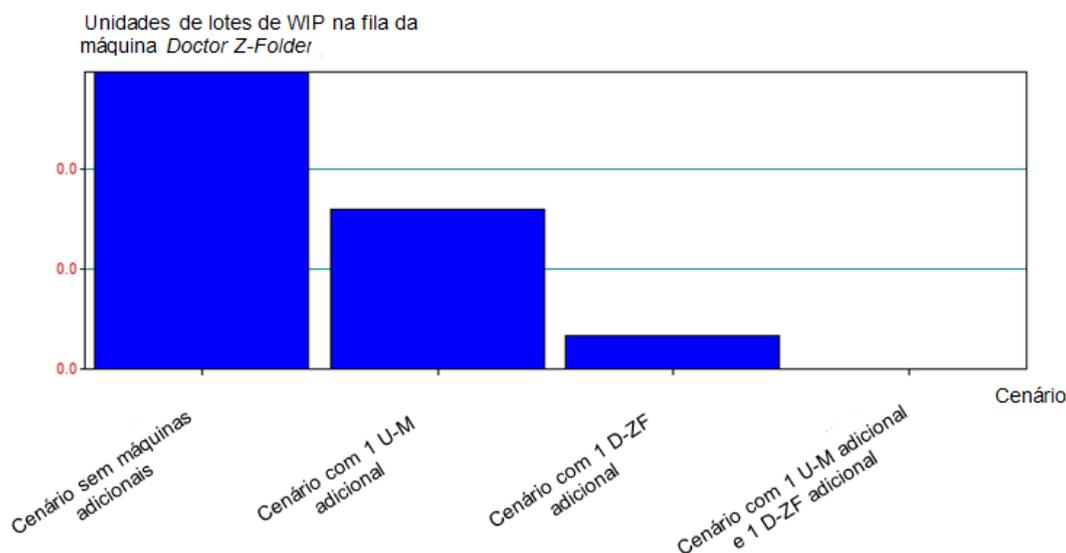


Figura 5-5 - Comparação de valores de WIP na fase de D-ZF para uma replicação de 8h.

Verifica-se que existe uma diferença e que nesta situação o melhor cenário é um acréscimo de uma máquina U-M e uma máquina D-ZF na linha de produção. No entanto, ao repararmos na escala, podemos comprovar que não existe uma caixa completa de WIP em qualquer dos cenários.

O caso é idêntico em todos os cenários restantes como se pode ver no anexo A-1 que ilustra valores de WIP de diferentes cenários para um período de 24h, o anexo A-2 que ilustra a comparação de valores de WIP na fase D-ZF para uma replicação de 24h, o anexo A-3 que ilustra o valor de WIP diferentes cenários para um período de 5 dias, o anexo A-4 que compara os valores de WIP na fase de *forming* para uma replicação de 5 dias e o anexo A-5 que compara os valores de WIP na fase de D-ZF para uma replicação de 5 dias..

## 5.5. Propostas de melhoria

A investigação de métodos de trabalho praticados em fábricas de palhinhas do Grupo Tetra Pak e o trabalho desenvolvido ao longo da dissertação, permitem estabelecer quatro propostas de melhoria. As propostas de melhoria, expostas na tabela 5-2, têm como objetivo adaptar uma linha de produção de palhinhas para um sistema com menor quantidade de WIP no processo produtivo.

Tabela 5-2 Propostas de melhoria para uma redução de WIP no processo produtivo de palhinhas

Propostas de melhoria			
Deslocação de uma máquina de <i>Forming</i> da linha B e uma máquina <i>Doctor-Z-Folder</i> da linha B&C para a linha A	Diminuir a velocidade da máquina de Extrusão, o que aumenta o tempo de ciclo do processo e permite ficar sincronizado com o ritmo das máquinas seguintes	Utilização de um sistema contínuo Extrusora + <i>U-Machine</i> + <i>Doctor Z-Folder</i>	Formação dos trabalhadores para diferentes métodos de trabalho

Com as simulações realizadas, foi possível identificar que a deslocação de recursos materiais, isto é, de uma máquina U-M da linha B e uma máquina Doctor Z-Folder seja da linha B como da C, permitem diminuir a quantidade de WIP existente entre as fases do processo da linha A e não altera a metodologia de trabalho dos operadores. Como previsto inicialmente, o enfoque seria de reduzir a quantidade de WIP da linha de modo a atingir a meta de WCM de valor ZERO em todos os processos, no entanto é impossível atingir essa meta em termos de WIP deslocando apenas os recursos acima descritos. Existe a limitação do número de recursos presentes na fábrica e remover mais máquinas de *forming* da linha B&C não é vantajoso visto que aumenta o WIP na mesma linha. Pelo que a deslocação de uma máquina de *forming* e a adição de uma máquina D-ZF, representa uma possível solução, visto que se diminui um *muda* ao deslocar estes recursos visto que se evita a formação de uma quantidade de WIP na linha A (*muda* de *Work in Progress*). Existe, no entanto, uma proposta de melhoria que teria de ser analisada por parte da equipa de gestão. Em fábricas de palhinhas do mesmo grupo empresarial, existem diferentes tipos de metodologias utilizadas que permitem eliminar a quantidade de WIP existente, no entanto existem contraindicações.

Fábricas do mesmo grupo utilizam um sistema contínuo, uma máquina diferente em que a Extrusora, a zona de *Forming* e a máquina *Doctor-ZFolder* pertencem a uma mesma máquina. É um recurso material único que sincroniza todos os passos e evita a existência de WIP visto que se trata de um fluxo contínuo.

Um dos principais pontos negativos resulta no facto de, na ocorrência de um defeito ou avaria, todo o processo fica em pausa até ser reparado o problema existente. Este problema leva talvez a uma maior perda de tempo que no caso de não haver uma alta fiabilidade associada às máquinas, tal método não deve ser utilizado. O segundo ponto negativo é o facto de ser necessário uma aquisição de uma máquina idêntica que tem custos elevados e como foi esclarecido desde o início, não existe orçamento disponível para tal aquisição.

Uma solução alternativa consiste em diminuir a velocidade da extrusão. Tal prática é utilizada noutras fábricas e permite reduzir o WIP consideravelmente visto que permite um maior controle por parte do operador que diminui a velocidade de extrusão à medida que o volume produzido se aproxima do valor estipulado de encomenda. A limitação desta técnica é humana. Seria necessário formar os trabalhadores para novas práticas de trabalho de modo a igualar a velocidade da máquina de extrusão ao ritmo das máquinas de *forming*. No entanto, para que tal fosse possível, o operador teria de ter acesso visual a todas as linhas de produção de modo a poder ver à distância qual a quantidade de WIP existente em cada linha e poder ajustar a velocidade de extrusão à respectiva necessidade.

Para tal, seria necessário investir capital num sistema de visualização remota e/ou num sistema de comunicação (vídeo, sonoro, de chamada, etc.) que alertasse o operador da zona de extrusão em relação à quantidade de WIP existente e o volume de palhinhas remanescente necessário para satisfazer a encomenda do cliente. Tal solução implica obviamente custos, tanto numa nova formação como num sistema de comunicação e, embora fosse possível eliminar o WIP na fase de *forming*, iria sempre criar uma quantidade de excesso de produção na fase final visto que, por segurança, é necessário extrudir ligeiramente mais para compensar eventuais perdas por defeito. No entanto, trata-se da solução mais acessível que iria reduzir na totalidade o WIP gerado após a extrusão.

## **5.6. Síntese**

De modo a responder à necessidade da empresa TPTP de aumentar a fluidez da linha A de produção de palhinhas, reduzindo a quantidade de WIP presente entre as diferentes fases, mas principalmente o *BottleNeck* observado entre a fase de extrusão e de *Forming*, foi realizada uma simulação de caso futuro com diferentes cenários.

Existindo restrições quanto à compra de novos recursos materiais e devido à falta de espaço, foi sugerido aumentar a velocidade das máquinas de *forming*, diminuindo assim o tempo de ciclo desta etapa. Adicionalmente, foi sugerida a deslocação de máquinas de duas linhas que possuem mais recursos que necessário para responder às necessidades de mercado e feita a devida simulação com adição das mesmas.

Após uma análise de resultados obtidos, foi possível identificar oportunidades de melhoria, principalmente na diminuição de WIP, simultaneamente com o aumento de volume produzido por turno e tal observa-se adicionando uma máquina U-M e uma máquina D-ZF.

## 6. Conclusão

Após ter sido constatado que haveria possibilidade de realizar mudanças na área fabril, foram definidas prioridades para a implementação das mesmas. Grande parte de melhorias na área de produção pode ser resolvida através de métodos convencionais de metodologias de filosofia *lean*. Com a implementação de um Mapa de Cadeia de Valor (VSM), foi possível quantificar o tempo de valor não acrescentado presente na linha de produção. Depois de se ter a noção de quanto tempo de valor não acrescentado existe, é necessário verificar se o *takt time* da produção é inferior ao *takt time* da procura de modo a averiguar se o sistema produtivo de palhinhas não incorre risco de não ser capaz de abastecer as encomendas realizadas. Foi observado que a fábrica consegue responder às necessidades do mercado, no entanto existe o objetivo de reduzir o tempo de valor não acrescentado ao máximo na linha de produção. Para tal, começou-se a identificar os desperdícios existentes, ou *muda*, como definido nos primórdios da filosofia *lean*. Para se remover o WIP, considerado como o desperdício a eliminar com maior prioridade pela empresa, foi complementado o estudo com uma simulação computacional. Inicialmente, foi possível identificar que a velocidade de funcionamento das máquinas de *forming* não correspondia aos valores presentes no manual de fabrico, pelo que se aumentou a velocidade e, graças a isso, o tempo de ciclo da etapa em questão diminuiu. O aumento da velocidade das máquinas é de fácil implementação e não requer investimento de capital, motivo esse pelo que foi decidido implementar a ideia de modo a verificar se existe um aumento de produtividade.

Após o aumento da velocidade das máquinas, não se observou um aumento no OEE da empresa. Este resultado é contraditório com os resultados do modelo de simulação efetuado, pelo que uma inspeção no local de produção foi efetuada. Por existir um aumento da velocidade das máquinas U-M, o nível de esforço dos operários cresce e, para poder controlar a gestão das atividades, os trabalhadores possuem o direito de suspender máquinas individualmente e assim diminuir a carga laboral. Tal eventualidade pode explicar o motivo pelo qual não se verifica aumento de produção e o OEE não se altera. Por este motivo, embora um aumento de velocidade de máquinas pudesse trazer vantagens para a fluidez do fluxo e aumento de produtividade, tal não se constatou.

Este acontecimento pode levar a que alterações futuras no *layout* não tenham impacto no meio de produção. O modelo de simulação permitiu encontrar um cenário alternativo ao atual em que é possível diminuir a quantidade de WIP nas diferentes fases do processo da linha A e aumentar a quantidade de produto final obtido no fim de cada turno. A possibilidade consiste na deslocação de uma máquina U-M da linha B&C e de uma máquina D-ZF da mesma linha, no entanto, tal proposta de *layout* incorre o risco de não alterar as medidas de desempenho, visto que mais recursos mecânicos para a mesma quantidade de operadores pode levar a uma saturação do mesmo, que, embora teoricamente não existe, na prática é verificada pelos mesmos. Seria necessário realizar uma análise financeira de modo a calcular qual o rácio entre retorno e investimento, latente pelo aumento de produção na condição de aumentar o número de operadores fabris ou de envolver os mesmos numa formação comportamental. Assim seria possível permitir que boas práticas de trabalho fossem

possíveis para se realizar a mesma quantidade de trabalho pelo mesmo esforço efetuado, removendo um *muda* dito de excesso de movimentação para se realizar uma operação.

O meio fabril torna-se, por este motivo, um meio complexo. O estudo de caso em questão revela que o modelo de simulação incorre riscos de apenas ser validado e verificado na teoria enquanto que, no sistema real, não retrata a realidade. Um estudo de simulação apenas com um ponto de vista algorítmico não resolve as necessidades de uma empresa e este deve ser complementado com simuladores de comportamentos humanos que permitam prever o comportamento humano face a diferentes cenários.

## 7. Bibliografia

- Adams, M., Compton, P., Czarnecki, H., & Schroer, B. J. (1999). Simulation as a tool for continuous process improvement. *Proceedings of the 31st Conference on Winter simulation: Simulation---A Bridge to the Future*, vol. 1, 766-773. Disponível em: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=324475>. doi: 10.1145/324138.324475
- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, vol. 107 (1), 223-236. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527306002258>. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>
- Altioik, T., & Melamed, B. (2010). *Simulation Modeling and Analysis with Arena*. USA, Elsevier..
- Altuntas S, & Selim H. (2012) Facility layout using weighted association rule-based data mining algorithms: Evaluation with simulation. *Expert Systems with Applications*, vol. 39(1), 3-13. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417411009456>. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.06.045>
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016) Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry, *International Journal of Production Research*, vol. 54 (6), 1708-1720. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207543.2015.1055349>. Doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>
- Carson, I. I., & John, S. (2004, December). Introduction to modeling and simulation. *In Proceedings of the 36th Conference on Winter Simulation* (pp. 9-16). Washington D.C. Winter Simulation Conference.
- Chan, F.T., & Chan, H. K.. (2005) Design of a PCB plant with expert system and simulation approach. *Expert Systems with Applications*, vol. 28(3), 409-423. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417404001460>. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2004.12.002>.
- Chen, W., Guinet, A., & Ruiz, A. (2015), Modeling and simulation of a hospital evacuation before a forecasted flood. *Operations Research for Health Care*, vol. 4, 36-43 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211692314200142>. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.orhc.2015.02.001>
- Clauwaert, S., & Schömann, I. (2012). The crisis and national labour law reforms: a mapping exercise. *European Labour Law Journal*, vol. 3(1), 54-69. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/201395251200300105>. Doi: <https://doi.org/10.1177/201395251200300105>
- Da Silva, J. P. (2009). OEE—A forma de medir a eficácia dos equipamentos. 1-16. Consult. Set.2018, Disponível em: <https://s3.amazonaws.com>

Seth\*, D., & Gupta, V.(2005). Application of value stream mapping for lean operations and cycle time reduction: an Indian case study., *Production Planning & Control*, vol.16(1), 44-59. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09537280512331325281>. Doi: <https://doi.org/10.1080/09537280512331325281>.

Fidel, R. (1984). The case study method: a case study. *Library and Information Science Research*, vol. 6(3), 273-288.

Greasley A. (2008) Using simulation for facility design: A case study. *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol.16(6), 670-677. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1569190X08000671>. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2008.04.009>.

Harpring, R., Evans, G., Barber, R., & Deck, S. M . (2014), Improving efficiency in social services with discrete event simulation. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 70, 159-167. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835214000321>. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.01.016>.

Johansson, R. (2003). Case Study Methodology. *Royal Institute of Techonology and International Association of People Environment Studies*, Consult. Setembro 2018, Disponível em: [http://www.psyking.net/htmlobj-3839/case\\_study\\_methodology-\\_rolf\\_johansson\\_ver\\_2.pdf](http://www.psyking.net/htmlobj-3839/case_study_methodology-_rolf_johansson_ver_2.pdf)

Kellner, M. I., Madachy, R. J., & Raffo, D. M. (1999). Software process simulation modeling: why? what? how?. *Journal of Systems and Software*. vol. 46(2-3), 91-105. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121299000035>. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0164-1212\(99\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0164-1212(99)00003-5).

Kelton, W. D. (2002). *Simulation with ARENA*. McGraw-hill.

Koskela, L. (2004). *Making-do—The Eighth Category of Waste*. Disponível em: <http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/26019/>

Law, A. M., Kelton, W. D., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Modeling and Analysis* (Vol. 2). New York: McGraw-Hill.

Maria, A. (1997). Introduction to modeling and simulation. *Proceedings of the 29th Conference on Winter Simulation*. 7-13 Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/221525865\\_Introduction\\_to\\_Modeling\\_and\\_Simulation](https://www.researchgate.net/publication/221525865_Introduction_to_Modeling_and_Simulation). Doi: 10.1109/WSC.1997.640371

Negahban, A., & Smith, J. S.(2014). Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis. *Journal of Manufacturing Systems*. vol. 33(2), 241-261. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612513001301>. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.12.007>.

Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. Portland, Oregon: Productivity Press

- Ponte, J. P. (2006). Estudos de caso em educação matemática. *Bolema*, vol. 25, 105-132. Disponível em <http://repositorio.ul.pt/handle/10451/3007>. Doi: <http://hdl.handle.net/10451/3007>
- Sargent, R. G. (2009). Verification and validation of simulation models. *Proceedings of the 37th Conference on Winter Simulation*. 162-176. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5429327>. Doi: 10.1109/WSC.2009.5429327
- Sargent, R. G. (2013). An introduction to verification and validation of simulation models. *Simulation Conference (WSC)*, 321-327. Disponível em <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2676023>. Doi: 10.1109/WSC.2013.6721430
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, vol. 52(3/4), 591-611. Disponível em [https://www.jstor.org/stable/2333709?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/2333709?seq=1#page_scan_tab_contents). Doi: 10.2307/2333709.
- Silva, I. B. D., Miyake, D. I., Batocchio, A., & Agostinho, O. L. (2011). Integrando a promoção das metodologias Lean Manufacturing e Six Sigma na busca de produtividade e qualidade numa empresa fabricante de autopeças. *Gestão & Produção*. Disponível em <http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/25961>. Doi: 10.1590/S0104-530X2011000400002.
- Robinson, S. (2008). Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. *Journal of the Operational Research Society*, vol. 59(3), 278-290. Disponível em <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/palgrave.jors.2602368>. Doi: <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602368>.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Brookline, MA: The Lean Enterprise Institute, Inc.
- Vasudevan, K., Lammers, E. J., Williams, E. J., & Åoelgen, O. M. (2010) Application of simulation to design and operation of steel mill devoted to manufacture of line pipes. *2010 Second International Conference on Advances in System Simulation*, 1-6. Disponível em <https://www.computer.org/csdl/proceedings/simul/2010/4142/00/4142a001-abs.html>. Doi: 10.1109/SIMUL.2010.11
- Wang, G., Yan, Y., Zhang, X., Shangguan, J., & Xiao Y. (2008) A simulation optimization approach for facility layout problem. *IEEM 2008. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 734-738. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4737966> .doi: 10.1109/IEEM.2008.4737966.
- Wireman, T. (2004). *Total Productive Maintenance*. United States of America: Industrial Press Inc..
- Welbourne, T. M. (2007). Employee engagement: Beyond the fad and into the executive suite. *Leader to Leader*. Vol.44, 45-51. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ltl.231>. Doi: <https://doi.org/10.1002/ltl.231>
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1996). Beyond Toyota: how to root out waste and pursue perfection. *Harvard Business Review*, vol. 74(5), 140-158. Disponível em <https://pdfs.semanticscholar.org/cd5a/6aab5cc62905c0e31cb04aeacf8f25e2a1b6.pdf>

Wray, L. R. (2008). *The Commodities Market Bubble: Money Manager Capitalism and the Financialization of Commodities* (No. 96). Public policy brief//Jerome Levy Economics Institute of Bard College. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10419/54236>

## Anexo: Valores de WIP nos diferentes cenários estudados

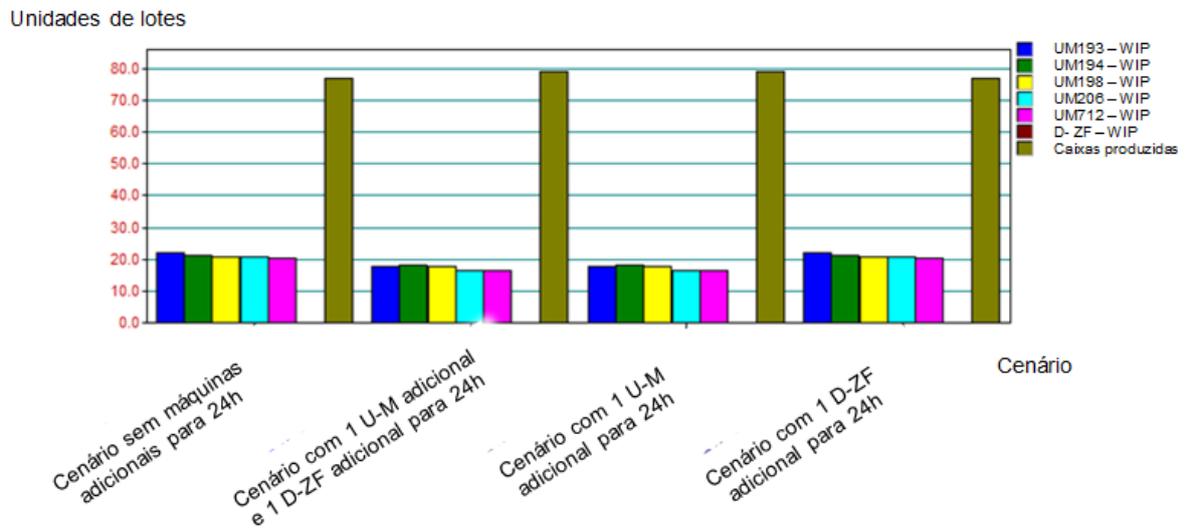


Figura A-1 - Valores de WIP de diferentes cenários para um período de 24h (correspondente a um dia de trabalho ou três turnos)

Unidades de lotes de WIP na fila da máquina Doctor Z-Folder

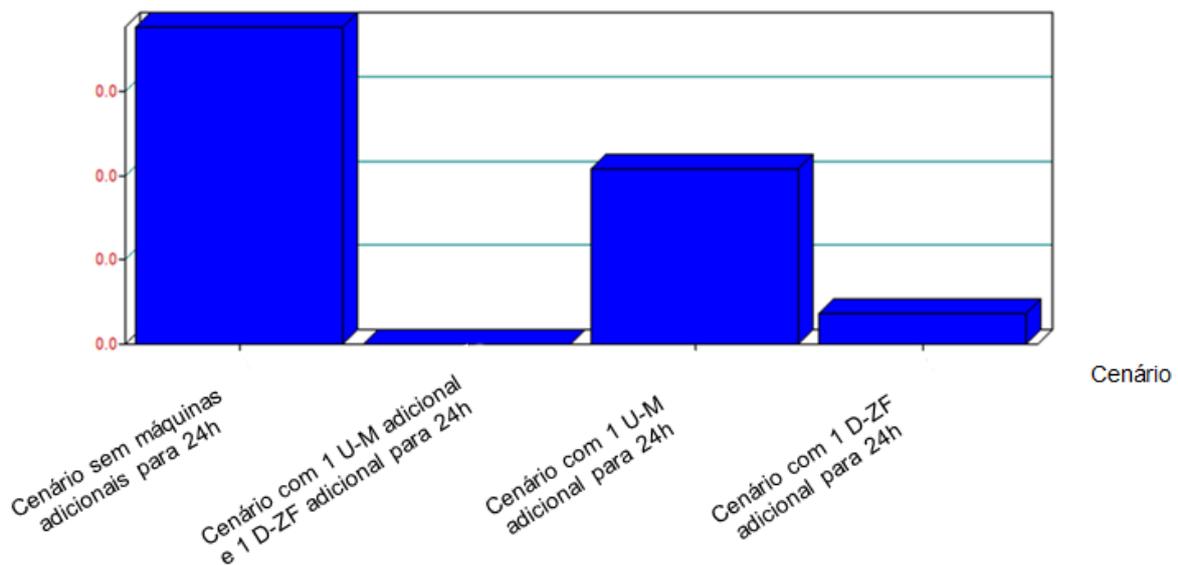


Figura A-2 - Comparação de valores de WIP na fase de D-ZF para uma replicação de 24h.

Unidades de lotes

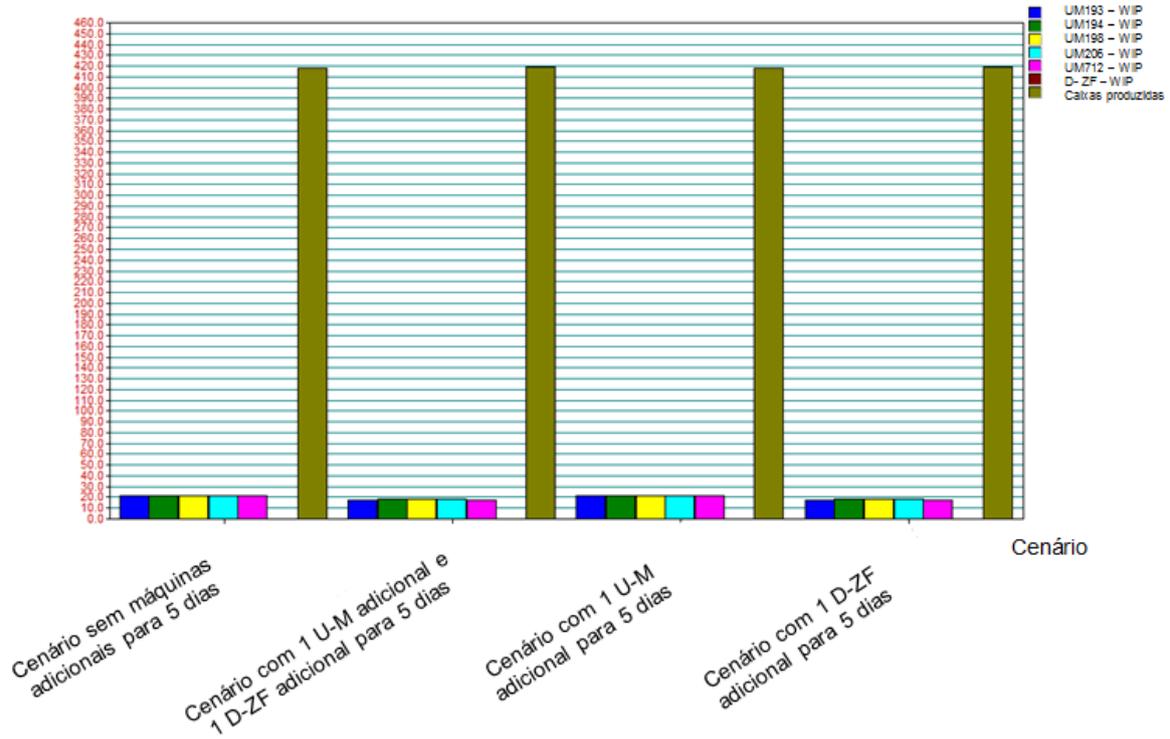


Figura A-3 - Valor de valores de WIP de diferentes cenários para um período de 5 dias (correspondente a uma semana de produção que é o valor contínuo máximo)

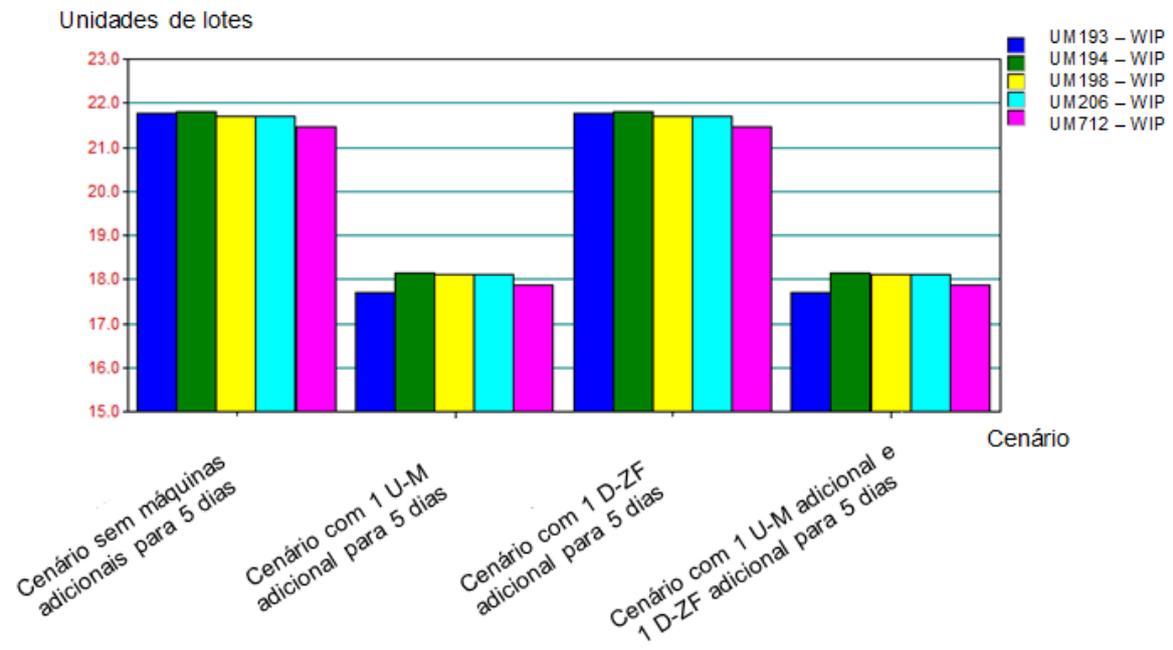


Figura A-4 - Comparação de valores de WIP na fase de Forming para uma replicação de 5 dias.

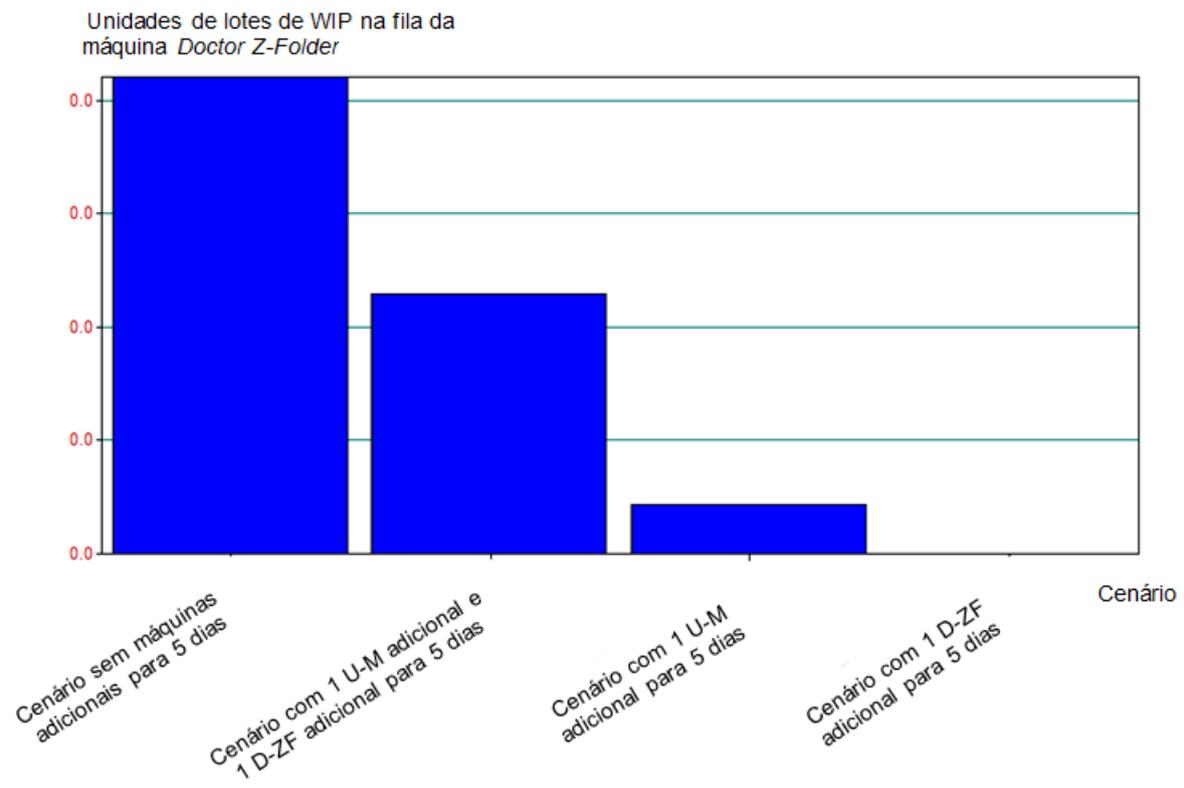


Figura A-5 - Comparação de valores de WIP na fase de D-ZF para uma replicação de 5dias.