



**Ana Catarina Martins  
de Almeida e Silva**

**Melhoria do Desempenho Operacional de Linhas de  
Montagem de Estruturas de Sistemas Sanitários**



**Ana Catarina Martins  
de Almeida e Silva**

**Melhoria do Desempenho Operacional de Linhas de  
Montagem de Estruturas de Sistemas Sanitários**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Prof. Doutora Ana Luísa Ramos, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

*“Inspiration exists, but you have to find it working.”- Pablo Picasso*

Dedico este trabalho àqueles que são a minha maior inspiração, todos os dias:  
à minha mãe, ao meu pai, ao meu irmão e ao Gonçalo.

## **o júri**

presidente

**Prof. Doutor José António de Vasconcelos Ferreira**

Professor Associado do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Marlene Ferreira de Brito**

Professora Adjunto Convidada do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Superior de Engenharia do Porto

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Ana Luísa Andrade Ramos**

Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

## **agradecimentos**

Agradeço à OLI, pela confiança depositada e pela oportunidade de crescimento profissional.

Ao Engenheiro Miguel Reis, ao engenheiro Francisco Jiménez e a todo o departamento de engenharia, pelo conhecimento transmitido e bom ambiente proporcionado.

A todos os trabalhadores das linhas ES001 e ES002, pela paciência e disponibilidade demonstrada, facilitando o desenvolvimento do projeto e proporcionando um alcance mais rápido dos objetivos.

Às minhas colegas, por todo o apoio desde o início deste desafio.

À Professora Doutora Ana Luísa Ramos, um sincero obrigada, pela orientação e sabedoria, e por todos os conselhos dados.

Aos meus amigos, que me têm acompanhado enquanto estudante e ao longo da vida, por todas as experiências partilhadas e pela mão amiga na superação de todos os obstáculos.

À Aida, ao Francisco e ao Vasco, um obrigada de coração, por tornarem mais fáceis todos os dias menos bons e pelo amparo, desde o primeiro dia.

A toda a minha família, que definiu a pessoa que sou hoje, com toda a educação e valores transmitidos. E, em especial, agradeço ainda aos meus avós, pais e irmão, por me terem proporcionado todas as oportunidades, pelos sacrifícios e pela força incessante e ao Gonçalo, por todo o amor e dedicação. Serão sempre o meu maior orgulho, estou-vos eternamente grata.

## palavras-chave

*Routings, Methods-Time Measurement, Ergonomia, Simulação*

## resumo

A concorrência entre organizações aliada à globalização tem-se sentido na necessidade de definição do processo. Surge um cliente cada vez mais exigente, impondo prazos cada vez mais rígidos, causando problemas de capacidade nas empresas.

Neste seguimento, o projeto teve lugar na OLI- Sistemas Sanitários, S.A., mais precisamente nas linhas de montagem de estruturas para autoclismos interiores, que experienciaram um crescimento da sua procura e com previsão de aumento nos próximos anos. Foi utilizada uma metodologia de *action research* para se atingirem os objetivos, isto é, com análise direta do chão de fábrica e com tentativa-erro.

O presente trabalho teve como intuito o cálculo dos tempos de operação dos diferentes códigos de produto utilizando o MTM, com a criação de um procedimento de afetação de tarefas por posto de trabalho, de forma a reduzir tempo de não valor acrescentado. Foi ainda objetivo deste projeto, uma análise ergonómica para posterior estudo de uma proposta de melhoria, fazendo a sua simulação no *software* Arena, utilizando os tempos inicialmente calculados como base.

O procedimento de afetação de tarefas revelou-se mais eficiente do que o método anteriormente usado pela empresa nos três KPIs analisados: diferença entre os *routings* (em unidades produzidas por hora), diferença da folga entre postos (em segundos) e diferença de inatividade (em %). A ergonomia, dos nove tópicos que foram analisados, num *check-up* geral que se realizou às linhas, era o que possuía uma pontuação final mais baixa. O estudo de simulação da proposta de melhoria revelou a redução de parte das atividades de risco a nível ergonómico, levando a um aumento da pontuação deste tópico, subindo de 30% para 65%. A automatização revelou também à empresa que ficaria melhor preparada para o crescimento dos produtos montados nas linhas em análise, prevendo-se um aumento de 390 caixas produzidas por turno de trabalho.

**keywords**

Routings, Methods-Time Measurement, Ergonomics, Simulation

**abstract**

Competition between organizations allied with globalization has been reflecting the need of process definition. Thus, emerge a more challenging client, with more strict deadlines, leading to capacity problems in the companies.

With this being said, the project took place at OLI- Sistemas Sanitários, S.A., more precisely in the lines of assembly of structures to interior flushings, which experienced an increase of its demand, with a prediction of growth in the following years. An action research methodology was utilized to achieve the goals, with a direct analysis of the shop floor and a trial-error approach.

The following work aimed to calculate the operations time of the different products using MTM, with a procedure to affect the tasks between the workstations, in order to reduce time of non-added value. Another objective of this study was an ergonomic analysis with a subsequent simulation study using Arena software, with the operations time calculated at the beginning as basis.

The procedure to affect the tasks between the workstations came out more efficient than the method previously used by the company in the three KPIs analyzed: difference between routings (in units produced per hour), difference of inactivity time between workstations (in seconds) and difference between downtime (in %). Ergonomics, in the nine topics analyzed, in a general check-up done to the lines, was the one with a lower score. The simulation study of the proposal improvement revealed a reduction of a great part of the activities with ergonomic risk, leading to an increase of the score of this topic, increasing from 30% to 65%. The automatization also revealed to the company that they would be better prepared to the growth of the products assembled in the lines analyzed, with an expectation of more 390 boxes produced per work shift.





# Índice

<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Enquadramento.....	3
1.2 Motivação e contextualização.....	3
1.3 Objetivos do projeto.....	4
1.4 Metodologia .....	4
1.5 Estrutura do documento .....	5
<b>2. Enquadramento teórico</b> .....	<b>7</b>
2.1 Gestão de operações.....	9
2.2 Estudo de tempos.....	10
2.3 MTM ( <i>Methods Time Measurement</i> ) .....	10
2.3.1 Contextualização dos sistemas de tempos pré determinados.....	10
2.3.2 Sistemas de análise MTM .....	14
2.3.3 Método básico MTM .....	14
2.4 Ergonomia .....	22
2.4.1 Origem e definição .....	22
2.4.2 Objetivos da Ergonomia .....	23
2.4.3 Ergonomia e MTM .....	24
2.5 Simulação .....	24
2.5.1 Evolução .....	24
2.5.2 Passos de um estudo de Simulação.....	25
2.5.3 DES, ABS e SDS.....	27
2.5.4 Vantagens e desvantagens .....	29
2.5.5 O Arena.....	30
<b>3. Caso de estudo</b> .....	<b>31</b>
3.1 A empresa: OLI- Sistemas Sanitários, S.A. ....	33
3.1.1 Evolução cronológica.....	35
3.1.2 Inovação .....	35
3.1.3 Produtos .....	36
3.1.4 Posição no mercado .....	36
3.1.5 Estrutura organizacional.....	37
3.1.6 Processo produtivo.....	38
3.1.7 Departamento de Engenharia .....	39
3.2 Situação inicial .....	39

3.2.1 Processo.....	39
3.2.2 Diagnóstico .....	41
3.2.3 Forma-ação.....	42
3.3 Implementação.....	43
3.3.1 Implementação do MTM.....	43
3.3.2 Análise ergonómica .....	51
3.3.3 Estudo de simulação.....	52
<b>4. Análise e discussão de resultados.....</b>	<b>59</b>
4.1 MTM .....	61
4.2 Ergonomia .....	63
4.3 Simulação .....	63
<b>5. Conclusão e trabalhos futuros .....</b>	<b>67</b>
5.1 Conclusão .....	69
5.2 Trabalhos futuros .....	70
<b>Referências.....</b>	<b>71</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>75</b>

# Índice de figuras

Figura 1- Metodologia adotada.....	5
Figura 2- Variáveis de um processo produtivo (adaptado de: Deutsche MTM,2005) .....	10
Figura 3- Evolução dos sistemas de tempos pré-determinados (adaptado de: Deutsche MTM, 2005).....	13
Figura 4- Variantes do MTM (adaptado de: Deutsche MTM, 2005) .....	14
Figura 5- Aplicação do MTM (adaptado de: Deutsche MTM, 2005).....	15
Figura 6- Tipos de análise no MTM (adaptado de: Deutsche MTM, 2005).....	15
Figura 7- Parâmetros que afetam a determinação dos tempos .....	16
Figura 8- Ciclo básico de movimentos (adaptado de: Deutsche MTM, 2005) .....	16
Figura 9- Conjuntos de movimentos no MTM .....	17
Figura 10- Passos de um estudo de simulação (adaptado de: Banks et al., 2010; Law & Kelton, 1991; Sargent, 2013).....	25
Figura 11- DES, ABS e SDS .....	28
Figura 12- A empresa (Fonte: <a href="https://www.oli-world.com/pt/empresa/a-oli-/">https://www.oli-world.com/pt/empresa/a-oli-/</a> ) .....	33
Figura 13- Grupo SILMAR (Imagem cedida pela OLI) .....	34
Figura 14- Evolução cronológica na OLI .....	35
Figura 15- <i>Timeline</i> de inovações (Imagem cedida pela OLI).....	36
Figura 16- Produtos.....	36
Figura 17- Principais obras .....	37
Figura 18- Estrutura organizacional (Imagem cedida pela OLI) .....	37
Figura 19- Processo produtivo .....	38
Figura 20- <i>Layout</i> (adaptado de: imagem cedida pela OLI) .....	38
Figura 21- Posto 1 e posto 2 das linhas ES001 e ES002 .....	40
Figura 22- Esquema BPMN simplificado do processo das linhas .....	40
Figura 23- <i>Layout</i> das linhas.....	41
Figura 24- Condições ergonômicas desfavoráveis .....	42
Figura 25- Esquema BPMN do processo de criação/ atualização de um <i>routing</i> .....	44
Figura 26- Afetação de tarefas por posto e tempo de ocupação .....	48
Figura 27- Primeira página da instrução de manufatura do OLI74 Simflex .....	49
Figura 28- Segunda página da instrução de manufatura do OLI74 Simflex .....	50
Figura 29- Gráfico ErgoSafeCl.....	52
Figura 30- Gráfico da análise ABC por quantidade relativo ao ano de 2019 .....	53
Figura 31- Gráfico da análise ABC por valor relativo ao ano de 2019.....	53
Figura 32- Animação da simulação da situação inicial.....	57

Figura 33- Animação da simulação da proposta de melhoria.....	57
Figura 34- Legenda das animações do estudo de simulação .....	58
Figura 35- <i>Routings</i> (un/h) obtidos pelas duas formas de cálculo MTM utilizadas .....	61
Figura 36- Folgas entre postos (s) pelas duas formas de cálculo MTM utilizadas .....	62
Figura 37- % de inatividade pelas duas formas de cálculo MTM utilizadas.....	62
Figura 38- Gráfico do tempo médio em fila de espera (horas)- Situação inicial.....	65
Figura 39- Gráfico do tempo médio em fila de espera (horas)- Proposta melhoria .....	65

## Índice de tabelas

Tabela 1- Tabela de cálculo MTM (Deutsche MTM, 2005) .....	17
Tabela 2- Tabela de tempos MTM (movimentos simultâneos) (Deutsche MTM, 2005) .....	18
Tabela 3- Tabela de tempos MTM (torcer e movimentos do corpo) (Deutsche MTM, 2005) .....	19
Tabela 4- Tabela de tempos MTM (mover, juntar, premir e separar) (Deutsche MTM, 2005) .....	20
Tabela 5- Tabela de tempos MTM (alcançar, pegar e soltar) (Deutsche MTM, 2005) .....	21
Tabela 6- Ocupação prevista para 2020.....	41
Tabela 7- <i>Check-list</i> do processo de criação/ atualização de um <i>routing</i> .....	45
Tabela 8- Lista de operações no documento de cálculo MTM .....	45
Tabela 9- Cálculo MTM da primeira operação da lista .....	46
Tabela 10- <i>Routings</i> sem afetação de tarefas por postos.....	46
Tabela 11- <i>Routings</i> com afetação de tarefas por postos.....	47
Tabela 12- Fatores ergonômicos analisados .....	51
Tabela 13- Estrutura de produto CR11000601932 .....	54
Tabela 14- Recolha de tempos.....	55
Tabela 15- Resultados do estudo de simulação.....	64
Tabela 16- <i>Routings</i> sem afetação de tarefas para o código simulado .....	64

## Índice de anexos

Anexo 1- Análise ABC por quantidade relativo ao ano de 2019 .....	75
Anexo 2- Análise ABC por valor relativo ao ano de 2019.....	76
Anexo 3- Esquema no Arena da situação inicial .....	77
Anexo 4- Esquema no Arena da proposta de melhoria .....	79
Anexo 5- Artigo.....	80

## Lista de siglas e acrónimos

<b>MTM</b>	<i>Methods Time Measurement</i>
<b>MTA</b>	<i>Motion Time Analysis</i>
<b>WF</b>	<i>Work Factor</i>
<b>MTS</b>	<i>Motion Time Survey</i>
<b>BMT</b>	<i>Basic Motion Time</i>
<b>DMT</b>	<i>Dimensional Motion Time</i>
<b>MTM- SD</b>	<i>Methods Time Measurement- Standard Data</i>
<b>MTM- UAS</b>	<i>Methods Time Measurement- Universelles Analysier System</i>
<b>ERS</b>	<i>Ergonomics Research Society</i>
<b>MSD</b>	<i>Musculoskeletal Disorders</i>
<b>CTD</b>	<i>Cumulative Trauma Disorders</i>
<b>IEA</b>	<i>International Ergonomics Association</i>
<b>DES</b>	<i>Discret Event Simulation</i>
<b>ABS</b>	<i>Agent Based Simulation</i>
<b>SDS</b>	<i>System Dynamics Simulation</i>
<b>PDCA</b>	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
<b>IFS</b>	<i>Industrial &amp; Financial Systems</i>
<b>KPI</b>	<i>Key Performance Indicator</i>



# Capítulo 1

---

## Introdução

---





# Introdução

Este primeiro capítulo tem como intenção primordial enquadrar o projeto que foi descrito ao longo deste relatório. Foi especificada a motivação que levou a cabo este trabalho, contextualizando-o e enumerando os seus objetivos. Foi ainda estabelecida a metodologia que se adotou e apresentada a estrutura do presente documento.

## 1.1 Enquadramento

Ao longo dos últimos anos, e aliado à globalização e crescente competitividade entre as empresas, surgiu a necessidade de definição do processo. Isto engloba, desde os tempos de ciclo, em função do método utilizado, às instruções de manufatura, à própria melhoria constante e busca pela automatização dos processos.

O MTM (*Methods Time Measurement*) é um sistema que permite o cálculo dos tempos de operação em função do método definido. Este pressupõe também, numa fase posterior, que se deixe documentado, esse mesmo método, em instruções de manufatura. Este método, por sua vez, para além da utilidade inerente ao conhecimento dos tempos de operação para o quotidiano da empresa, pode também servir para calcular tempos como base para outros estudos, como um estudo de simulação. Por sua vez, o estudo de simulação pode ser usado para analisar a viabilidade de propostas de melhoria e de automatização, que mais especificamente neste caso, vieram reduzir algumas atividades de risco, a nível ergonómico, para os trabalhadores.

O projeto tomou lugar em contexto empresarial, na OLI- Sistemas Sanitários, S. A., em Aveiro, e o objetivo passou por um estudo de simulação de uma proposta de melhoria, baseada numa automatização, tendo em vista a redução de atividades que representam risco de contração de doenças musculoesqueléticas relacionadas com o trabalho, utilizando o MTM como ferramenta para o cálculo dos tempos base. A necessidade de automatização e melhoria do processo das linhas em análise, objetivo primordial estabelecido pela empresa, surgiu com a forte procura e tendência de crescimento que estes produtos têm sofrido.

As linhas em estudo são as linhas das estruturas (ES001 e ES002). As estruturas são uma tipologia de autoclismo que a OLI produz e, as linhas mencionadas previamente inserem-se, a nível do macroprocesso, na etapa da montagem.

## 1.2 Motivação e contextualização

O trabalho aqui apresentado decorreu no âmbito da realização da dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia e Gestão Industrial, em contexto empresarial, resultante de uma parceria entre a Universidade de Aveiro e a OLI- Sistemas Sanitários, S.A..

Ao longo dos 8 meses de estágio foi desenvolvido o projeto no Departamento de Engenharia. Na OLI, uma das áreas que tem sofrido maior crescimento ao longo dos últimos anos, e com perspetivas de continuação, é a de estruturas para autoclismos interiores (linhas ES001 e ES002). Para além disto, com a evolução do mercado e as necessidades distintas que

os diferentes consumidores apresentam, tem havido a necessidade de diferenciar o produto ao máximo detalhe. A OLI, ao acompanhar esta tendência, tem vários códigos de produtos semelhantes, mais especificamente para as duas linhas de montagem em estudo, mas que necessitam da sua análise individualizada e documentação específica.

É exatamente baseada nesta tendência de crescimento e necessidade de análise individualizada por códigos de produto que surge o projeto. Os objetivos passaram então por individualizar o cálculo dos tempos de operação dos diferentes códigos utilizando a metodologia MTM e posterior divisão das tarefas pelos trabalhadores para redução de tempo de não valor acrescentado. Findas estas etapas foram elaboradas as instruções de manufatura. De seguida foi efetuada uma análise ergonómica para posterior estudo de uma proposta de melhoria, fazendo a sua simulação no *software* Arena, para melhorar os tempos e reduzir algumas das operações de risco. Desta forma, e tendo sido atingida uma melhoria dos tempos de operação, a empresa ficou melhor preparada para o crescimento que se tem sentido pela procura destes produtos.

### 1.3 Objetivos do projeto

No seguimento do que foi mencionado no subcapítulo anterior, seguem-se os pontos seguintes, que definem mais concretamente os objetivos que se pretendiam atingir:

- Analisar o funcionamento interno para a criação ou atualização de um *routing* (unidades/ hora produzidas);
- Documentar o processo anterior e criação de uma *check-list* para orientação do mesmo processo;
- Analisar qual o melhor método para realizar as diferentes operações que ocorrem na montagem das estruturas;
- Calcular os tempos de operação por código de produto usando o MTM;
- Recolher tempos para confirmação dos cálculos MTM e obtenção de desvios padrão para o posterior estudo de simulação;
- Criar procedimento para distribuição das tarefas pelos trabalhadores para redução de tempo de não valor acrescentado;
- Atualizar as instruções de manufatura por família de produto;
- Realizar uma análise ergonómica (*check-up*) ao estado atual das linhas;
- Simular uma proposta de melhoria usando como base os tempos de operação calculados;
- Verificar o impacto e analisar os resultados da possível implementação da melhoria.

### 1.4 Metodologia

Em termos teóricos, foi revista a literatura para enquadrar os tópicos que são abordados neste estudo. Essa revisão permitiu um conhecimento mais profundo das diferentes temáticas e possibilitou a perceção de como outros autores abordaram estes tópicos noutros casos práticos.

De forma geral, e já em termos práticos, pode-se afirmar que a metodologia adotada para este projeto seguiu uma estratégia de *action research*. Segundo O'Brien (2001) e Alves et al. (2009), essa metodologia baseia-se no aprender-fazendo, ou seja, tem por base estudo de campo e a aquisição de conhecimento com prática. Para tal há a identificação do problema, possíveis ações corretivas, definir como se vai agir para tomar essas mesmas ações corretivas, análise dos resultados e possíveis iterações seguintes, caso estes resultados não sejam satisfatórios, como esquematizado na figura 1.



Figura 1- Metodologia adotada

No caso particular deste projeto, o diagnóstico, para além do observado nas linhas numa primeira análise, deu-se também quer com o estudo de tempos MTM, pelo conhecimento profundo que exige do processo, que leva a questionar e levantar possíveis ações corretivas, quer pelo próprio *check-up* e análise ergonómica que se fez ao estado atual da linha, utilizando a ferramenta ErgoSafeCI (trabalho original de: Brito et al., 2019). De seguida planeou-se então qual a solução que se queria testar a viabilidade, conducente a melhorias, passando para a sua “implementação” no estudo de simulação e, avaliação e aprendizagem, com a análise dos resultados do mesmo estudo.

## 1.5 Estrutura do documento

O presente documento encontra-se dividido em 5 capítulos. Inicia-se com a introdução e enquadramento do estudo descrito ao longo do relatório, onde se apresenta a motivação, contextualização e objetivos, bem como a metodologia adotada e a estrutura do documento.

O segundo capítulo trata a revisão da literatura, fazendo um enquadramento teórico para suportar e sustentar o que é aplicado nos capítulos seguintes.

No terceiro capítulo é apresentada a empresa onde tomou lugar o projeto, a OLI-Sistemas Sanitários, S.A.. Para além disto, é exposto o problema, apresentando-se o processo e fazendo-se o diagnóstico. É neste capítulo que se apresenta tudo o que foi realizado, na prática, no decurso do projeto, pelo que são apresentadas também todas as ações tomadas.

No quarto capítulo são analisados todos os resultados decorrentes das ações implementadas ou estudadas.

Por último, no quinto capítulo, apresentam-se as principais conclusões e são ainda apresentadas as propostas para estudos futuros.

# Capítulo 2

---

## Enquadramento teórico

---



# Enquadramento teórico

Este capítulo diz respeito ao enquadramento teórico do projeto, contendo a revisão da literatura e estado de arte dos assuntos abordados neste estudo, estando dividido em cinco subcapítulos. O primeiro diz respeito à Gestão de Operações e, visto ser esta área muito abrangente, tem apenas como objetivo enquadrar os tópicos seguintes para percebermos onde eles se inserem e como se relacionam. O segundo aborda muito brevemente o estudo de tempos, como enquadramento do subcapítulo seguinte, onde se aborda a metodologia MTM, contextualizando e mencionando também os sistemas de tempos pré-determinados como ponto de partida para o surgimento do método. De seguida é feita a diferenciação das várias abordagens que o MTM pode ter e por último é explicado o método básico, que será o utilizado. O subcapítulo seguinte aborda a Ergonomia, falando da sua origem e definição, objetivos e ainda como esta ciência se relaciona com o *Methods Time Measurement*. Por último, o quinto subcapítulo, aborda os estudos de Simulação, onde é dada a conhecer a sua evolução, passos para um estudo, os diferentes paradigmas, vantagens e desvantagens, bem como uma breve descrição do *software* utilizado, o Arena.

## 2.1 Gestão de operações

A gestão de operações é uma área da gestão industrial muito ampla e com inúmeras atividades associadas. Para além do ambiente em que opera, as funções incluem muitas atividades interrelacionadas, como previsões, planeamento de capacidades, planificação, gestão de inventários, garantia de qualidade, motivação dos trabalhadores, entre outras (Stevenson, 2012).

Mais inserido no planeamento, surge a necessidade de se saber exatamente o tempo necessário para cada atividade, em cada processo. Dentro das muitas variáveis que causam perturbações nos processos de fabrico, o tempo usado para cada atividade é definitivamente um fator essencial para determinar a eficácia e produtividade de qualquer organização (Assef et al., 2018). Geralmente, as empresas querem tempos de trabalho curtos para satisfazer os objetivos de produção e aumentar rentabilidade (Budiman et al., 2019), para isso, as empresas têm procurado usar novos métodos com o propósito de redução de tempo e custos do produto e nas fases de desenvolvimento do processo (Machado et al., 2019). Um método altamente utilizado para testar essas melhorias e para o desenvolvimento de novos sistemas ou análise de diferentes cenários para melhoria do processo e tomada de decisão é a simulação (Dode et al., 2016). Esta também se relaciona com o planeamento da produção, com a antecipação de eventos futuros, e com o controlo de produção, como ferramenta que ajuda a reagir e tomar decisões do quotidiano (Lahti et al., 2020). Ao longo dos anos, o planeamento a longo prazo tem usado a simulação, design e monitorização de sistemas de manufatura (Tavakoli et al., 2008).

O *Methods Time Measurement* (MTM), abordado no terceiro subcapítulo, é uma ferramenta que auxilia no cálculo do tempo de processamento e tem vindo a experienciar um aumento do seu uso por parte das empresas. Por vezes também é utilizado como base para calcular tempos de operação para estudos de simulação (Machado et al., 2019).

## 2.2 Estudo de tempos

Novos desenvolvimentos na indústria foram motivados pela melhoria da eficiência produtiva, o que resultou numa necessidade generalizada de controlo do tempo (Wu et al., 2016).

Frederick W. Taylor é dos autores mais conhecidos no que concerne ao estudo de tempos. O ponto de partida foi em 1881, na *Midvale Steel Company*, onde este identificou a carência de informação relativamente aos métodos de produção fabris, diretamente relacionados com a falta de motivação dos trabalhadores (Schachter, 2015). Este definiu que para se determinar um tempo padrão normal é necessário a subdivisão em elementos de trabalho da operação, descrevendo-os e medindo com um cronómetro, não esquecendo de adicionar compensações que tenham em consideração os tempos de espera e a fadiga dos colaboradores (Maynard, 1970).

É ainda importante referir que a margem de erro diminui, aumentando o grau de confiança destes estudos de tempos, quando aumenta o número de observações registadas, ou seja, quanto maior o número de cronometragens efetuadas (Roldão & Ribeiro, 2014).

## 2.3 MTM (*Methods Time Measurement*)

### 2.3.1 Contextualização dos sistemas de tempos pré-determinados

Segundo Deutsche MTM (2005) os processos produtivos são desenhados com a variável tempo a assumir uma posição central. Apesar da sua importância, os custos, o mercado, os recursos humanos e a qualidade, que também afetam o design do processo, são geridos em função do tempo, como ilustrado na figura 2.



Figura 2- Variáveis de um processo produtivo (adaptado de: Deutsche MTM, 2005)

Cada uma das variáveis é afetada pelo tempo em inúmeras formas, como descrito de seguida.



### Custos

Para a capacidade de produção, tempo efetivo de utilização e afetação de recursos humanos. Pode ser usado para calcular custos previstos com mão-de-obra para uma linha de montagem (Teiwes et al., 2016).

### Mercado

Tempo de entrega das encomendas e tempo de reação à evolução do mercado e suas oscilações.

### Recursos Humanos

Afetação dos recursos humanos em função do tempo necessário.

### Qualidade

Na medida em que um dos fatores mais valorizados pelo cliente é o tempo de reação e entrega baixos.

Depois da incorporação e integração de todos estes fatores é necessário ter em consideração a gestão de tempo. O aperfeiçoamento de sistemas de trabalho é conseguido com a análise dos seus diferentes elementos sem esquecer os princípios de movimento económico. Para conseguir um processo eficiente, o sistema de trabalho tem de ser desenhado integrando os melhores movimentos com o conceito de eficiência energética (Bakhtiar et al., 2019). Segundo Wu et al. (2016), a grande mais valia surge numa fase de projeto, com a possibilidade de prever tempos de processos sem que estes estejam implementados.

Um sistema de tempos pré-determinado (PMTS) é definido como metodologias para determinação de tempos planeados de tarefas totalmente influenciáveis pelo elemento humano de um sistema de trabalho. Da aplicação destes sistemas de tempos pré-determinados surgem orientações para a conformação de métodos e postos de trabalho (como citado em Deutsche MTM, 2005). Segundo Alkan et al. (2016), os PMTS dividem as operações em movimentos básicos realizados pelo ser humano, e classificam cada um deles de acordo com a natureza do movimento.

Neste âmbito, surgem dois nomes importantes que trouxeram contributos significativos na área:

- F. W. Taylor (1856 - 1915)
- F. B. Gilbreth (1868 - 1924)

Podemos destacar aqui o contributo de Frank Bunker Gilberth que percebeu que o tempo de execução de uma atividade, com condições semelhantes de treino (habilidade), aptidão (capacidade) e performance (esforço) dependem exclusivamente do método utilizado. Enquanto Gilberth se ocupou mais do estudo do método, Taylor teve projeção em relação ao estudo de tempos, como mencionado no subcapítulo anterior.

O tempo necessário para cada tarefa é influenciado pela performance de outras tarefas no mesmo processo (Harari et al., 2018). Isto prova que a mais valia do MTM é, para além da análise do tempo despendido, a análise do método utilizado. O analista deve tentar abstrair-se da forma como habitualmente os operadores atuam e pensar na forma mais eficiente de o fazer. De forma breve, a medição de trabalho é um método de determinação do

balanço entre as atividades humanas e as unidades de saída de produção (Bakhtiar et al., 2019).

Cunha (2012) enumera algumas vantagens decorrentes de um estudo de tempos tendo em consideração o método:

- Eficiência aumentada na formação;
- Processos e produtos melhorados;
- Variedade do produto é reduzida;
- Redução de custos com a formação de novos trabalhadores;
- Maior eficácia e rapidez na execução, depois de conhecidas novas tarefas.

Gaspar (2016), por outro lado, enumera quatro etapas para um estudo de tempos, que se encontram descritas de seguida.

#### Fase 1- Seleção

Fase onde se decide o tópico em estudo e se reúne toda a documentação relacionada necessária.

#### Fase 2- Medição

Nesta fase é importante que todos os cenários sejam expostos para se obterem dados o mais autênticos possível.

#### Fase 3- Avaliação

Etapas onde se avaliam as hipóteses levantadas na fase anterior.

#### Fase 4- Padronização

Realização prática do trabalho. Obtenção dos tempos em função do método escolhido.

Ao longo dos anos várias abordagens foram surgindo e as já existentes foram melhoradas. Entre 1920 e 1930 surgiu o MTA (*Motion Time Analysis*) com a publicação de sugestões para o desenvolvimento de sistemas de tempos pré-determinados por Rudolf Thun em Berlim. Entre 1940 e 1950 é publicado o WF (*Work Factor*) e o MTM (*Methods Time Measurement*) com início do seu desenvolvimento já na década anterior. Entre 1950 e 1960 surge o MTS (*Motion Time Survey*), BMT (*Basic Motion Time*), DMT (*Dimensional Motion Time*) e há ainda a primeira aplicação do MTM na Alemanha. Entre 1960 e 1970 surge o MTM-SD (*Standard Data*), o MTM2 e o MTM3. Na década seguinte surgem o MTM-BSD, MTM-UAS (*Universelles Analysier-System*) e ainda o MTM-MEK, como ilustrado na figura 3.

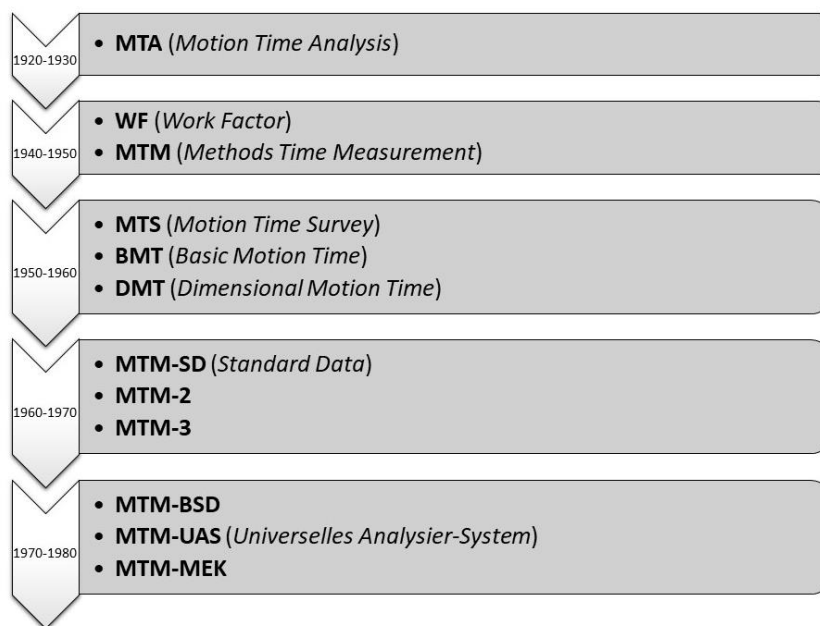


Figura 3- Evolução dos sistemas de tempos pré-determinados (adaptado de: Deutsche MTM, 2005)

Roberto et al. (2017) afirmam que métodos e tempos é considerado um sistema de trabalho adotado pelas empresas, que levam a que a variabilidade do processo se reduza, com a eliminação de desperdício e a realização de ações que acrescentam valor para o cliente.

O sistema básico MTM surgiu nos anos 40 do século XX, nos Estados Unidos da América. Surgiu como base para outros sistemas de dados mais condensados e teve o seu reconhecimento com a publicação da obra *Methods Time Measurement* em 1948.

Gaspar (2016) refere-se ao MTM como sendo o que apresenta maior precisão e rigor, de entre outros métodos para determinação de tempos, como a comparação e a cronometragem. Refere ainda a sua adequação para produções em grandes séries e a sua necessidade de conhecimento profundo sobre os movimentos.

Morlock et al. (2017) afirmaram também que o MTM pode ser usado no domínio de design e melhoria do local de trabalho. Estes são sistematicamente estruturados e organizados de forma a visualizar fatores de influência e ainda para o design de sistemas de trabalho já planeados. Pode ainda considerar-se outro exemplo, em *Methods Time Measurement on the Optimization of a Productive Process: A Case Study*, onde os autores levaram a cabo a aplicação de tempos e métodos para melhorar o balanceamento de produtividade numa linha de trabalho manual (Roberto et al., 2017).

### 2.3.2 Sistemas de análise MTM

Depois de conhecidos os sistemas de tempos pré-determinados é importante diferenciar, dentro dos sistemas de análise MTM, quais as suas diferenças. MTM é a abreviatura para “*Methods Time Measurement*”. Esta designação indica que o tempo preciso para um processo específico depende do método aplicado. MTM é um sistema no qual estão estruturados os movimentos básicos de processos completamente influenciáveis. Para cada movimento básico é atribuído um valor normativo, predeterminado através de valores numéricos recolhidos e das classes de variáveis (Deutsche MTM, 2005). É, resumidamente, uma ferramenta para determinar o tempo para tarefas humanas. A descrição do trabalho está associada a um código específico do *Methods Time Measurement* (MTM) (Teiwes et al., 2016). Há vários sistemas de análise MTM e as operações têm um tempo atribuído que é altamente influenciado pela distância do movimento, dificuldade de execução e dificuldade que os operadores sentem (Bellarbi et al., 2019).

O princípio da condensação de dados permite que haja variações do método básico mais simplificadas, concentrando várias operações. A imagem 4 esquematiza as diferenças entre os três: Método Básico MTM, Dados Standard ou Valores Básicos e MTM-UAS/ MEK.

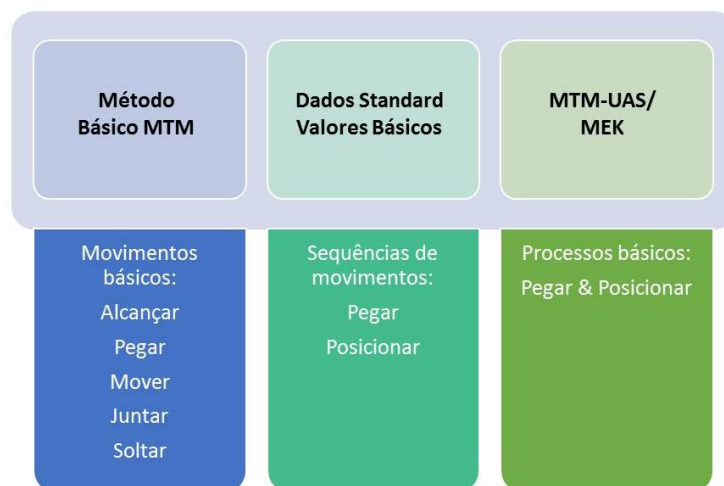


Figura 4- Variantes do MTM (adaptado de: Deutsche MTM, 2005)

Tal como é possível visualizar na imagem, o método básico contempla todos os movimentos, de forma simplificada. Os Dados Standard ou Valores Básicos concentram os movimentos básicos para sequências de movimentos como pegar e posicionar. O MTM-UAS/MEK faz o cálculo a partir de processos básicos e não de movimentos básicos, sendo um processo básico constituído por vários movimentos básicos.

### 2.3.3 Método básico MTM

O método MTM aplica-se tendo em consideração três passos principais, como mostra a figura 5. Começa por configurar métodos de trabalho e produtos, seguindo-se a determinação de tempos e tendo a sua conclusão com a elaboração das instruções de trabalho.



Figura 5- Aplicação do MTM (adaptado de: Deutsche MTM, 2005)

Para além dos passos, há dois tipos de análises MTM que se podem adotar, a análise de execução e a análise de planeamento. A primeira baseia-se na observação da sequência de operação, e a segunda na idealização da sequência operacional, como podemos ver na imagem seguinte.

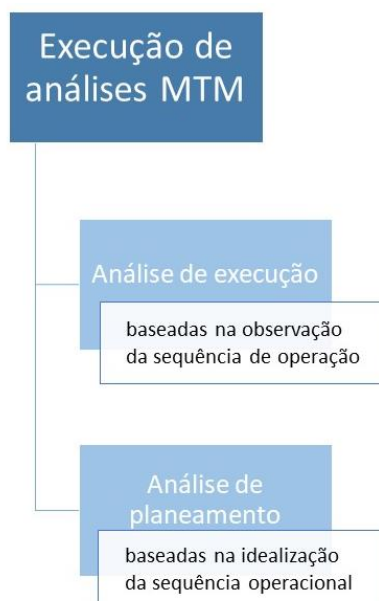


Figura 6- Tipos de análise no MTM (adaptado de: Deutsche MTM, 2005)

Este segundo tipo de análise, que se baseia na idealização do processo, é o que permite a obtenção dos tempos de operação ainda antes de se lançar um produto.

Dentro da determinação de tempos e, por forma a entender como foram estimados os valores tabelados MTM é importante entender o método LMS, para avaliação do grau de desempenho. O desempenho padrão de 100% é descrito pelo método LMS como: “o

desempenho de um ser humano com nível médio de treino que aporta esse desempenho de forma contínua sem apresentar fadiga” (como citado em Deutsche MTM, 2005).

Desta forma, há várias características e condições que devem ser avaliadas para uma eficaz aplicação do método LMS:

#### Influências dependentes do Homem

- Habilidade;
- Esforço;
- Uniformidade do tempo de execução.

#### Influências não dependentes do Homem

- Condições de trabalho.

Depois de avaliado o grau de desempenho os tempos foram obtidos, para posterior processamento estatístico a fim de ponderar parâmetros de influência, como mostra o esquema da imagem 7.

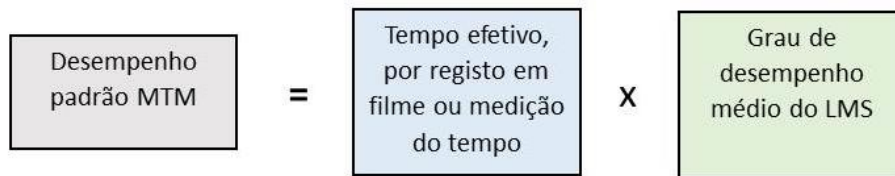


Figura 7- Parâmetros que afetam a determinação dos tempos

Os movimentos básicos MTM expressam-se em TMU. Sendo que 1 TMU = 1/ 100 000 hora = 0,036 segundos.

O primeiro ciclo de movimentos que se analisa é o alcançar, pegar, mover, juntar e soltar, como se identifica na figura 8.

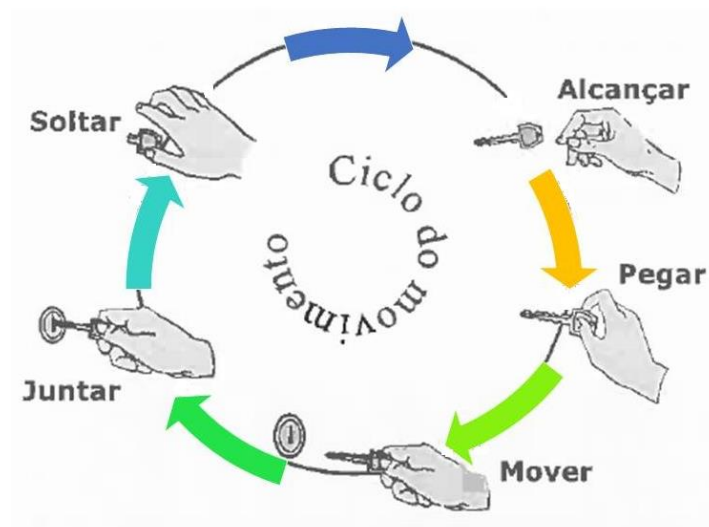


Figura 8- Ciclo básico de movimentos (adaptado de: Deutsche MTM, 2005)

Estes movimentos acontecem nas seguintes situações:

- Alcançar- Mover a mão para um objeto;
- Pegar- Assumir o controlo de um objeto;
- Mover- Mover um objeto com a mão;
- Juntar- Alinhar ou encaixar objetos;
- Soltar- Ceder o controlo de um objeto.

Há ainda mais três movimentos básicos: premir, separar e rodar. Podem também ser usadas funções visuais: deslocar o olhar e examinar, ou movimentos do corpo. Todos os movimentos previamente descritos estão esquematizados na imagem 9.



Figura 9- Conjuntos de movimentos no MTM

A aplicação do método propriamente dita dá-se com a descrição e a separação dos movimentos, o máximo possível, entre a mão esquerda e a mão direita, usando a tabela seguinte.


Tabela 1- Tabela de cálculo MTM (Deutsche MTM, 2005)

 <b>Folha de análise</b> <input type="checkbox"/> Análise de planeamento <input type="checkbox"/> Análise de execução										Arquivo N.º
										Página
N.º	Descrição	N.º	Frq.	Código	TMU	Código	N.º	Frq.	Descrição	

Depois de feita essa descrição está associado, a cada movimento, um código com um determinado tempo. Nessa mesma tabela, pode ser usada a coluna da frequência para os casos em que operações ocorrem mais do que uma vez.

Depois de descritos os movimentos, outras tabelas são utilizadas para perceber qual o código associado a cada descrição de movimento e o respetivo tempo. Essas tabelas encontram-se nas imagens seguintes.

Tabela 2- Tabela de tempos MTM (movimentos simultâneos) (Deutsche MTM, 2005)

MTM-Institute institut@dmmt.com	<b>MTM-1</b> <b>Tabela de Tempos Normais</b> <b>(SI - metric system)</b>			
A utilização destes valores sem preparação básica conduzirá a resultados falsos				
Os valores de tempo desta tabela, correspondem a um rendimento de 100% conforme sistema LMB.	Unidade de tempo			
	TMU	Segundo	Minuto	Hora
	1	0.036	0.0006	0.00001
	27.8	1		
	1,666.7		1	
	100,000			1

### Movimentos Básicos Simultâneos

		Separar <b>D</b>		Juntar <b>P</b>			Pegar <b>G</b>			Mover <b>M</b>			Alcançar <b>R</b>			
		2	1E 1D	1NS 2SS 2NS	1SS 2S	1S	4	1B 1C	1A 2 5	C	B	A Bm	C D	B	A E	
		D	E	D	E	D	E	O	W	O	W	O	W	O	W	O
Alcançar <b>R</b>	A, E															
	B															
	C, D															
Mover <b>M</b>	A, Bm															
	B															
	C															
Pegar <b>G</b>	1A, 2, 5															
	1B, 1C															
	4															
Juntar <b>P</b>	1S															
	1SS, 2S															
	1NS, 2SS, 2NS															
Separar <b>D</b>	1E, 1D															
	2															

**Possibilidade de execução simultânea**

- = Fácil
- = Com prática
- = Difícil
- W: Dentro do campo normal de visão
- O: Fora do campo normal de visão
- E: Manejo simples
- D: Manejo dif

**Movimentos básicos que não figuram no quadro:**

- T: Torçer: Simples com todos os movimentos básicos exceto quando é controlado ou tem um Separar
- AP Premir: Analisar cada caso
- P3 Juntar: Sempre difícil
- D3 Separar: Normalmente difícil
- RL Soltar: Sempre fácil
- D Disengage: cada classe pode ser difícil se o objeto tiver de ser tratado com cuidado para evitar acidentes ou danificado

### Funções Visuais

Código	TMU	Descrição
<b>ET</b>	15.2 × T/D máximo 20.0 TMU	<b>Movimento Visual (Eye Travel)</b> T: Distância entre os dois pontos de visão. D: Distância dos olhos a linha que liga os pontos T
<b>EF</b>	7.3	<b>Examinar (Eye Focus)</b>



Tabela 3- Tabela de tempos MTM (torcer e movimentos de corpo) (Deutsche MTM, 2005)

**Torcer – T – (Turn)**

Cód.	Esforço / Peso (daN/kg)	Tempo em TMU / Ângulo de torção em graus										
		30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°	180°
<b>T-S</b>	Pequeno: ≤1	2.8	3.5	4.1	4.8	5.4	6.1	6.8	7.4	8.1	8.7	9.4
<b>T-M</b>	Médio: >1 up to ≤5	4.4	5.5	6.5	7.5	8.5	9.6	10.6	11.6	12.7	13.7	14.8
<b>T-L</b>	Grande: >5 up to ≤16	8.4	10.5	12.3	14.4	16.2	18.3	20.4	22.2	24.3	26.1	28.2

**Movimentos de corpo, perna e pé**

Código	TMU	Distância	Descrição dos movimentos
<b>FM</b> <b>FMP</b>	8.5 19.1	até 10 cm	<b>Movimento de pé</b> , o pé se movimenta no plano perpendicular do eixo da articulação.  Movimento do pé com forte pressão.
<b>LM</b>	7.1 0.5	até 15 cm p/cm a mais	<b>Movimento da perna</b> , a perna se movimenta em torno do joelho ou da cintura.
<b>SS-C1</b> <b>SS-C2</b>	17.0 0.2 34.1 0.4	até 30 cm  30 cm p/cm a mais  30 cm p/cm a mais	<b>Passo de lado</b> corresponde a um deslocamento do eixo do corpo, mínimo 30 cm. Utilize <b>Alcançar</b> ou <b>Mover</b> .  Case I: Finaliza, quando a perna movimentada se apoia novamente no solo.  Case II: A 2ª perna deve tocar novamente no solo antes de iniciar o movimento seguinte.
<b>TBC 1</b> <b>TBC 2</b>	18.6 37.2		<b>Torção do corpo</b> entre 45° e 90°.  Case I: Finaliza, quando a perna movimentada se apoia novamente no solo.  Case II: A 2ª perna deve tocar novamente no solo antes de iniciar o movimento seguinte.
<b>B, S, KOK</b> <b>AB, AS, AKOK</b>	29.0 31.9		<b>Inclinar, Abaixar</b> ou <b>Ajoelhar sobre um joelho</b> <b>Endireitar</b>
<b>KBK</b> <b>AKBK</b>	69.4 76.7		<b>Ajoelhar sobre os dois joelhos</b> <b>Endireitar</b>
<b>SIT</b> <b>STD</b>	34.7 43.4		<b>Sentar</b> <b>Levantar</b> da posição sentada
<b>W - P</b> <b>W - PO</b>	15.0 17.0	por passo por passo	<b>Andar</b> <b>Andar dificultosamente ou com peso &gt; 23 kg</b>

Tabela 4- Tabela de tempos MTM (mover, juntar, premir e separar) (Deutsche MTM, 2005)

**Mover – M – (Move)**

Distância em cm.	TMU					Com esforço			Descrição dos Casos
	M-A	M-B	M-C	mM-B M-Bm	m(B)	Peso até daN/kg	Constante SC in TMU	Fator W	
<b>Até 2</b>	2.0	2.0	2.0	1.7	0.3	1	0.0	1.00	<b>A</b> Objeto levado para a outra mão ou contra um encosto
<b>4</b>	3.1	4.0	4.5	2.8	1.2				
<b>6</b>	4.1	5.0	5.8	3.1	1.9	2	1.6	1.04	
<b>8</b>	5.1	5.9	6.9	3.7	2.2				
<b>10</b>	6.0	6.8	7.9	4.3	2.5	4	2.8	1.07	
<b>12</b>	6.9	7.7	8.8	4.9	2.8				
<b>14</b>	7.7	8.5	9.8	5.4	3.1	6	4.3	1.12	
<b>16</b>	8.3	9.2	10.5	6.0	3.2				
<b>18</b>	9.0	9.8	11.1	6.5	3.3	8	5.8	1.17	<b>B</b> Objeto levado a uma posição aproximada ou indefinida. Margem total: > 25 mm
<b>20</b>	9.6	10.5	11.7	7.1	3.4				
<b>22</b>	10.2	11.2	12.4	7.6	3.6	10	7.3	1.22	
<b>24</b>	10.8	11.8	13.0	8.2	3.6				
<b>26</b>	11.5	12.3	13.7	8.7	3.6	12	8.8	1.27	
<b>28</b>	12.1	12.8	14.4	9.3	3.5				
<b>30</b>	12.7	13.3	15.1	9.8	3.5	14	10.4	1.32	
<b>35</b>	14.3	14.5	16.8	11.2	3.3				
<b>40</b>	15.8	15.6	18.5	12.6	3.0	16	11.9	1.36	
<b>45</b>	17.4	16.8	20.1	14.0	2.8				
<b>50</b>	19.0	18.0	21.8	15.4	2.6	18	13.4	1.41	<b>C</b> Objeto levado a uma posição definida. Margem total: > 12 até ≤ 25 mm
<b>55</b>	20.5	19.2	23.5	16.8	2.4				
<b>60</b>	22.1	20.4	25.2	18.2	2.2	20	14.9	1.46	
<b>65</b>	23.6	21.6	26.9	19.5	2.1				
<b>70</b>	25.2	22.8	28.6	20.9	1.9	22	16.4	1.51	
<b>75</b>	26.7	24.0	30.3	22.3	1.7				
<b>80</b>	28.3	25.2	32.0	23.7	1.5				

**Juntar – P – (Position)**

Classe de ajuste				Symmetry	Handling	
Código	Ajuste	Com segundo contato	Sem segundo contato		E	D
<b>P1</b>	Solto	Nenhuma pressão necessária	> ± 1.5 até ≤ ± 6.0 mm	<b>S</b>	5.6	11.2
				<b>SS</b>	9.1	14.7
				<b>NS</b>	10.4	16.0
<b>P2</b>	Justo	Leve pressão necessária	> 0.4 ≤ ± 1.5 mm	<b>S</b>	16.2	21.8
				<b>SS</b>	19.7	25.3
				<b>NS</b>	21.0	26.6
<b>P3</b>	Firme	Forte pressão necessária	< 0.4 mm	<b>S</b>	43.0	48.6
				<b>SS</b>	46.5	52.1
				<b>NS</b>	47.8	53.4

**Premir – AP – (Apply Pressure)**

Código	TMU	Descrição	Componentes	Code	TMU	Descrição
				AF	3.4	Aplicar força
<b>APA</b>	10.6	Sem Repegar	AF+DM+RLF	<b>DM</b>	4.2	Decurso mínimo
<b>APB</b>	16.2	Com Repegar	G2+APA	<b>RLF</b>	3.0	Retirar força

**Separar – D – (Disengagement)**

Code	Fit	Descrição	E	D
<b>D1</b>	Solto	Pequeno esforço – retrocesso mínimo até aproximado 2.5 cm	4.0	5.7
<b>D2</b>	Justo	Esforço médio – retrocesso leve até aproximado 12 cm	7.5	11.8
<b>D3</b>	Firme	Esforço grande – retrocesso forte até aproximado 30 cm	22.9	34.7

Tabela 5- Tabela de tempos MTM (alcançar, pegar e soltar) (Deutsche MTM, 2005)

**Alcançar – R – (Reach)**

Distância em cm.	TMU							Descrição dos Casos
	R-A	R-B	R-C R-D	R-E	mR-A R-Am	mR-B R-Bm	m(B)	
Até 2	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6	1.6	0.4	A Alcançar um objeto solitário, localizado sempre em um lugar definido ou que se acha na outra mão ou sobre o qual a outra mão pausa.
4	3.4	3.4	5.1	3.2	3.0	2.4	1.0	
6	4.5	4.5	6.5	4.4	3.9	3.1	1.4	
8	5.5	5.5	7.5	5.5	4.6	3.7	1.8	
10	6.1	6.3	8.4	6.8	4.9	4.3	2.0	B Alcançar um objeto solitário que, de sequência a sequência do trabalho se acha em um lugar ligeiramente diferente.
12	6.4	7.4	9.1	7.3	5.2	4.8	2.6	
14	6.8	8.2	9.7	7.8	5.5	5.4	2.8	
16	7.1	8.8	10.3	8.2	5.8	5.9	2.9	
18	7.5	9.4	10.8	8.7	6.1	6.5	2.9	C Alcançar um objeto, amontoado com outros iguais ou similares, exigindo escolha.
20	7.8	10.0	11.4	9.2	6.5	7.1	2.9	
22	8.1	10.5	11.9	9.7	6.8	7.7	2.8	
24	8.5	11.1	12.5	10.2	7.1	8.2	2.9	
26	8.8	11.7	13.0	10.7	7.4	8.8	2.9	D Alcançar um objeto muito pequeno ou que se requeira um pegar exato.
28	9.2	12.2	13.6	11.2	7.7	9.4	2.8	
30	9.5	12.8	14.1	11.7	8.0	9.9	2.9	
35	10.4	14.2	15.5	12.9	8.8	11.4	2.8	
40	11.3	15.6	16.8	14.1	9.6	12.8	2.8	E Deslocar a mão para uma posição indefinida, seja para recuperar o equilíbrio, seja para preparação do próximo movimento ou ainda para afastar a mão da zona de trabalho.
45	12.1	17.0	18.2	15.3	10.4	14.2	2.8	
50	13.0	18.4	19.6	16.5	11.2	15.7	2.7	
55	13.9	19.8	20.9	17.8	12.0	17.1	2.7	
60	14.7	21.2	22.3	19.0	12.8	18.5	2.7	
65	15.6	22.6	23.6	20.2	13.5	19.9	2.7	
70	16.5	24.1	25.0	21.4	14.3	21.4	2.7	
75	17.3	25.5	26.4	22.6	15.1	22.8	2.7	
80	18.2	26.9	27.7	23.9	15.9	24.2	2.7	

**Pegar – G – (Grasp)**

Código	TMU	Descrição dos Casos
G1A	2.0	Pegar com facilidade um objecto solitário
G1B	3.5	Pegar um objeto muito pequeno ou um objeto plano apoiado sobre uma superfície plana.
G1C1	7.3	$\varnothing > 12$ up to $\leq 25$ mm
G1C2	8.7	$\varnothing \geq 6$ até $\leq 12$ mm
G1C3	10.8	$\varnothing < 6$ mm
G2	5.6	Repegar: Mudar o "pegar" num objeto sem perder o controlo sobre ele.
G3	5.6	Transferir: Uma das mãos toma o controlo de um objecto enquanto a outra solta.
G4A	7.3	$> 25 \times 25 \times 25$ mm
G4B	9.1	$\geq 6 \times 6 \times 3$ até $\leq 25 \times 25 \times 25$ mm
G4C	12.9	$< 6 \times 6 \times 3$ mm
G5	0.0	Pegar por contato: Por simples contato sobre o objeto, ter o suficiente controlo para executar o movimento básico seguinte.

**Soltar – RL – (Release)**

Code	TMU	Descrição dos casos	Code	TMU	Case Description
RL1	2.0	Soltar por abertura dos dedos	RL2	0.0	Eliminação do contato

É necessário saber qual a distância do movimento, bastando posteriormente escolher qual o caso que mais se adequa, em função do movimento em análise. Para o movimento juntar (posicionar) há ainda a simetria e o manuseio. Quanto à simetria pode ser simétrico (objeto encaixa em qualquer posição), semi-simétrico (objeto tem mais do que uma posição possível de encaixe) ou não simétrico (objeto tem apenas uma posição possível de encaixe). Quanto ao manuseio, este pode ser fácil ou difícil. Por último, a tabela dos movimentos básicos simultâneos ajuda o analista a perceber quando é possível utilizar movimentos em simultâneo, ou seja, com as duas mãos (quadrados a verde), quando deve fazê-lo com alguma precaução (quadrados a amarelo) e quando não pode fazê-lo (quadrados a vermelho).

O MTM pode também ser usado como ferramenta extra para outros estudos. Em *Analysis of the Influence of Standard Time Variability on the Reliability of the Simulation of Assembly Operations in Manufacturing Systems*, usou-se o MTM como fonte de valores standard para um estudo de simulação (Machado et al., 2019). Para além disto, os aspetos ergonómicos tendem a ser negligenciados no planeamento da produção (Christmansson et al., 2010), uma das áreas que mais necessita dos tempos de operação provenientes do MTM. Tendo em conta estas duas considerações, os capítulos seguintes irão abordar Ergonomia e Simulação, de forma a perceber como estes se podem relacionar com o MTM.

## 2.4 Ergonomia

### 2.4.1 Origem e definição

Segundo Lida (2005), a Ergonomia como disciplina científica, surgiu em Julho de 1949, de onde data a primeira reunião sobre esta temática. Adquiriu o estatuto formal de ciência, como hoje é conhecida, no começo da década de 50, com o aparecimento da *Ergonomics Research Society* (ERS).

O aumento de produções em massa tem levado os colaboradores a ficarem mais expostos a problemas de postura, como doenças musculoesqueléticas (*musculoskeletal disorders*- MSDs) e trauma de desordens acumuladas (*cumulative trauma disorders*- CTDs). Os trabalhadores afetados por estas doenças devem ser tratados numa fase preliminar pois podem levar a situações de saúde críticas como incapacidade de movimentos (Mahmood et al., 2019).

A Ergonomia utiliza conhecimento científico para melhorar o bem-estar humano, aprimorando o desempenho das organizações e estudando a interação do ser humano com o meio envolvente. Ela ocupa-se com o impacto da postura, movimentos e forças de atuação no corpo humano, considerando as suas habilidades, competências e características (Paris et al., 2020). Por vezes são utilizados os prefixos macro, micro e meso para macroergonomia, microergonomia e mesoergonomia respetivamente, como referido por Waterson (2020). O termo macroergonomia é utilizado quando a análise se baseia mais especificamente na influência organizacional, micro para fatores de influência individual (como aspetos cognitivos) e meso para processos de grupo ou equipa.

O autor Stephen Pheasant (2014) enumerou alguns princípios que devem ser seguidos num estudo ergonómico: performance do sistema, conforto, segurança, saúde e qualidade de vida das pessoas. Para tal, e segundo a IEA- *International Ergonomics Association* (2020) a Ergonomia ocupa-se por avaliar tarefas, produtos e o sistema de trabalho de forma a melhorá-lo para os colaboradores. A associação propõe também três domínios diferentes de seguida descritos.

### Ergonomia física

Foca-se na anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica. Vulgarmente ocupa-se com lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho, postura no trabalho, movimentação manual de cargas, movimentos repetitivos, *layout* do posto de trabalho e segurança e saúde do colaborador.

### Ergonomia cognitiva

Foca-se em processos mentais como a percepção, memória, raciocínio e resposta motora, ocupando-se assim da carga de trabalho mental, tomada de decisões, interação homem-computador, *stress* e formação.

### Ergonomia organizacional

Foca-se nos sistemas sociotécnicos, abrangendo as estruturas organizacionais, políticas e processos. Ocupa-se então com a comunicação, projetos de trabalho, programação do trabalho em grupo, projetos participativos, trabalho cooperativo, cultura organizacional e novos paradigmas do trabalho (como organizações virtuais e trabalho à distância).

## 2.4.2 Objetivos da Ergonomia

Há vários objetivos que se podem enumerar que caracterizam e descrevem a ergonomia contudo, podemos apontar um fundamental, a minimização das influências negativas do trabalho sobre o homem (Lida, 2005). Segundo o mesmo autor, há três objetivos principais, apresentando ainda um quarto, descrito em último.

### Saúde

“A saúde do trabalhador é mantida quando as exigências do trabalho e do ambiente não ultrapassam as suas limitações energéticas e cognitivas, de modo a evitar as situações de *stress*, riscos de acidentes e doenças ocupacionais.”

### Segurança

“A segurança é conseguida com os projetos do posto de trabalho, ambiente e organização do trabalho, que estejam dentro das capacidades e limitações do trabalhador, de modo a reduzir os erros, acidentes, *stress* e fadiga.”

### Satisfação

“Satisfação é o resultado do atendimento das necessidades e expectativas do trabalhador. Contudo, há muitas diferenças individuais e culturais. Uma mesma situação pode ser considerada satisfatória para uns e insatisfatória para outros, dependendo das necessidades e expectativas de cada um. Os trabalhadores satisfeitos tendem a adotar comportamentos mais seguros e são mais produtivos que aqueles insatisfeitos.”

### Eficiência

“É a consequência de um bom planeamento e organização do trabalho, que proporcione saúde, segurança e satisfação ao trabalhador. Ela deve ser colocada dentro de certos limites,

pois o aumento indiscriminado da eficiência pode implicar em prejuízos para a saúde e segurança.”

Para além disto, o estudo levado a cabo por Yung et al. (2020) demonstrou a forte relação e dependência entre a qualidade e a fadiga sentida pelos colaboradores. Isto demonstra que, para além de trazer benefícios óbvios para os colaboradores, a Ergonomia traz também benefícios consideráveis para as organizações, porque trabalhadores satisfeitos e com boas condições farão sempre um melhor trabalho. A Ergonomia tem também assim como objetivo, ainda que indiretamente, ajudar na melhoria da eficiência organizacional.

### 2.4.3 Ergonomia e MTM

Tal como já referido nos subcapítulos anteriores, a Ergonomia foca-se essencialmente nos trabalhadores e nas suas condições de saúde e segurança, bem como satisfação no local de trabalho. O foco passa sempre por tentar melhorar a sua eficiência e produtividade.

Por outro lado, a metodologia MTM passa por um estudo de tempos com foco no método utilizado. Em adição ao mencionado anteriormente, esta metodologia implica um conhecimento pormenorizado e completo do processo, na tentativa de definir o melhor método para trabalhar. Qualquer metodologia ou ferramenta que implique um conhecimento profundo do processo pode levar, para além da sua função primordial, a que surjam sugestões de melhoria, neste caso possíveis melhorias ergonómicas. Para além disto, o analista que faz o estudo de tempos MTM tem sempre como objetivo tentar alcançar o melhor tempo possível e, analisando as tabelas MTM (tabelas 3, 4, 5 e 6 no subcapítulo MTM), é perceptível que as tarefas que implicam menos tempo são as mais fáceis e com menores distâncias associadas. Assim sendo, é possível que para se alcançarem melhores tempos e um melhor método de montagem sejam necessárias eventuais melhorias ergonómicas no local de trabalho. O MTM é assim importante para a ergonomia e para o desenvolvimento dos postos de trabalho, emergindo a necessidade de medição do tempo em função do método para o desenvolvimento do processo, automação e, mais recentemente, indústria 4.0 (Morlock et al., 2017).

Kadir et al. (2019) referem que as tarefas manuais repetitivas têm vindo a ser automatizadas. Neste seguimento, o subcapítulo seguinte aborda a simulação, ferramenta que se pode utilizar para prever o ganho de possíveis automatizações, que vêm por vezes eliminar condições ergonómicas menos desejáveis.

## 2.5 Simulação

### 2.5.1 Evolução

A Simulação teve início por volta das décadas de 50 e 60, embora na altura apenas grandes empresas a utilizavam pelo elevado custo. Modelos de grande complexidade eram desenvolvidos, com equipas destinadas a esse fim, usando o FORTRAN como linguagem disponível (Kelton et al., 1998).

A Simulação, como conhecida atualmente, experienciou o seu surgimento por volta das décadas de 70 e 80, na indústria automóvel, passando posteriormente também a ser

incluída nos planos curriculares das universidades e a ser alvo de estudo por parte das mesmas. Para além disto, passou também a ser usada em programas de negócios.

## 2.5.2 Passos de um estudo de Simulação

Para a realização de um bom estudo de simulação, diminuindo erros e tentando aproximar ao máximo o modelo da realidade, é necessário estruturar o processo tentando sempre seguir a metodologia sugerida para estes estudos. Recolher os dados, a sua análise e respetiva introdução de informação no modelo são, segundo (Skooagh et al., 2012), etapas essenciais. Assim sendo, e com esta linha de pensamento, segue-se a representação gráfica da metodologia na figura 10, com a respetiva explicação de seguida.

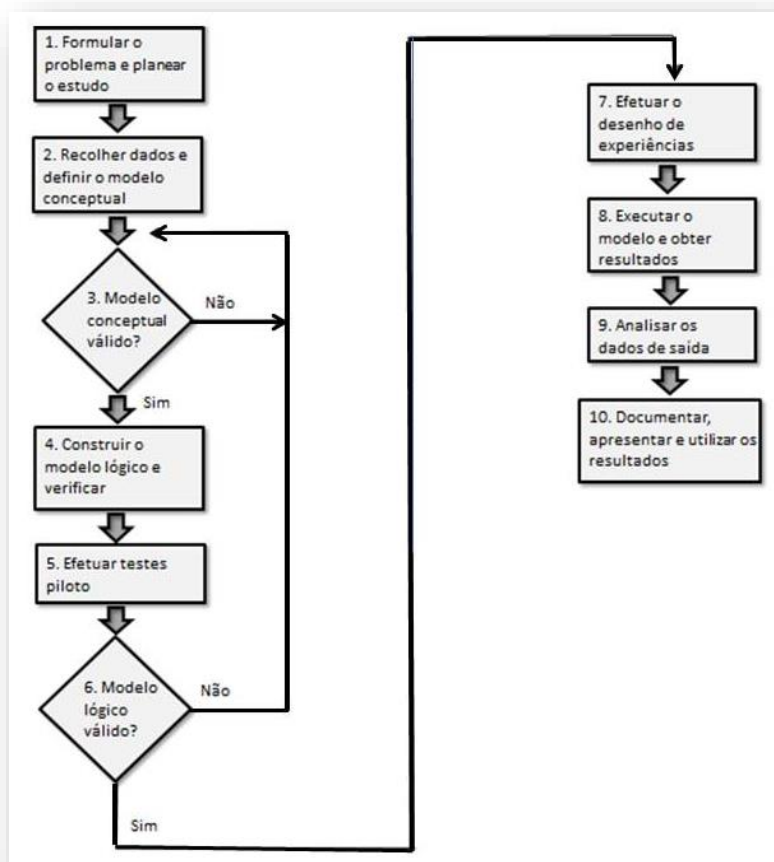


Figura 10- Passos para um estudo de simulação (adaptado de: Banks et al., 2010; Law & Kelton, 1991; Sargent, 2013)

### 1. Formular o problema e planear o estudo

Segundo Balci (1990), White & Ingalls (2014) e Banks et al. (2010) é vital iniciar um estudo de simulação definindo e analisando o problema, isto é, será necessário garantir uma compreensão total do mesmo, caso seja um cliente a passar a mensagem ao analista de qual o problema. Nesta fase é importante definir o problema, os objetivos gerais e que medidas de desempenho se encarregarão de avaliar a performance final do modelo. Este passo pode por vezes ser desvalorizado, mas é crucial para o bom desenvolvimento de todo o projeto. Para

Law & Kelton (1991) uma incorreta aplicação deste passo pode mesmo contribuir para o fracasso do modelo e comprometer o projeto.

## 2. Recolher dados e definir o modelo conceptual

Este passo inicia-se com a recolha de dados. Esta deve ser exaustiva e é um processo geralmente longo, pois toda a informação que é necessária raramente se encontra concentrada (Law & McComas, 1990), o que leva o analista a necessitar de realizar algum trabalho de campo, questionar os operadores e gestores e analisar bem o processo na prática. Os procedimentos devem ser recolhidos nesta etapa.

Finda a recolha de dados é necessário que tudo fique documentado para que se possam assumir algumas suposições (modelo concetual). Segundo Robinson (2013) é a abstração do modelo de simulação do sistema real que se gerou. Para um modelo válido tem de se recolher, se possível, os dados de saída do sistema para posteriormente se comparar a realidade com o modelado (Banks et al., 2010).

## 3. Modelo conceptual válido?

Esta etapa tem essencialmente o propósito de criar iterações (se necessário) na metodologia, levando o analista a verificar o modelo concetual e só avançar assim que este esteja como pretendido. Toda a equipa deverá ser reunida para validação do mesmo.

## 4. Construir o modelo lógico e verificar

O modelo lógico pode ser implementado com linguagem de programação, linguagem de simulação ou mesmo optando por um pacote de simulação, que acaba por ser a opção mais usual. Há vários pacotes que podem ser utilizados, de entre os quais Arena, AutoMod, SIMIO, WITNESS, ou ProModel (Dias et al., 2016). É o resultado da validação do modelo do ponto anterior.

A verificação surge depois do modelo lógico implementado, onde o *debugging* verifica se o modelo construído faz o suposto. Serve para garantir que o programa e modelo de simulação estão corretos (Sargent, 2013).

É nesta fase que surge pela primeira vez o conceito de V&V (Verificação & Validação), dois elementos de extrema importância. O facto de um modelo correr e de ser possível executá-lo não leva necessariamente a que este esteja correto, ou seja, o mais próximo possível das condições reais.

A verificação é o “processo de determinar que a implementação de um modelo representa com precisão a descrição e especificação conceptual do analista” (Caughlin, 2000). Traduz-se em tentar encontrar possíveis erros na lógica do modelo.

A validação do modelo é realizada através do confronto entre o comportamento do modelo e o sistema (Balci, 1990) e (Banks, 1999).

Sargent (2016) ressalva que a V&V pode ser efetuada durante a construção do modelo ou no final. Este conceito de V&V faz parte ainda dos dois passos seguintes, da realização dos testes piloto e da validação do modelo lógico e deve também ser tido em conta no ponto 7, o do desenho de experiências.

## 5. Efetuar testes piloto

Passo onde se executa o modelo várias vezes. Esta etapa é fundamental para o ponto 6, pois não será possível avançar com a validação do modelo lógico sem se efetuar o teste piloto.



## 6. Modelo lógico válido?

Na primeira etapa definiram-se medidas de desempenho, com o propósito de numa fase posterior, avaliar o modelo. Essas medidas são então relevantes para esta etapa de verificação do modelo lógico. Depois do teste piloto realizado, estas medidas servirão para verificar a coerência do modelo construído com a realidade.

## 7. Efetuar o desenho de experiências

Neste período do estudo de simulação definem-se as alternativas, ou seja, os diferentes cenários para a resolução do problema ou melhoria do processo em estudo. Assim sendo, estas alternativas são definidas em função do projeto de simulação original, isto é, são dependentes dele e do que se definiu numa fase inicial (Chung, 2004).

O *warm-up period*, ou seja, o período de aquecimento, a quantidade de tempo que se quer simular e o número de réplicas que se vai querer testar são variáveis que devem ser definidas nesta etapa.

## 8. Executar o modelo e obter resultados

Os parâmetros mencionados que careciam de definição, no final do ponto anterior, são agora aplicados. Aqui o modelo é executado num dado espaço temporal e replicado o número de vezes que se definiu anteriormente.

## 9. Analisar os dados de saída

É nesta etapa que se obtêm os dados de saída para serem analisados. Os resultados obtidos têm a finalidade de perceber o desempenho do sistema, medir portanto a sua eficácia, para comparação dos diferentes cenários alternativos (Law & Kelton, 1991). Os utilizadores podem examinar diferentes situações sem modificar o modelo de simulação porque o modelo cria automaticamente vários relatórios de saída (Brahmadeep, 2014).

## 10. Documentar, apresentar e utilizar os resultados

Por fim é expectável que tudo fique registado. Assim sendo, nesta etapa deve documentar-se o estudo de simulação, o modelo, o resultado e respetivas conclusões bem como as propostas para estudos futuros. É de salientar que a apresentação dos resultados deve auxiliar-se de uma animação para os gestores e toda a equipa envolvida no projeto, que por vezes têm pouco conhecimento do *software* de simulação, de forma a melhor compreenderem alguns pormenores.

### 2.5.3 DES, ABS e SDS

A simulação pode ser efetuada tendo por base um dos três paradigmas existentes: simulação de eventos discretos (DES- *Discrete-Event Simulation*), simulação baseada em agentes (ABS- *Agent-Based Simulation*) e simulação dinâmica de sistemas (SDS- *System Dynamics Simulation*). Dos três paradigmas, a simulação de eventos discretos destaca-se quando a sua aplicação são sistemas de produção (Banks, 1999) daí merecer mais destaque neste estudo. Contudo, serão apresentados de seguida os três paradigmas.

### DES- Simulação de eventos discretos

Como referido anteriormente, este paradigma ganha destaque para utilização nos sistemas de produção e, desta forma, é muitas vezes utilizado para avaliar o desempenho do sistema, a nível de: taxa de ocupação das máquinas, tempo desperdiçado para manipulação do material, determinação do número de máquinas necessário e tamanho dos *buffers* (Seleim et al., 2012). Neste paradigma, as máquinas, os trabalhadores e os sistemas de manuseamento dos materiais são considerados objetos do sistema de produção. É um paradigma que permite uma análise rápida do processo ou sistema em função do tempo. O Arena, o AutoMod, o Flexsim e o ProModel são os *softwares* mais conhecidos dentro do DES (Seleim et al., 2012).

### ABS- Simulação baseada em agentes

“Os agentes e as interações entre agentes são descritos em regras simples, enquanto padrões, estruturas, comportamentos” (Seleim et al., 2012). Neste paradigma, em oposição ao anterior, deixamos de considerar os elementos do sistema como objetos para passar a considerá-los como agentes. Protocolos de comunicação são usados pelos agentes para estarem habilitados a interagir com outros agentes e possuem a capacidade de alteração do seu comportamento em resposta a acontecimentos no seu ambiente (Macal & North, 2010). Este paradigma conta com algumas plataformas disponíveis para a sua aplicação como: MASON, Repast, Swarm e NetLogo (Seleim et al., 2012).

### SDS- Simulação dinâmica de sistemas

Segundo H. Jiang et al. (2020) o método utilizado para o paradigma SDS é resultado de dois passos. Começa por se fazer um diagrama causal para mapear e analisar as principais interações, seguindo-se um diagrama de fluxo para quantificar o retorno e as interações. É ainda referido como um paradigma descendente (*top-down approach*) alimentado por repetições de retorno (*feedback loops*) (Sopha & Ma, 2020).

A imagem 11 apresenta um quadro síntese com uma breve comparação entre os três paradigmas.

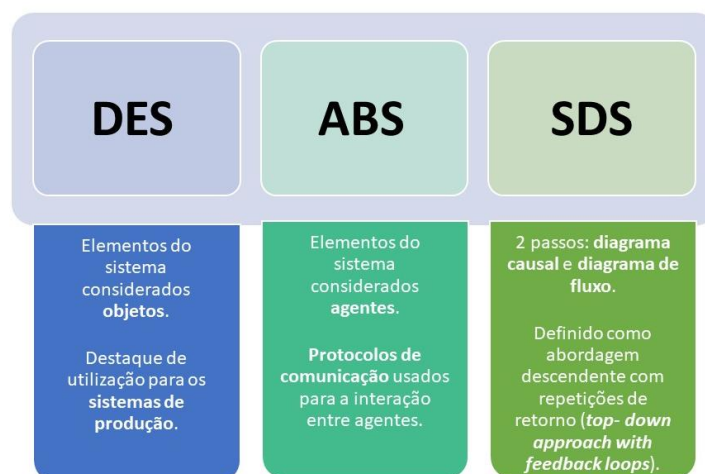


Figura 11- DES, ABS e SDS

#### 2.5.4 Vantagens e desvantagens

Para o uso de qualquer ferramenta, é importante que se conheçam as suas vantagens e desvantagens para que, aquando da possibilidade da sua utilização, o analista consiga facilmente discernir se o seu uso é ou não apropriado. Independentemente da fase do ciclo de vida de um sistema de produção, a simulação torna-se útil e vantajosa pois trata-se de uma análise rápida e segura do sistema (Wang et al., 2014). Tem a vantagem de fornecer informações importantes, não interferindo com o sistema real, e desenvolvendo meios para melhorar o seu desempenho (Chung, 2004).

Segundo Shannon (1998), Banks (1999) e Chung (2004) as vantagens associadas a um estudo de simulação são as seguintes:

- Permite um maior conhecimento do funcionamento do sistema;
- Permite detetar *bottlenecks* (pontos de estrangulamento) ou recursos gargalo, identificando qual o recurso responsável pelo atraso;
- Possibilita o estudo de *layouts* alternativos e/ ou diferentes possibilidades de mudança sem a necessidade de ser implementado;
- Permite retratar sistemas complexos, que modelos analíticos e/ ou matemáticos não têm capacidade de representar;
- Permite o ajuste da faixa temporal a ser testada, aumentando ou diminuindo a velocidade do fenómeno;
- Possibilita a deteção da causa de alguns problemas, simulando a ocorrência de determinados fenómenos no sistema;
- Possibilita a exploração da utilização dos equipamentos ou de pessoas, tamanho das filas de espera e precisão de entregas.

Os mesmos autores enumeram também algumas desvantagens para estes estudos:

- Um bom modelo obtém-se com a experiência, requerendo conhecimento e treino especial. Em adição ao já mencionado, quando duas pessoas diferentes modelam o sistema, apesar de ser provável encontrarem-se bastantes semelhanças, será muito difícil a obtenção de uma modelação igual;
- Resultados podem ser de difícil interpretação. Como os dados de entrada são aleatórios, os resultados são também variáveis aleatórias, tornando-se difícil discernir a aleatoriedade do resultado da correlação com o sistema;
- Uso inadequado em certas situações onde uma solução analítica é mais apropriada;
- Necessidade de um extenso conhecimento do sistema;
- Por vezes a análise e recolha de dados que demonstrem segurança torna-se demorada e dispendiosa;
- A simulação apenas demonstra soluções possíveis, não resolvendo os problemas efetivamente. A implementação será uma fase seguinte, sendo já da responsabilidade dos devidos responsáveis.

Independentemente das suas vantagens e desvantagens, se a simulação é um método que pode dar resposta ao problema, há sempre ferramentas auxiliares, ou melhorias no próprio paradigma de simulação utilizado que podem ser realizadas para se alcançar o pretendido. Y. Jiang et al. (2019) abordam o método de simulação tridimensional na Indústria. Aksyonov et al. (2015) em *Prospects for Simulation in Industrial Engineering*, menciona a interação integrada entre os módulos de simulação e o sistema de informação da organização.

Biller et al. (2017) pode também referir-se como exemplo pois tenta perceber como a seleção de ferramentas estatísticas pode ser utilizada com a finalidade de resolver problemas industriais juntamente com a simulação. Atualmente, e tal como Guizzi et al. (2019) reportam, a simulação tem sido usada com conexão direta ao chão de fábrica.

### 2.5.5 O Arena

O *software* Arena é um ambiente gráfico para simulação com recursos para modelar processos, criar a sua animação e ainda para fazer a sua análise estatística e de resultados. Como já supracitado, e segundo Wang et al. (2014), foi desenvolvido pela *Systems Modelling* e é um *software* muito empregue para sistemas de produção ou serviços que tenham como finalidade o estudo do desempenho atual e que pretendam descobrir estratégias alternativas de operação.

O processo de criação do modelo é gráfico e visual, não sendo necessário recorrer a código de programação para a modelação. É construído sobre a linguagem de simulação SIMAN e o *software* cria o modelo SIMAN subjacente que é utilizado para realizar as simulações automaticamente, com base no modelo de simulação que se desenhou de forma gráfica.

Visto ser usado para aplicação do DES, descreve um processo com um conjunto de eventos exclusivos e específicos no tempo. Esse tipo de modelos baseados em atividades, por serem bastante flexíveis, podem ser utilizados para simular praticamente qualquer processo. O Arena conta 30 anos sendo o principal *software* de simulação de eventos discretos do mundo (Fonte: <https://www.arenasimulation.com/>). Para além da análise de dados de entrada, criação do modelo, execução iterativa, *execution tracing*, verificação do modelo e, análise de dados de saída, também permite a criação de uma animação (Hammann & Markovitch, 1995).

# Capítulo 3

---

## Caso de estudio

---



## Caso de estudo

Este capítulo tem como objetivo apresentar o projeto na prática. Para tal, começou por se enquadrar o mesmo no ambiente onde foi elaborado, a OLI- Sistemas Sanitários, S.A.. De seguida é apresentado o estado atual da empresa e tudo o que foi estudado e implementado ao longo deste projeto.

### 3.1 A empresa: OLI- Sistemas Sanitários, S.A.

A 1 de Março de 1954 é fundada, em Aveiro, a Oliveira & Irmão por António Rodrigues Oliveira e Saul Rodrigues Oliveira, dedicando-se a diferentes áreas de negócios ao longo dos anos. O que surgiu como uma pequena empresa familiar que se dedicava à comercialização de artigos em ferro fundido para o sector agrícola, dando resposta às necessidades da população que se dedicava maioritariamente a esse setor, evoluiu até que em 1981 foi criada a primeira unidade industrial de produção de autoclismos. Atualmente tem uma atuação nacional no mercado dos hidro-termo-sanitários: banhos, aquecimento, energia solar e tubagens.



Figura 12- A empresa (Fonte: <https://www.oli-world.com/pt/empresa/a-oli/>)

O exponencial crescimento até à atual OLI- Sistemas Sanitários, S.A., figura 12, que se posiciona no mercado como o maior produtor de autoclismos da Europa do Sul, levou a que em 1993 tenha integrado o grupo Silmar, sediado em Itália. Este grupo está presente em inúmeros setores como aquecimento, fundição em Alumínio, metalização em plásticos e redes de esgotos e águas, contando para isso com 2957 colaboradores. As diferentes empresas pertencentes ao grupo encontram-se esquematizadas na imagem 13.

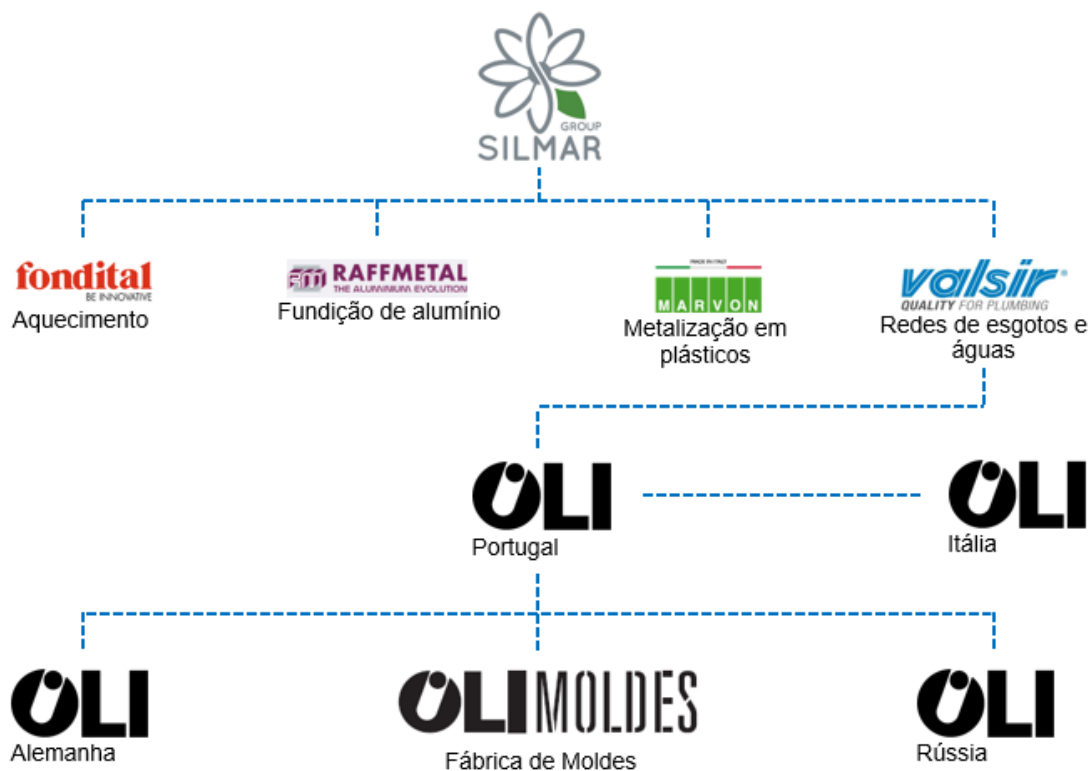


Figura 13- Grupo SILMAR (Imagem cedida pela OLI)

É em 1994 que a OLI se torna o primeiro produtor a nível europeu a disponibilizar a solução de dupla descarga. Em 1998, obtém a sua primeira certificação, NP EN ISO 9002, pela política de qualidade, seguindo-se a certificação NP EN ISO 9001 em 2000. Em 2007, iniciou o projeto de implementação do Kaizen. Em 2010, recebe mais uma certificação, NP 4457 e, dois anos mais tarde, em 2012, recebe o prémio Kaizen na categoria de “Excelência na Produtividade”. Esse mesmo ano é marcado pela criação da OLI Rússia, com centro de distribuição e fábrica e 2016 pela criação da OLI Alemanha, apenas centro de distribuição.

Em 2018, foi inaugurada a OLIMOLDES, especializada na produção de moldes para a injeção de componentes em materiais termoplásticos. Para além disto, a OLI tem filiais em Itália, na Alemanha e na Rússia, onde também possui uma unidade industrial, como já referido.

A empresa é constituída por uma área total de 30 mil metros quadrados, onde é realizado e controlado todo o processo. Atualmente, conta com cerca de 400 colaboradores e trabalha 24 horas por dia, 7 dias por semana, totalizando uma produção de cerca de 43.700 autoclismos e 64.000 mecanismos semanalmente. Apresenta cerca de 56,3 milhões de euros de volume total de vendas, sendo que 80% da produção é destinada a exportação, levando a presença da marca a mais de 80 países dos cinco continentes.

Sempre com foco no seu lema: “Antecipar necessidades. Encontrar soluções de futuro.”, a missão primordial da OLI passa por criar soluções de banho hidricamente sustentáveis, inovadoras, com valor acrescentado, tendo sempre em consideração as relações éticas e paixão pelas pessoas e pelo planeta. As 47 patentes que a empresa tem ativas atualmente demonstram a sua preocupação com o desenvolvimento, inovação e investigação.



### 3.1.1 Evolução cronológica

A figura 14 apresenta a evolução cronológica com os marcos mais significativos e com mais impacto na história da empresa.



Figura 14- Evolução cronológica na OLI

### 3.1.2 Inovação

Ao longo dos anos a OLI tem apostado na inovação, tentando sempre manter-se na linha da frente no que concerne ao conhecimento das últimas tecnologias, tendo para isso parcerias com a Universidade de Aveiro e com a Universidade de Coimbra.

É este sentido de busca pela melhoria, quer nos produtos quer nos próprios processos internos, que leva a OLI a ser reconhecida por criar soluções inovadoras e de valor acrescentado para o seu cliente, mantendo uma posição competitiva no mercado de produtos sanitários.

É a terceira entidade portuguesa com mais pedidos de registo de patentes, contando com 47 patentes ativas de momento, como já referido anteriormente. Estas patentes comprovam a forte vertente de inovação da empresa, e advêm de criações como a dupla descarga do autoclismo, permitindo diminuir o consumo de água até 50% por descarga e, a gama de torneiras de boia, por eles desenvolvida, que permite um enchimento silencioso e rápido do autoclismo. A *timeline* presente na imagem 15 mostra alguns dos marcos mais importantes, a nível de inovação, ao longo da história da OLI.



Figura 15- *Timeline* de inovações (Imagem cedida pela OLI)

### 3.1.3 Produtos

Da vasta gama de produtos que a empresa comercializa, podemos subdividi-los nas seguintes categorias: autoclismos exteriores, autoclismos interiores, autoclismos para tanques cerâmicos, módulos sanitários, placas de comando e mecanismos de descarga (torneiras de boia e válvulas), como mostra a figura 16.



Figura 16- Produtos

### 3.1.4 Posição no mercado

Como já referido anteriormente, cerca de 80% da produção é destinada a exportação, marcando presença e levando o nome da marca para os cinco continentes, em mais de 80 países. É com isto em mente que a OLI se adapta a todos estes mercados e dá resposta às diversas e diferentes exigências. Alguns dos exemplos mais conhecidos de obras que contaram com o contributo da OLI são o Edifício Vodafone (Porto, Portugal), Edifício da Apple (Tel Aviv, Israel), Hotel Barco Amazon Discovery (Iquitos, Peru) até ao Ghaya Grand Hotel (Dubai, Emirados Árabes Unidos), visíveis na figura 17.



Figura 17- Principais obras

### 3.1.5 Estrutura organizacional

A organização da empresa surge de uma divisão por departamentos, tendo sido este projeto realizado no departamento de Engenharia. Todos os departamentos se encontram representados no organograma da figura 18.

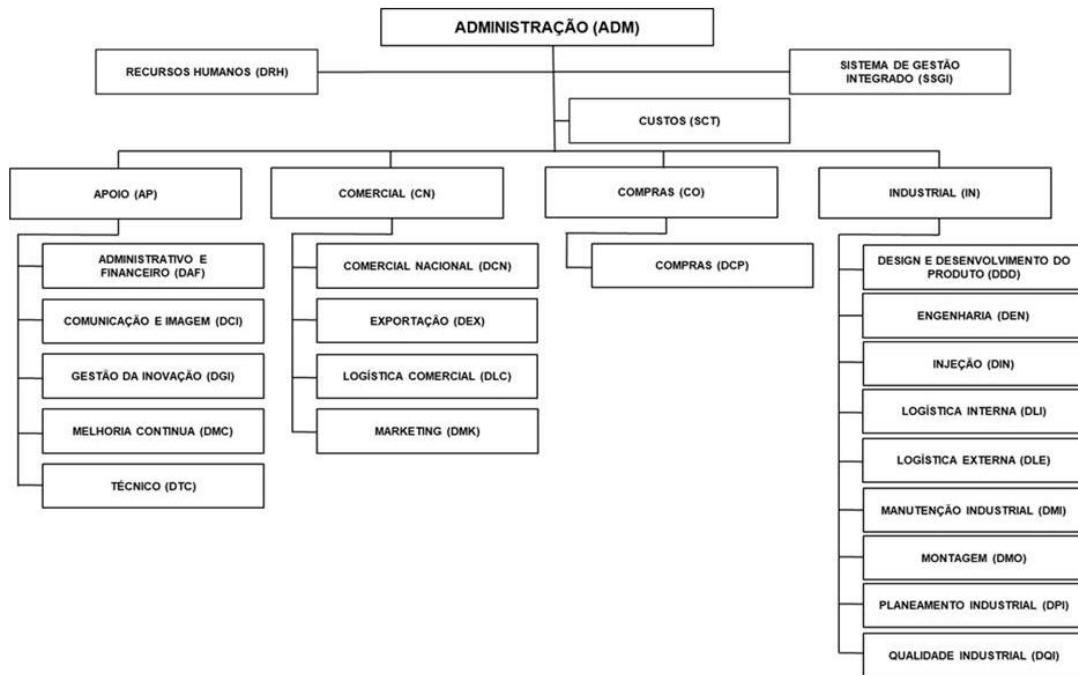


Figura 18- Estrutura organizacional (Imagem cedida pela OLI)

A empresa está ainda dividida em três zonas, sendo elas: o edifício administrativo (octogonal), fábrica e o armazém (AZIA) que se localiza na Zona Industrial de Aveiro e se encontra um pouco mais afastado das outras duas zonas mencionadas.

### 3.1.6 Processo produtivo

De forma sucinta, o processo na sua globalidade inicia-se com a entrada de encomendas, ponto de partida para o planeamento organizar o que será produzido e em quanto tempo. Para a produção é necessário rececionar a matéria-prima para, na injeção, se produzirem uma quantidade significativa dos componentes do autoclismo.

Quatro tipos de matéria-prima são utilizados para a injeção de plástico: Poliestireno (PS), Polipropileno (PP), Polioximetileno (POM) e Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS). Depois de injetadas as peças, estas podem ir diretamente para o supermercado (caso haja muito consumo) ou vão para o armazém logístico para posterior transporte para as linhas de montagem. Assim sendo, a estas etapas segue-se a montagem. Esta secção está dividida em várias zonas: válvulas, torneiras, autoclismos interiores, autoclismos exteriores, placas, mecanismos e estruturas. Nesta secção há ainda máquinas semiautomáticas, que produzem peças de dimensões superiores diretamente para as células de montagem. Findas estas etapas, sucede-se a armazenagem de produto acabado, faturação e expedição, exibidas na figura 19.



Figura 19- Processo produtivo

A fábrica possui ainda uma secção denominada TWINS, zona autónoma que consegue produzir continuamente sem recorrer à armazenagem de peças. Realiza-se aqui a produção, montagem e expedição de produto, sendo este essencialmente autoclismos para tanques cerâmicos. Na imagem seguinte é possível visualizar o *layout* da empresa com a divisão das diferentes secções.

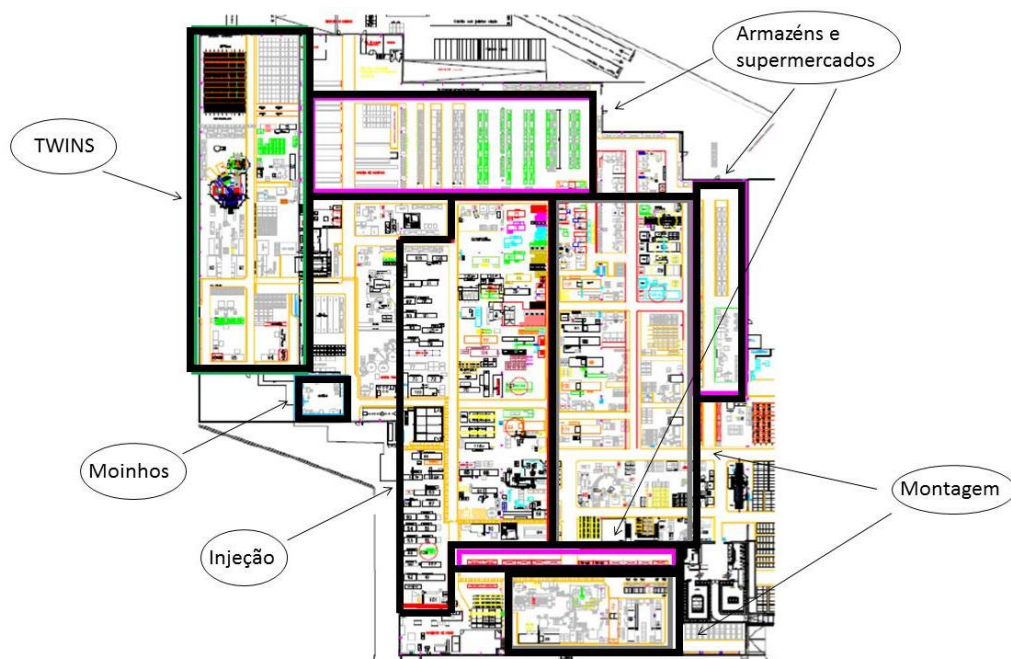


Figura 20- Layout (adaptado de: imagem cedida pela OLI)

### 3.1.7 Departamento de Engenharia

O Departamento de Engenharia é responsável pela definição dos processos, estando encarregue da sua melhoria e desenvolvimento. Para tal, ocupa-se com a realização de várias tarefas, tais como:

- Cálculo dos *routings* (unidades/ hora de produção);
- Elaboração de instruções de manufatura;
- Projeção de ferramentas para auxílio de produção;
- Realização de ações resultantes dos PDCA's na produção;
- Elaboração de projetos de maior impacto para melhoria e automatização dos processos existentes.

## 3.2 Situação inicial

Este subcapítulo tem como objetivo enquadrar o projeto na empresa, dando a conhecer as linhas onde tomou lugar o estudo. Pretende-se ainda dar a conhecer o diagnóstico realizado face àqueles que foram os objetivos inicialmente estabelecidos bem como a formação para agir em função desse mesmo diagnóstico realizado.

### 3.2.1 Processo

Na OLI há três linhas de montagem de estruturas, sendo que destas há uma dedicada aos autoclismos exóticos (ES003), produtos com especificações especiais e produzidos em menor quantidade. Desta forma, não foi incluída no projeto pelas diversas particularidades existentes nos produtos.

As duas linhas restantes, ES001 e ES002, são as linhas de montagem de estruturas de autoclismos interiores que foram alvo de estudo neste projeto. Cada uma destas linhas conta com dois colaboradores (ver figura 21), sendo que habitualmente fazem a gestão das tarefas da seguinte forma:

- Posto de trabalho 1 (P1): Fica encarregue de montar todos os componentes que vão na estrutura, que varia de produto para produto, desde a acoplação do autoclismo à estrutura (tarefa transversal a todos os códigos de produto), a outros que serão requisitos do cliente;
- Posto de trabalho 2 (P2): Fica encarregue de montar a caixa, colocar lá a estrutura, respetivos componentes e instruções, bem como do fecho da caixa. Para além do referido, trata ainda da colocação das caixas na palete, de a fechar e de dar entrada da mesma no sistema.



Figura 21- Posto 1 e posto 2 das linhas ES001 e ES002

Na figura seguinte está esquematizado, de forma muito sucinta, o processo, apenas com as tarefas comuns a todos os códigos de produto.

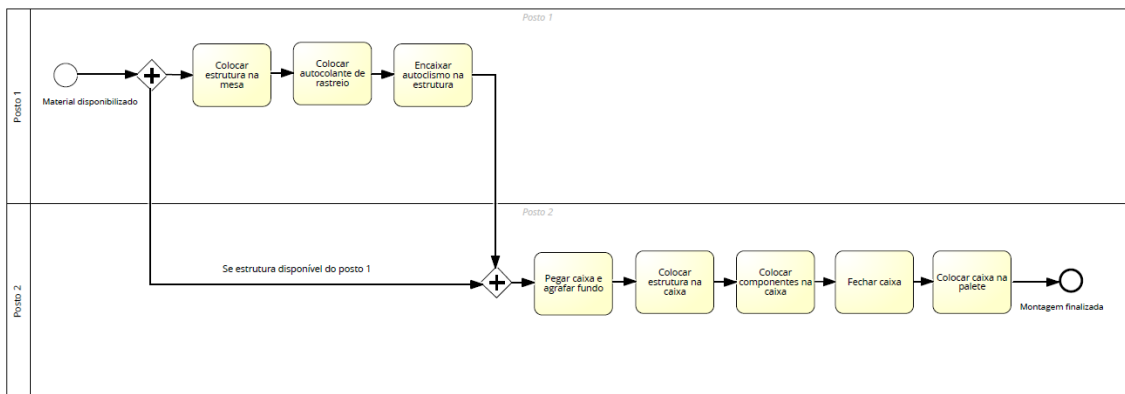
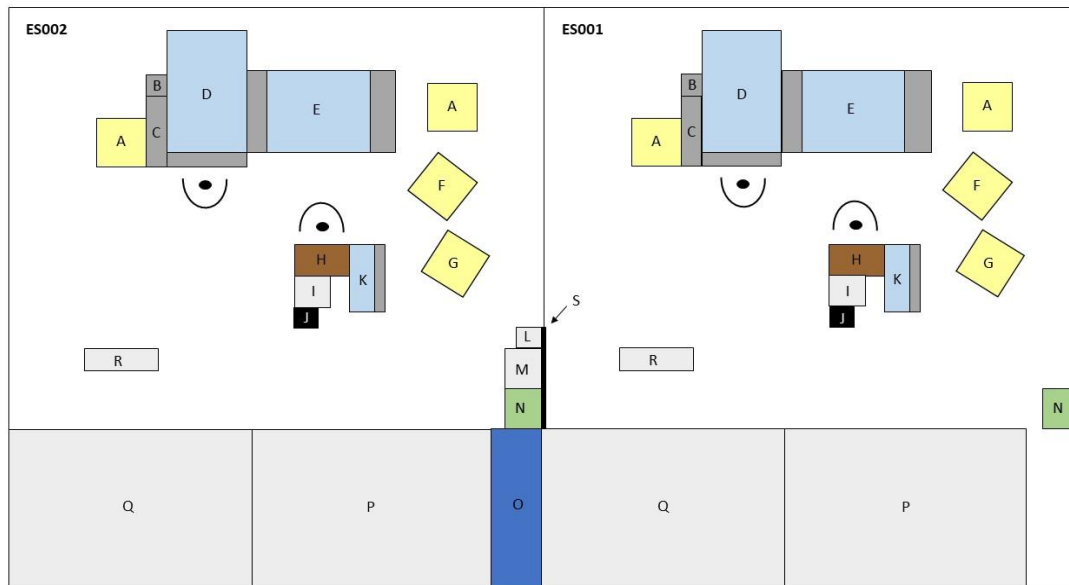


Figura 22- Esquema BPMN simplificado do processo das linhas

Tal como explicado anteriormente, e fazendo o paralelismo com o esquema BPMN apresentado, a linha de cima do esquema diz respeito ao posto de trabalho 1 e a linha de baixo diz respeito ao posto de trabalho 2.

Ainda para facilitar a compreensão do processo nas linhas das estruturas e para melhor visualização é apresentado, na figura 23, o *layout* das duas linhas.



- A- Paletes
- B- Cantos de cartão
- C- Separadores
- D- Bordo de linha embalagem
- E- Bordo de linha montagem
- F- Estruturas em uso
- G- Autoclismos em uso
- H- Mesa de apoio
- I- Armário com ferramentas
- J- Caixote do lixo
- K- Bordo de linha inutilizado
- L- Objetos pessoais dos colaboradores
- M- Armário central
- N- Computador
- O- Zona do chefe de equipa
- P- Stock intermédio
- Q- Produto acabado
- R- Porta-paletes
- S- Quadro Daily Kaizen

Figura 23- Layout das linhas

As duas linhas são iguais e equipadas da mesma forma, habilitadas assim a produzir exatamente os mesmos produtos.

### 3.2.2 Diagnóstico

Tal como mencionado no capítulo inicial, a evolução repentina que a empresa sofreu levou a que alguns aspetos ficassem esquecidos, como a atualização dos tempos do processo. Para além disto, as linhas de montagem em estudo representam os produtos com mais procura na organização e com tendência de crescimento. Esse aumento da procura levou à necessidade de se estudar e reestruturar o processo, tentando melhorá-lo para se garantir uma capacidade capaz de fazer face à procura. Na tabela 6 é possível observar que mesmo que se trabalhassem sábados e domingos (coluna Td\_S\_D) a ocupação ultrapassa os 100%, estando com 107% previsto para a ES001.

Tabela 6- Ocupação prevista para 2020

COST_CENTER	WORK_C	DESCRIPTIONS	Total_QTY	Total_Horas_oe	Capacidade_OEE	Cadençia	Crew	Ocupação			
								Td_S_D	Td_S	Td	
INMOEST	ES001	CELULA PROD ESTRUTURAS 1	185 526	5 451	16	90%	38	2.0	107%	126%	153%
	ES002	CELULA PROD ESTRUTURAS 2	137 695	3 773	16	90%	41	2.0	74%	87%	106%
	ES003	CELULA PROD ESTRUTURAS EXOTICAS	11 013	1 007	8	50%	22	2.0	40%	46%	56%
	ES004	CELULA PRODUCAO EST EXOTICAS_1	24 067	943	8	50%	51	1.0	37%	43%	53%
Total Geral			358 300	11 173	14	78%	41				

Depois de conhecido o processo o mais detalhadamente possível, foi possível realizar o diagnóstico e descrição da situação inicial. Os pontos que mais se destacaram encontram-se descritos de seguida:

- Trabalhadores com muita dificuldade em cumprir os tempos de operação;
- Más condições a nível ergonómico, também a afetar a produtividade;
- Falta de capacidade.

Dos pontos anteriores, as más condições a nível ergonómico podem ser facilmente observáveis na imagem seguinte.



**Figura 24- Condições ergonómicas desfavoráveis**

A figura 24 ilustra dois dos piores movimentos a nível ergonómico, realizados pelo operador que ocupar o posto 2, que se dedica ao embalamento. O movimento 1 diz respeito à operação de colocar a estrutura na caixa e o movimento 2 é o de colocação da caixa na palete. Para além da postura pouco correta inerente aos dois movimentos, em ambas as situações o operador tem de carregar mais peso do que o máximo recomendável.

### 3.2.3 Forma-ção

Para cada um dos pontos que foram diagnosticados, definiu-se um objetivo para tentar melhorar. Para a dificuldade e incumprimento dos tempos de operação por parte dos colaboradores decidiu-se validar ou afinar os tempos de operação utilizando a metodologia MTM.



Em relação às condições desfavoráveis a nível ergonómico, e à sua relação também com o incumprimento dos tempos, decidiu-se fazer uma análise ergonómica, utilizando a ferramenta ErgoSafeCI (trabalho original de: Brito et al., 2019). Esta ferramenta foi uma mais valia para, num balanço geral, perceber o quanto os fatores ergonómicos estavam a afetar as linhas em comparação com outras temáticas como: indicadores de eficiência, melhoria contínua, higiene e segurança no trabalho, standards e gestão visual, operação e processo, fluxo de material e produto, zero defeitos e disciplina e sustentabilidade. Foi também útil para perceber, dentro dos fatores ergonómicos, aqueles que estavam a ter um impacto negativo.

Por último, em relação ao problema de falta de capacidade, foi realizado um estudo de simulação para uma proposta de melhoria, tendo por base a automatização do posto de trabalho 2. Este último objetivo fez a ponte entre todos os outros problemas e objetivos, visto que a proposta de melhoria traz vantagens para os tempos, elimina grande parte das más condições ergonómicas e ainda aumenta a capacidade. Para além disto, os tempos de operação calculados com o MTM, para validar e afinar os tempos que já existiam, serviram de base para o estudo de simulação.

### 3.3 Implementação

Este subcapítulo diz respeito às implementações que se fizeram e também às ações corretivas que foram estudadas. Assim sendo, e no seguimento do mencionado anteriormente na forma-ação, este subcapítulo será dividido de acordo com cada um dos tópicos estudados. Serão então abordadas as ações relacionadas com o MTM, seguindo-se a ergonomia e, por fim, o estudo de simulação.

#### 3.3.1 Implementação do MTM

O ponto de partida para a execução deste ponto foi perceber, internamente, qual o funcionamento do processo para a criação ou atualização de um *routing* (unidades/ hora de produção). Entendido este processo, deixou-se o mesmo documentado, utilizando a linguagem BPMN, como podemos ver na figura 25.

De seguida criou-se também uma *check-list* para orientar o processo anterior, visto ser bastante extenso. Desta forma conseguiu-se assegurar que certos passos não eram esquecidos, como por vezes acontecia. A tabela 7 ilustra a *check-list* criada.

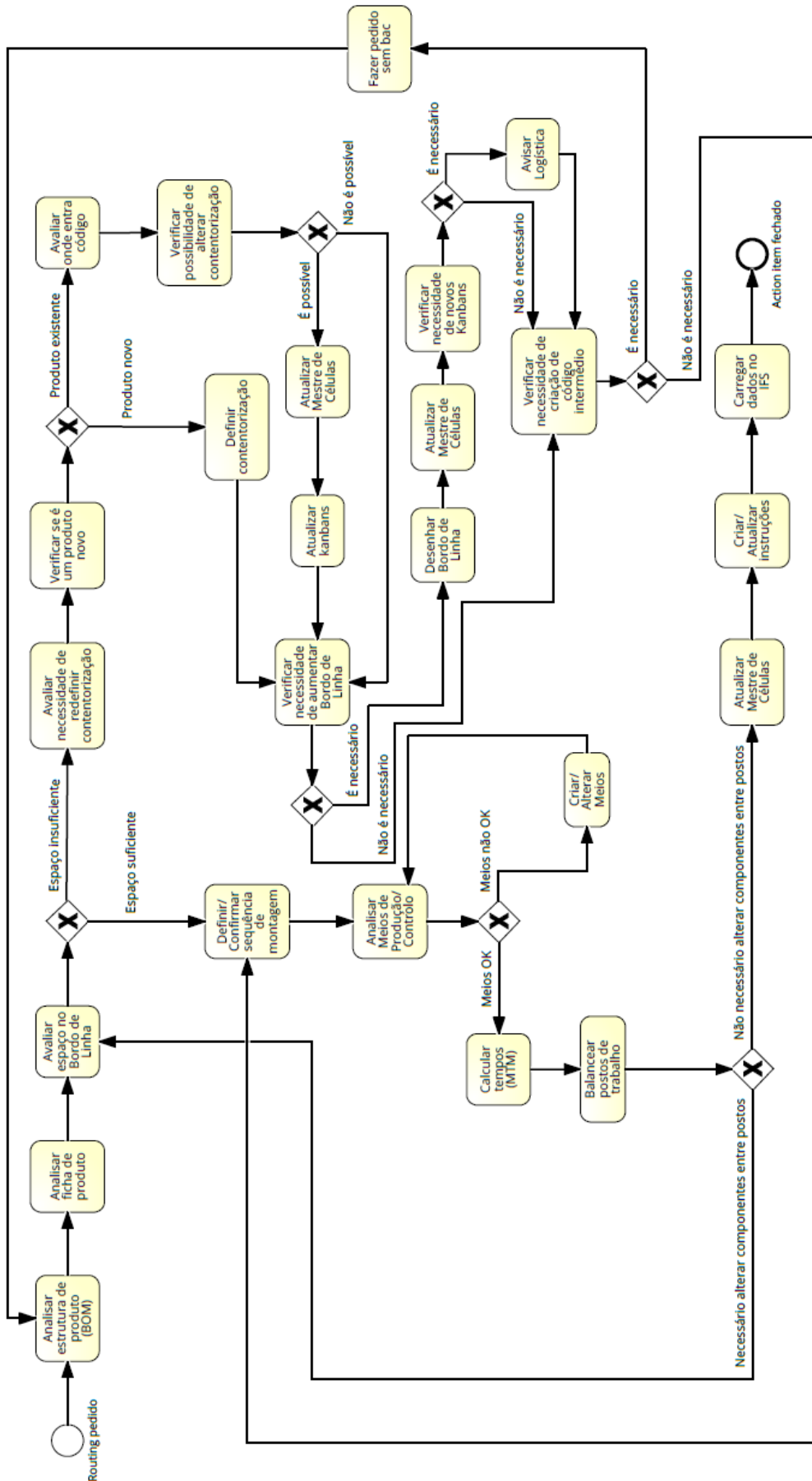


Figura 25- Esquema BPMN do processo de criação/ atualização de um routing

Tabela 7- Check-list do processo de criação/ atualização de um routing

Check List Criação/Atualização Routing				OLI
Área	Nº	Variável	Check	Comentários
1. Ficha de Produto	1,1	Analisar Estrutura de Produto (BOM)	✓	
	1,2	Analisar Ficha de Produto	✓	
2. Contentorização	2,1	Definir contentorização se produto novo e passar para ponto 3	✓	
	2,2	Avaliar onde entra o código se produto não novo e passar para ponto 3 se não for possí	✓	
	2,3	Atualizar Mestre de Células	✓	
	2,4	Avisar Logística se necessários novos Kanbans	✓	
3. Bordo de Linha	3,1	Desenhar Bordo de Linha	✓	
	3,2	Atualizar Mestre de Células	✓	
	3,3	Avisar Logística se necessários novos Kanbans	✗	
	3,4	Pedido sem bac se necessário código intermédio e voltar ao ponto 1	✗	
4. MTM	4,1	Definir/Confirmar sequência de montagem	✗	
	4,2	Analisar Meios de Produção/Controlo e só avançar quando meios ok	✗	
	4,3	Cálculo de tempos MTM	✗	
	4,4	Balaceamento dos postos	✗	
	4,5	Atualizar Mestre de Células ou voltar ao ponto 2 caso necessário alterar componentes	✗	
	4,6	Criar/Atualizar Instruções	✗	
	4,7	Carregar dados no IFS	✗	Part (já inserido no planeamento do processo); Serial object; Manufacturing tool
	4,8	Fechar Action Item	✗	

Findas estas duas etapas, seguiu-se uma análise minuciosa do processo de montagem nas linhas, de forma a tentar entender qual a melhor e mais eficiente forma de montar os componentes, primeiro passo fundamental para um estudo de tempos utilizando o MTM (ver figura 5 do capítulo 2). Nesta etapa é crucial que o analista se abstraia da forma como habitualmente os operadores realizam as suas tarefas, dado que por vezes melhores tempos são conseguidos se as tarefas forem realizadas de forma diferente. Em paralelo com esta fase de análise, gravaram-se vídeos daquele que era o atual método de montagem dos operadores e tiraram-se tempos das diversas operações, quer para comprovação no final do cálculo MTM dos valores obtidos, quer para a introdução, numa fase final, de variabilidade no estudo de simulação.

O cálculo MTM foi realizado por “blocos”, isto é, cada operação foi calculada separadamente e posteriormente, através de uma matriz, associou-se cada operação ao respetivo componente, para se conseguir mais facilmente efetuar o cálculo por código de produto individualizadamente, sendo este o segundo passo fundamental (ver figura 5 do capítulo 2). As tabelas 8 e 9 mostram parte do primeiro documento criado com a lista das operações e o respetivo cálculo.

Tabela 8- Lista de operações no documento de cálculo MTM

ORD	Nom	Sequências de processos	Código	TMU	Nº	F	Total TMU	Nova Linha
1	3	Colocar estrutura na mesa		299,46			299,455	10,8 s
2	27	Colocar estrutura em pé na mesa		165,25			165,248	6 s
3	1	Montar fixador		322			322	11,6 s
4	41	Montar abraçadeira no fixador		97,2			97,2	3,5 s
5	32	Montar curva de descida no fixador		81			81	3 s
6	2	Encaixar fixador na estrutura		82,6			82,6	3 s
7	4	Colocar autocolante na estrutura		117,9			117,9	4,3 s
8	26	Colocar autocolante verde de rastreio na estrutura		79			79	2,9 s
9	5	Colocar autocolante metro		174			174	6,3 s
10	6	Colocar suportes fixadores da estrutura		124,3			124,3	4,5 s
11	7	Colocar emboque no tubo e lubrificar		197,3			197,3	7,2 s
12	8	Encaixar tubo no autoclismo		128,7			128,7	4,7 s
13	9	Colocar autoclismo na estrutura		82,6			82,6	3 s
14	49	Aparafusar autoclismo à estrutura 2x		349,7			349,7	12,6 s
15	10	Aparafusar autoclismo à estrutura 4x		524,7			524,7	18,9 s
16	50	Aparafusar autoclismo à estrutura 8x		874,7			874,7	31,5 s
17	29	Girar e colocar golpilhas na estrutura		237,9			237,9	8,6 s
18	33	Colocar EPS de proteção		126			126	4,6 s
19	11	Aparafusar fixador à estrutura		169,7			169,7	6,2 s
20	12	Encaixar bloqueador		105,2			105,2	3,8 s
21	13	Pegar caixa e agraçar fundo 4x		334,2			334,2	12,1 s
22	34	Pegar caixa e agraçar fundo 5x		351,6			351,6	12,7 s
23	14	Girar caixa, pegar estrutura e colocar na caixa		217,66			217,658	7,9 s
24	44	Girar caixa, pegar estrutura em pé e colocar na caixa		214,98			214,976	7,8 s

Tabela 9- Cálculo MTM da primeira operação da lista

Esquerda		Colocar estrutura na mesa							Direita	
Nº	Descrição	Nº	Frq.	Código	TMU	TMU	Código	Nº	Frq.	Descrição
1	Torce corpo			tbc1	18,6					
2	Anda da zona de montagem até palete das estruturas			w-p	30					
3	Alcance grampo			r40a	45,2					
4	Pega grampo			g1a	8					
5	Move para o lado			m40b	62,4					
6	Solta			r11	8					
7	Alcance estrutura			r40d	16,8					Alcance estrutura
8	Pega estrutura			g1a	2					Pega estrutura
9	Contabilização do peso da estrutura			sc4	2,8					Contabilização do peso da estrutura
10	Move estrutura para posição de conforto			m50b4	19,26					Move estrutura para posição de conforto
11	Torce corpo			tbc1	18,6					
12	Anda da paleta das estruturas até mesa de montagem			w-p	30					
13	Move estrutura para a mesa de montagem			m40c4	19,795					Move estrutura para a mesa de montagem
14	Posiciona estrutura na mesa			p1nsd	16					Posiciona estrutura na mesa
15	Solta			r11	2					Solta

Cada operação criada, como as 24 que podemos ver na primeira tabela, tem associada uma outra tabela onde é descrita a operação pormenorizadamente, com o respetivo código e tempo MTM associado a cada descrição.

O documento que se criou de seguida foi a base de dados. Neste documento compilou-se todas as estruturas de produto que se montam nas linhas em análise, bem como todas as operações e o respetivo tempo obtido pelo cálculo MTM. O cálculo final dos *routings* foi obtido em função das operações e dos componentes que cada estrutura de produto tem. Os componentes foram associados às operações através de uma matriz, como já mencionado.

Nesta fase do projeto chegou-se à conclusão que os tempos poderiam ainda ser melhorados, pelo que se realizou o cálculo final dos *routings* de duas formas diferentes:

- Através do método usado pela empresa (em que a divisão das tarefas afeta toda a montagem para o posto 1 e todo o embalamento para o posto 2);
- Através de ficheiro com procedimento criado para afetação e divisão das tarefas pelos dois postos, criando um equilíbrio.

Assim sendo, a primeira forma de cálculo associou todas as operações relacionadas com a montagem ao posto 1 e todas as relacionadas com o embalamento ao posto 2, independentemente de se a carga de trabalho fica ou não desequilibrada. Esse documento encontra-se representado, em parte, na tabela 10.

Tabela 10- *Routings* sem afetação de tarefas por postos

Parent Part No	Parent Part Description	P1	P1 (un/h)	P2 sem Paletização	Paletização	P2 com Paletização	P2 (un/h)	Routing
CR01000184489	EST AIN EVO AP P5 6L AUTOP OLI	79	39	61,3	10,5	71,8	43	39
CR01000216227	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC HL SAT OLI	25,8	120	57,5	6,8	64,3	48	48
CR01000216228	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC IPLATE LUC OLI	25,8	120	57,5	6,8	64,3	48	48
CR01000216229	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC IPLATE SAT OLI	25,8	120	57,5	6,8	64,3	48	48
CR01000216230	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC HL BRC OLI	25,8	120	57,5	6,8	64,3	48	48
CR01000216231	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC HL LUC OLI	25,8	120	57,5	6,8	64,3	48	48
CR01000216232	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC PM102 SAT OLI	25,8	120	57,5	6,8	64,3	48	48
CR01000216233	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC PM102 BRC OLI	25,8	120	57,5	6,8	64,3	48	48
CR01000216235	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC PM102 LUC OLI	25,8	120	57,5	6,8	64,3	48	48
CR01000216236	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC IPLATE BRC OLI	25,8	120	57,5	6,8	64,3	48	48
CR01000216237	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC IPLATE LUC OLI	83,8	37	61,3	10,2	71,5	43	37
CR01000216238	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC IPLATE SAT OLI	83,8	37	61,3	10,2	71,5	43	37
CR01000216239	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC HL LUC OLI	83,8	37	61,3	10,2	71,5	43	37
CR01000216241	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC HL BRC OLI	83,8	37	61,3	10,2	71,5	43	37
CR01000216242	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC PM102 BRC OLI	83,8	37	61,3	10,2	71,5	43	37
CR01000216243	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC PM102 LUC OLI	83,8	37	61,3	10,2	71,5	43	37
CR01000216245	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC PM102 SAT OLI	83,8	37	61,3	10,2	71,5	43	37
CR01000216246	EST AIN EVO MEC AP P5 6L SANITARBLOCK + PLC IPLATE BRC	83,8	37	61,3	10,2	71,5	43	37
CR01000880206	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + P100 LUC OLI	83,8	37	61,3	10,2	71,5	43	37
CR01000880207	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + P100 BRC OLI	83,8	37	61,3	10,2	71,5	43	37
CR01000880208	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + P100 LUC OLI	25,8	120	57,5	6,8	64,3	48	48

A segunda forma de cálculo teve então em consideração a carga de trabalho afeta a cada posto. Neste documento há uma divisão do tempo final e há uma afetação das tarefas tão equilibrada quanto possível. O que acontecerá é que ou o posto 1 terá de realizar algumas das tarefas iniciais do posto 2, como a formação da caixa (enquanto o posto 2 termina o embalamento anterior) ou o posto 2 terá de concluir algumas das operações finais da montagem (enquanto o posto 1 vai dando início à montagem seguinte). A tabela 11 representa parte desse documento.

**Tabela 11- Routings com afetação de tarefas por postos**

Parent Part No	Parent Part Description	Tempo final	Nº operadores	Tempo por operador	Routings (un/h)
CR01000184489	EST AIN EVO AP P5 6L AUTOP OLI	150,81	2	75,40	39
CR01000216227	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC HL SAT OLI	90,07	2	45,03	60
CR01000216228	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC IPLATE LUC OLI	90,07	2	45,03	60
CR01000216229	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC IPLATE SAT OLI	90,07	2	45,03	60
CR01000216230	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC HL BRC OLI	90,07	2	45,03	60
CR01000216231	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC HL LUC OLI	90,07	2	45,03	60
CR01000216232	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC PM102 SAT OLI	90,07	2	45,03	60
CR01000216233	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC PM102 BRC OLI	90,07	2	45,03	60
CR01000216235	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC PM102 LUC OLI	90,07	2	45,03	60
CR01000216236	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + PLC IPLATE BRC OLI	90,07	2	45,03	60
CR01000216237	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC IPLATE LUC OLI	155,26	2	77,63	39
CR01000216238	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC IPLATE SAT OLI	155,26	2	77,63	39
CR01000216239	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC HL LUC OLI	155,26	2	77,63	39
CR01000216241	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC HL BRC OLI	155,26	2	77,63	39
CR01000216242	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC PM102 BRC OLI	155,26	2	77,63	39
CR01000216243	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC PM102 LUC OLI	155,26	2	77,63	39
CR01000216245	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + PLC PM102 SAT OLI	155,26	2	77,63	39
CR01000216246	EST AIN EVO MEC AP P5 6L SANITARBLOCK + PLC IPLATE BRC	155,26	2	77,63	39
CR01000880206	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + P100 LUC OLI	155,26	2	77,63	39
CR01000880207	EST AIN EVO MEC AP P5 6L EURO + P100 BRC OLI	155,26	2	77,63	39
CR01000880208	EST AIN EVO MEC AP 6L SIMF + P100 LUC OLI	90,07	2	45,03	60

Este documento cria ainda uma lista, para cada código, com todas as operações necessárias, sendo que a operação a laranja é a primeira operação a realizar pelo posto 1 e a operação a azul é a primeira operação a realizar pelo posto 2. No final da listagem, mostra ainda qual o tempo necessário no posto 1 e qual o tempo necessário no posto 2. A imagem 26 exemplifica o mencionado anteriormente para um código.

CRO1000184489	
Colocar estrutura na mesa	
Montar fixador	
Encaixar fixador na estrutura	
Colocar autocolante verde de rastreo na estrutura	
Colocar autocolante metro	
Colocar emboque no tubo e lubrificar	
Encaixar tubo no autoclismo	
Colocar autoclismo na estrutura	
Aparafusar autoclismo à estrutura 4x	
Aparafusar fixador à estrutura	
Encaixar bloqueador	
Colocar EPS calço da estrutura	
Pegar caixa e agrafar fundo 5x	
Colocar autocolante na caixa	
Girar caixa, pegar estrutura e colocar na caixa	
Colocar componente na caixa	
Fechar caixa agrafando 5x	
Colocar cartão na paleta	
Colocar cantos de cartão na paleta	
Colocar filme na paleta com 3 níveis	
Transporte e registo de paleta	
<b>TEMPO DE OCUPAÇÃO (s):</b>	
	71,7
	79,11
<b>LEGENDA:</b>	
P1	
P2	

Figura 26- Afetação de tarefas por posto e tempo de ocupação

Esta última parte do documento, com a listagem de operações por código e tempo de ocupação, serviu também como ponto de partida para o último ponto das ações relacionadas com o MTM, as instruções de manufatura. Este é o terceiro e último passo principal de um estudo de tempos utilizando o MTM (ver figura 5 do capítulo 2). Estas foram realizadas por famílias, totalizando 11 instruções alteradas em função da afetação de tarefas resultante do documento anterior. A título exemplificativo encontram-se nas figuras 27 e 28, a primeira e segunda página respetivamente, da instrução da família OLI74 Simflex, que será estudada mais em pormenor na simulação.


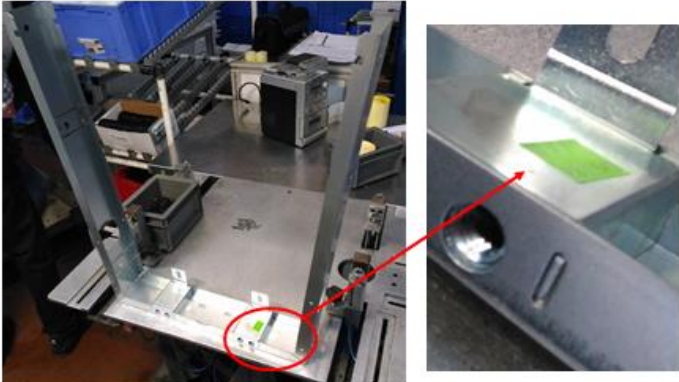



		<b>Instrução de Manufactura</b>	<b>Estruturas</b>
		<i>OLI74 Simflex</i>	IM.00269 Pág. 1/2
<b>OP.</b>	<b>DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO</b>	<b>AUTOCONTROLO</b>	
<b>1</b>	<p>Montar a estrutura metálica e colocar a etiqueta de rastreio. (Posto 1)</p> 	<p>Verificar se existem cortes, rebarbas ou outras imperfeições no emboque que possam interferir na vedação do tubo.</p> <p>Confirmar que ao realizar a montagem no autoclismo não existe torção/ deformação dos o-rings.</p>	
<b>2</b>	<p>Colocar emboque no tubo. (Posto 1)</p> 		
<b>3</b>	<p>Molhar o tubo no lubrificante e encaixar no tanque. (Posto 1)</p> 		
<b>4</b>	<p>Colocar o tanque na estrutura metálica. (Posto 1)</p> 		
<p><b>NOTAS:</b> Verificar que as peças a montar estejam de acordo com a estrutura do produto/ficha cliente.            Mantenha o seu posto de trabalho limpo e arrumado.</p>			

Figura 27- Primeira página da instrução de manufactura do OLI74 Simflex



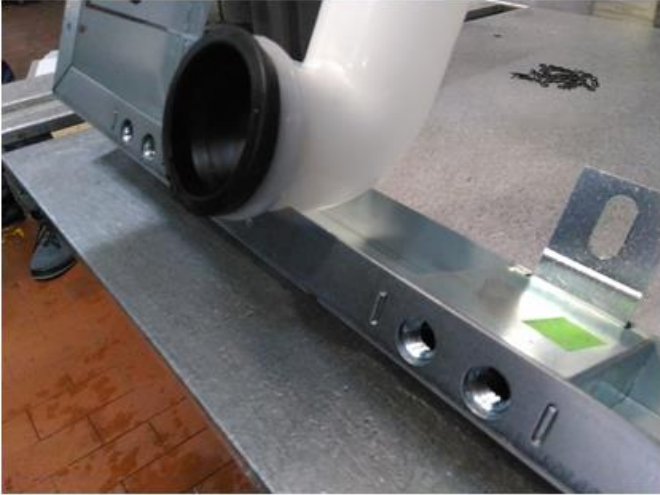

		<b>Instrução de Manufactura</b>	<b>Estruturas</b>
		<i>OLI74 Simflex</i>	IM.00269 Pág. 2/2
<b>OP.</b>	<b>DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO</b>	<b>AUTOCONTROLO</b>	
5	Rodar a estrutura na mesa e clipar tanque. (Posto 1) 		
6	Verificar o encaixe do tubo de descarga na estrutura. (Posto 1) 		
7	Embalar o produto e colocar os acessórios dentro da caixa. (Posto 2) O (Posto 1) ainda faz a montagem da caixa. 	<p style="color: blue;">Consultar a FP para a formação da palete.</p>	
<p><b>NOTAS:</b>      Verificar que as peças a montar estejam de acordo com a estrutura do produto/ ficha cliente.                                Mantenha o seu posto de trabalho limpo e arrumado.</p>			

Figura 28- Segunda página da instrução de manufactura do OLI74 Simflex



### 3.3.2 Análise ergonómica

O tópico da ergonomia surgiu por se ter percebido, aquando do diagnóstico, dos vários fatores que estavam a causar condições desfavoráveis, condições essas a afetar também a rentabilidade dos colaboradores e, conseqüentemente, o não cumprimento dos tempos de operação. Desta forma, decidiu-se utilizar a ferramenta ErgoSafeCI (trabalho original de: Brito et al., 2019), de forma a analisar vários fatores a nível de ergonomia, mas também para perceber o impacto que a falta de condições ergonómicas estava a ter num balanço geral. A tabela 12 mostra os fatores ergonómicos analisados.

Tabela 12- Fatores ergonómicos analisados

#	8- Ergonomia	Sim	Não
57	O layout permite contactos sociais?	x	
58	O trabalhador adota uma postura essencialmente estática?		x
59	O trabalhador tem espaço suficiente (ex: espaço de movimentação, espaço para a execução do trabalho)?	x	
60	Existe rotatividade entre os postos de trabalho tendo em consideração os grupos musculares?		x
61	A força necessária para executar o trabalho e/ou os pesos manipulados são excessivos (superior a 2Kg)?	x	
62	O esforço é repetido de forma contínua e por pelo menos uma hora?	x	
63	O trabalhador é obrigado a repetir as mesmas operações a uma cadência elevada (4X/min)?	x	
64	O trabalhador tem que levantar ou transportar pesos elevados (acima de 10 kg)?	x	
65	O plano de trabalho prevê pausas para descanso? Se sim, têm duração suficiente para permitir uma recuperação completa?		x
66	O plano de trabalho parece ser demasiado alto ou baixo para o trabalhador?	x	
67	O trabalhador tem que assumir uma posição não natural ou forçada a fim de conseguir ver os mostradores, detalhes do trabalho ou para alcançar manípulos, peças, etc?	x	
68	O trabalhador adopta alguma das seguintes posturas para efectuar a tarefa: braços levantados, torção e/ou flexão do tronco ou pescoço?	x	
69	O trabalhador estende, flecte ou faz rotação do punho para executar a tarefa?	x	
70	O trabalhador realiza pegas manuais do tipo "de pinça" (com os dedos), com alguma frequência?		x
71	O trabalhador tem que exercer esforços de empurrar, puxar, levantar ou baixar objectos estando o tronco curvado, torcido ou inclinado para trás?	x	

Tal como para a ergonomia, foi feito um questionário similar para avaliar outros tópicos, sendo eles:

- Indicadores Performance/ Eficiência;
- Melhoria contínua;
- Higiene e segurança no trabalho;
- Standards e gestão visual;
- Operação e processo;
- Fluxo de material e produto;
- Zero defeitos;
- Disciplina/ Sustentabilidade.

Em cada um dos tópicos, cada uma das questões pode ser respondida com: sim, não ou não aplicável. No caso particular da ergonomia todas as questões levantadas poderiam ser feitas para as linhas em estudo, daí não se encontrar visível a coluna relativa ao não aplicável.

Desta forma, e depois de respondidas e analisadas todas as questões, para todos os tópicos que envolvem e que caracterizam uma linha de montagem, foi possível perceber, a partir do gráfico final que a ferramenta ErgoSafeCI devolve, e que se encontra na figura 29, qual a pontuação final atribuída à ergonomia, num balanço geral e relativamente a todos os tópicos analisados.

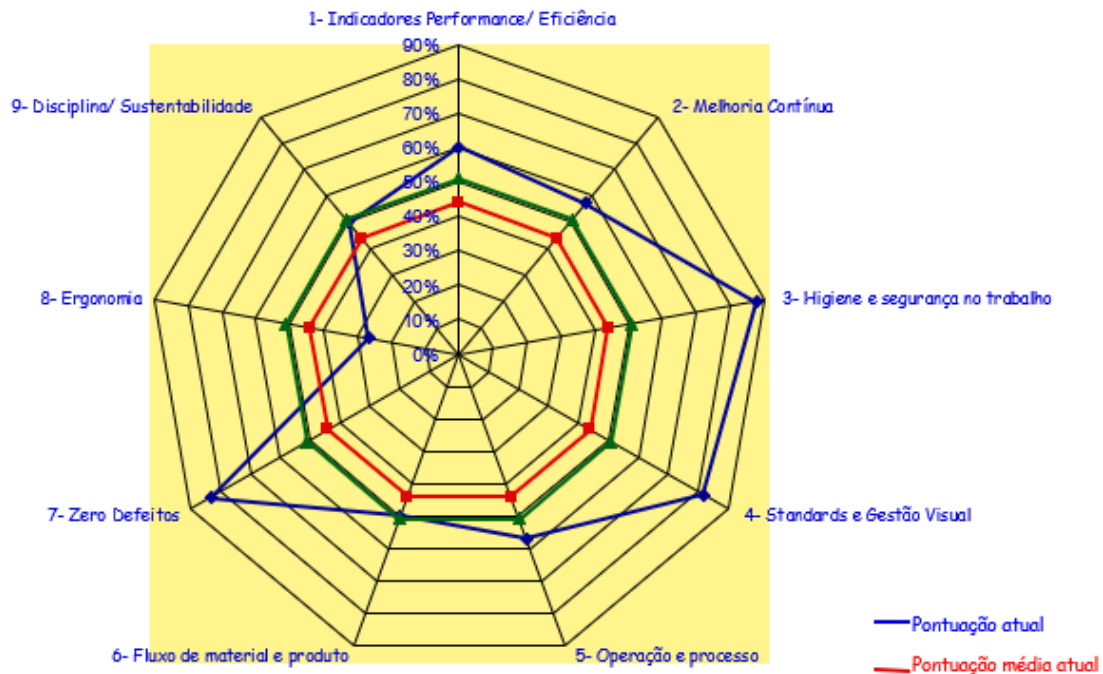


Figura 29- Gráfico ErgoSafeCI

Para além do gráfico final que se encontra na figura acima, a ferramenta devolve outros *outputs* que, apesar de não terem sido usados neste projeto em particular, são úteis e merecem assim ser destacados. A ferramenta devolve uma pontuação final atual, que é calculada ponderando todos os tópicos analisados, e é devolvido também um conjunto de ferramentas como sugestão para o utilizador melhorar os tópicos em estudo que se encontram com pior classificação. No final, ficam ainda listados os pontos que, em cada tópico em estudo com classificação baixa, terão de ser revistos, depois de aplicadas as ferramentas sugeridas pelos autores, ou outras ações de melhoria que o utilizador tenha escolhido aplicar ou estudar, como aconteceu neste projeto.

Num balanço geral comprovou-se assim que a ergonomia, dentro dos nove tópicos analisados, é o fator com pontuação mais baixa, carecendo de uma ação de melhoria, que será estudada no próximo subcapítulo.

### 3.3.3 Estudo de simulação

Depois do estudo de tempos e da análise ergonómica, é chegada a fase final do projeto, o estudo de simulação. Nesta etapa foram usados os tempos calculados numa fase inicial, bem como o resultado da análise ergonómica, de maneira a estudar a viabilidade de uma proposta de melhoria. O ponto de partida foi a escolha do código que se iria usar para simular, visto haver uma grande variabilidade de produtos com pequenas diferenças entre eles nas especificações, montagem e embalagem. Posto isto, efetuou-se uma análise ABC, por quantidade e por valor, para todos os códigos produzidos nas linhas ES001 e ES002 ao longo do ano de 2019. A figura 30 diz respeito à parte inicial do gráfico da análise por quantidade e a figura 31 à parte inicial do gráfico da análise por valor, sendo que a totalidade dos gráficos se encontra nos anexos 1 e 2, respetivamente.

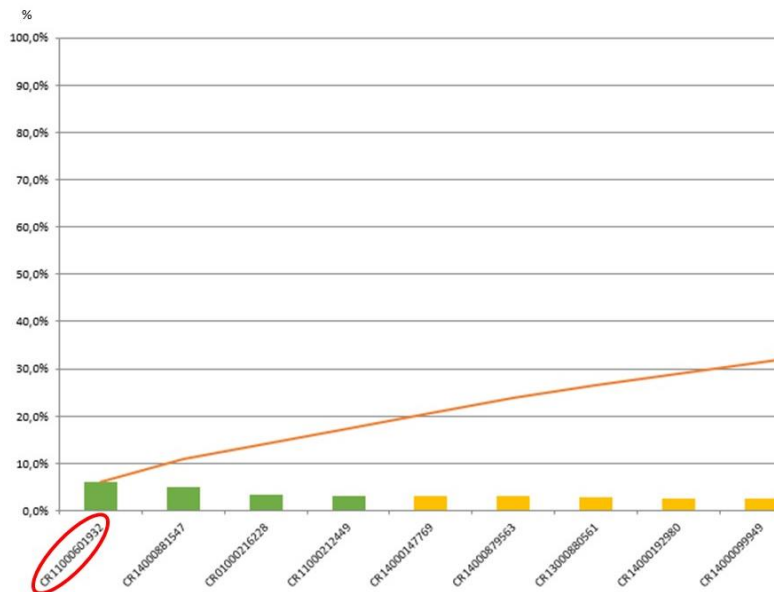


Figura 30- Gráfico da análise ABC por quantidade relativo ao ano de 2019

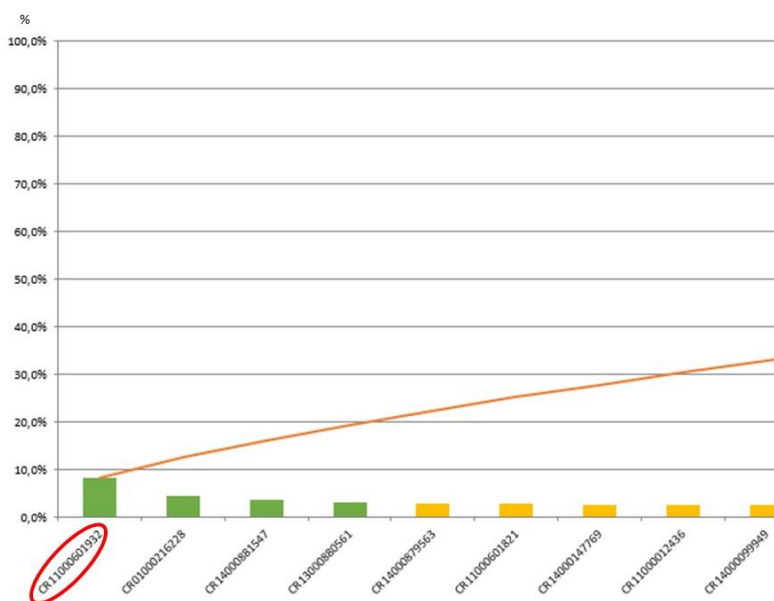


Figura 31- Gráfico da análise ABC por valor relativo ao ano de 2019

Nas duas análises, por quantidade e por valor, o código que representou mais impacto foi o CR11000601932. Este código diz respeito a uma estrutura da família OLI74 Simflex, de 6 litros e com EPS de proteção, estando a sua estrutura representada na tabela 13.

**Tabela 13- Estrutura de produto CR11000601932**

Parent Part No	Parent Part Description	Component Part No	Component Part Description	Qty per Assembly
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	IB11000150103	AIN OLI74 PLUS EVOLI 6L(-) INTERM CNZ	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	AI10000013320	EST MET SIMF OLI74+ELO S80	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	AB10000177128	CX EST OLI74 PLUS SIMF S/9L OLI	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	IR00000064799	CURVA DESC 90/90 L230 OLI + VED	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	IB00000010929	CX FOLE COMP OLI74 S/INST LS001	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	IR00000622501	SACO PECAS TUB EVAC 90 D44	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	BA50000880867	PROTEC TUB DM90 BRC	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	BA020612119	ABRACADEIRA PLAST ESTR SIMF D90	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	AF100622819	EMBOQUE DESC DIAM D40/D44 NV	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	BA5000007330	TUB DESC DIAM DM56X165	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	IR00000601546	SACO ACS OLI74 SIMFLEX SD	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	AB40000491500	PLC CARTAO 1200X800	0,1154
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	AE30000132082	EPS PROTEC INF SIMFLEX OLI74 CNZ	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	AC30000010429	AUTOC DIV EFIC HIDRICA CLASSE A	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	AB40000196151	PALETE FUMIGADA SEMI-NOVA 1200 X 800 EURO	0,03846
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	AB40000070588	AGRAFO P/ ESTRUTURAS 561X18	8
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	AB40000881705	CANTO CARTAO 240 CM	0,1539
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	BA50000009511	ABRACADEIRA DESC SIMFLEX	1
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS	IR00000880618	TUB RED DE 90/110 PRT+ VED	1

Depois de escolhido o código mais relevante, e de analisada a sua estrutura, foi fundamental verificar que operações eram necessárias para montar este produto, sendo elas:

- Colocar estrutura na mesa;
- Colocar autocolante verde de rastreio na estrutura;
- Colocar emboque no tubo e lubrificar;
- Encaixar tubo no autoclismo;
- Colocar autoclismo na estrutura;
- Girar e clipar tanque na estrutura;
- Encaixar bloqueador;
- Colocar EPS de proteção;
- Pegar caixa e agrafar fundo 4x;
- Colocar autocolante na caixa;
- Girar caixa, pegar estrutura e colocar na caixa;
- Colocar componentes na caixa;
- Fechar caixa agrafando 4x;
- Colocar caixa na palete;
- Colocar cartão na palete;
- Colocar filme na palete com 3 níveis;
- Transporte e registo de palete.

Sabendo que operações eram necessárias para a montagem foi possível analisar a recolha de tempos realizada aquando do estudo de tempos, de maneira a calcular o desvio padrão para introduzir variabilidade no estudo de simulação. A medição de tempos das operações enumeradas acima, bem como o seu desvio padrão, encontra-se na tabela 14.

Tabela 14- Recolha de tempos

Posto de trabalho	Operação	Tempos (s)	Média (s)	Desvio padrão	Cálculo MTM (s)
P1	Colocar estrutura em pé na mesa	4,20	3,8	0,5	4,2
		3,38			
		4,48			
		3,39			
		3,33			
P1	Colocar autocolante verde de rastreio na estrutura	0,57	0,7	0,1	2,9
		0,96			
		0,76			
		0,81			
		0,60			
P1	Colocar emboque no tubo e lubrificar	5,55	6,5	0,8	7,2
		6,92			
		6,68			
		7,72			
		5,75			
P1	Encaixar tubo no autoclismo	1,46	2,4	0,7	4,7
		2,15			
		2,73			
		3,43			
		2,24			
P1	Colocar autoclismo na estrutura	3,39	3,9	0,7	3,0
		3,25			
		3,97			
		5,20			
		3,72			
P1	Girar e clipar tanque na estrutura	4,12	3,6	0,5	4,6
		3,25			
		3,38			
		4,29			
		3,07			
P1	Encaixar bloqueador	3,35	4,1	0,6	3,8
		4,41			
		4,65			
		4,88			
		3,43			
P1	Colocar EPS de proteção	4,57	4,4	1,2	4,6
		3,63			
		3,96			
		6,65			
		3,36			
P2	Pegar caixa e agrafar fundo 4x	9,07	9,5	0,7	12,1
		9,03			
		9,77			
		10,68			
		8,71			
P2	Colocar autocolante na caixa	3,04	3,2	0,1	2,4
		3,27			
		3,14			
		3,10			
		3,38			
P2	Girar caixa, pegar estrutura em pé e colocar na caixa	3,91	4,9	0,5	7,8
		5,16			
		5,16			
		4,99			
		5,27			
P2	Colocar componente na caixa	1,06	2,0	0,7	2,9
		1,94			
		1,77			
		1,98			
		3,17			
P2	Fechar caixa agrafando 4x	4,73	5,2	0,2	6,7
		5,31			
		5,32			
		5,03			
		5,40			
P2	Colocar caixa na palete- mais leve	5,46	4,2	1,0	4,8
		4,99			
		4,21			
		2,49			
		3,84			
P2	Colocar cartão na palete	3,67	5,5	1,3	5,9
		6,46			
		4,45			
		5,82			
		7,13			
P2	Colocar cantos de cartão na palete	23,50	18,5	2,8	15,8
		18,38			
		17,98			
		14,80			
		17,65			
P2	Colocar filme na palete com 3 níveis	70,57	65,7	5,6	59,8
		64,73			
		73,23			
		58,21			
		61,57			
P2	Agrafar cantos de cartão à palete no fundo	25,59	29,1	5,7	21,7
		39,71			
		26,64			
		23,43			
		30,17			
P2	Transporte e registo de palete	120,31	93,9	18,3	62,4
		65,70			
		110,34			
		80,98			
		72,29			

Desta forma, para o estudo de simulação, utilizaram-se os valores obtidos nos cálculos MTM (última coluna) e considerou-se uma função triangular com:

- Mínimo= valor obtido no cálculo MTM (última coluna) – desvio padrão (penúltima coluna);
- Máximo= valor obtido no cálculo MTM (última coluna) + desvio padrão (penúltima coluna).

Para além do mencionado previamente, considerou-se todas as chegadas como sendo uma função exponencial, sendo que as entradas de componentes da montagem (afetas ao posto 1) são compostas pelo valor do somatório dos valores mínimos:

- Colocar estrutura na mesa=  $4,2-0,5= 3,7s$
- Colocar autocolante verde de rastreio na estrutura=  $2,9-0,1= 2,8s$
- Colocar emboque no tubo e lubrificar=  $7,2-0,8= 6,4s$
- Encaixar tubo no autoclismo=  $4,7-0,7= 4,0s$
- Colocar autoclismo na estrutura=  $3,0-0,7= 2,3s$
- Girar e clipar tanque na estrutura=  $4,6-0,5= 4,1s$
- Encaixar bloqueador=  $3,8-0,6= 3,2s$
- Colocar EPS de proteção=  $4,6-1,2= 3,4s$

$$3,7+2,8+6,4+4,0+2,3+4,1+3,2+3,4= 29,9s$$

Considerou-se assim uma função exponencial de 29,9 segundos para os componentes que entram no posto 1.

Para as entradas de componentes do embalamento (afetas ao posto 2) têm o valor do somatório dos valores mínimos, sem paletização:

- Pegar caixa e agrafar fundo  $4x= 12,1-0,7= 11,4s$
- Colocar autocolante na caixa=  $2,4-0,1= 2,3s$
- Girar caixa, pegar estrutura e colocar na caixa=  $7,8-0,5= 7,3s$
- Colocar componente na caixa=  $2,9-0,7= 2,2$  ( $2,2 \times 7$  componentes=  $15,4s$ )
- Fechar caixa agrafando  $4x= 6,7-0,2= 6,5s$
- Colocar caixa na palete=  $4,8-1,0= 3,8s$

$$11,4+2,3+7,3+15,4+6,5+3,8= 46,7s$$

Desta forma considerou-se uma função exponencial de 46,7 segundos para os componentes que entram no posto 2.

Analisadas todas as condições de entrada, simularam-se as duas situações:

- A primeira, a situação inicial, como é atualmente realizado, com o posto 1 a fazer toda a montagem e o posto 2 a fazer todo o embalamento;
- A segunda, a proposta de melhoria, com uma automatização, substituindo o posto 2 por uma paletizadora.

Esta proposta de melhoria reduzirá uma grande maioria das operações pouco favoráveis a nível ergonómico, irá melhorar os tempos de operação e, conseqüentemente, irá aumentar a capacidade.

No anexo 3 é possível encontrar o esquema que se elaborou para suportar a situação inicial. A figura seguinte mostra a animação criada para melhor visualização da situação inicial.

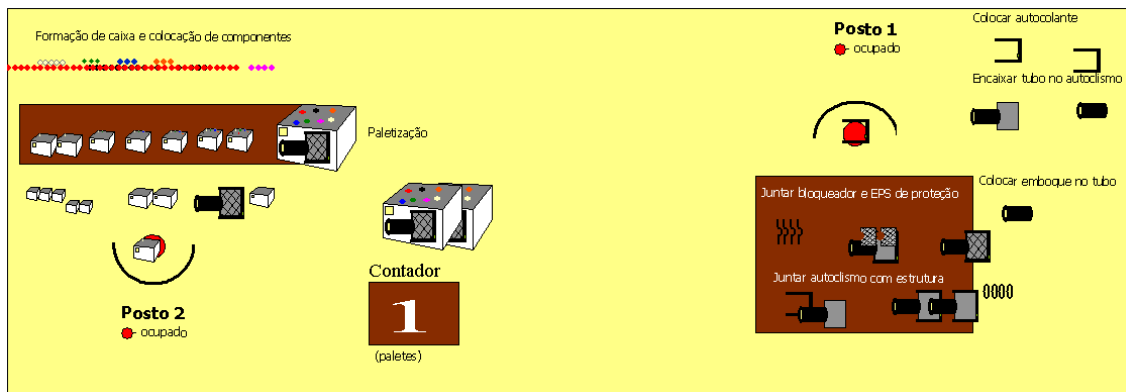


Figura 32- Animação da simulação da situação inicial

O mesmo acontece para a proposta de melhoria sendo que o esquema base se encontra no anexo 4. Na imagem 33 encontra-se a animação da proposta de melhoria.

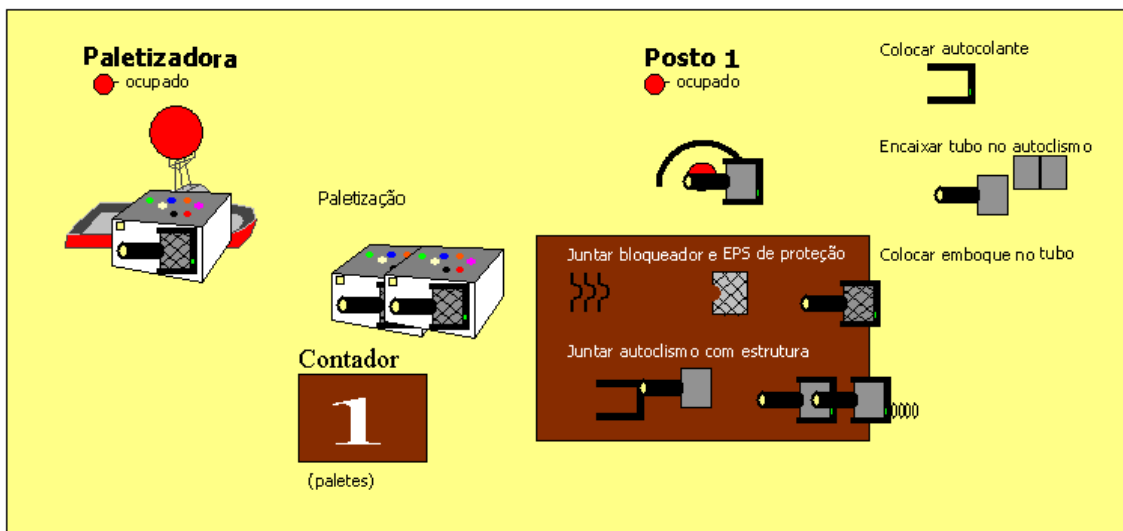


Figura 33- Animação da simulação da proposta de melhoria

Nas duas animações conseguimos visualizar na zona esquerda o posto 2 (imagem 32) ou a paletizadora (imagem 33) e na zona direita o posto 1 (nas duas imagens). Quando os recursos estão ocupados ficam representados com um círculo vermelho por cima, como se encontra legendado. Os retângulos castanhos dizem respeito às bancadas de apoio. Nas duas situações, encontra-se na parte inferior um contador das saídas, por paletes. As operações principais encontram-se também identificadas e todos os componentes têm uma representação gráfica associada. A legenda dos componentes encontra-se na figura 34.

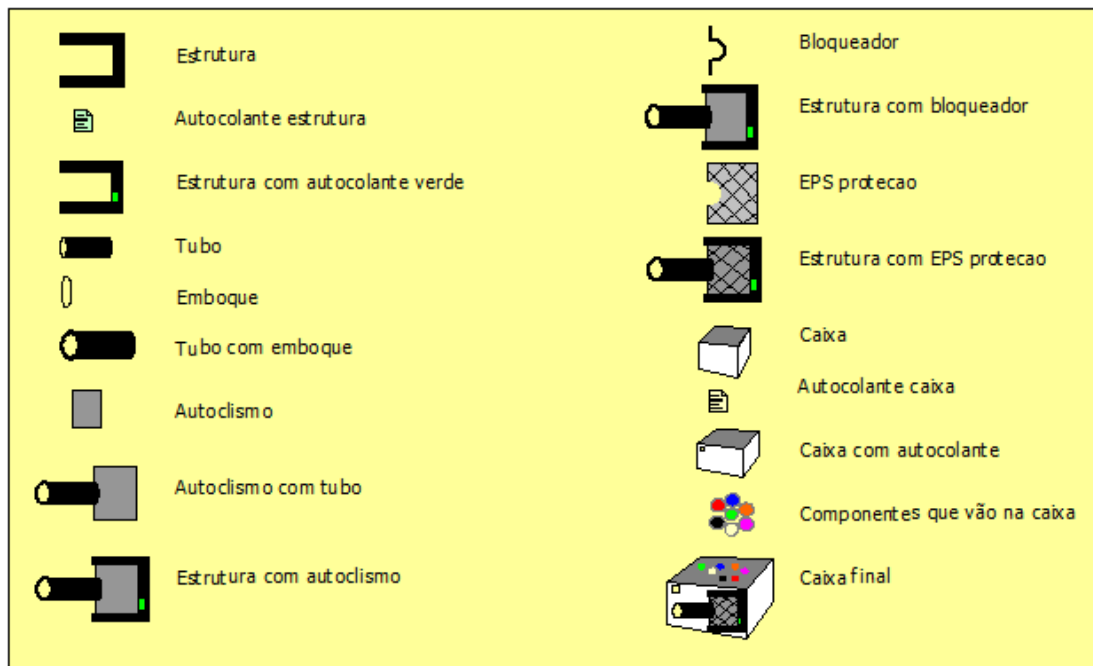


Figura 34- Legenda das animações do estudo de simulação



# Capítulo 4

---

## Análise e discussão de resultados

---



## Análise e discussão de resultados

Este capítulo tem como propósito, depois da apresentação do que foi estudado e implementado, mostrar a evolução e o que foi possível alcançar. Serve, de forma simplificada, para comparar o antes e depois. Estará organizado da mesma forma que o capítulo anterior, isto é, MTM, ergonomia e simulação, de forma a facilitar a ligação dos tópicos e de maneira a manter uma linha de pensamento.

### 4.1 MTM

Tal como foi referido ao longo do capítulo anterior, os cálculos MTM foram realizados de duas formas distintas, a fim de se perceber qual a que trazia maior rentabilidade de tempos. No gráfico da figura 35 temos a título exemplificativo, para alguns dos códigos, o valor final dos *routings* obtidos para os dois métodos.

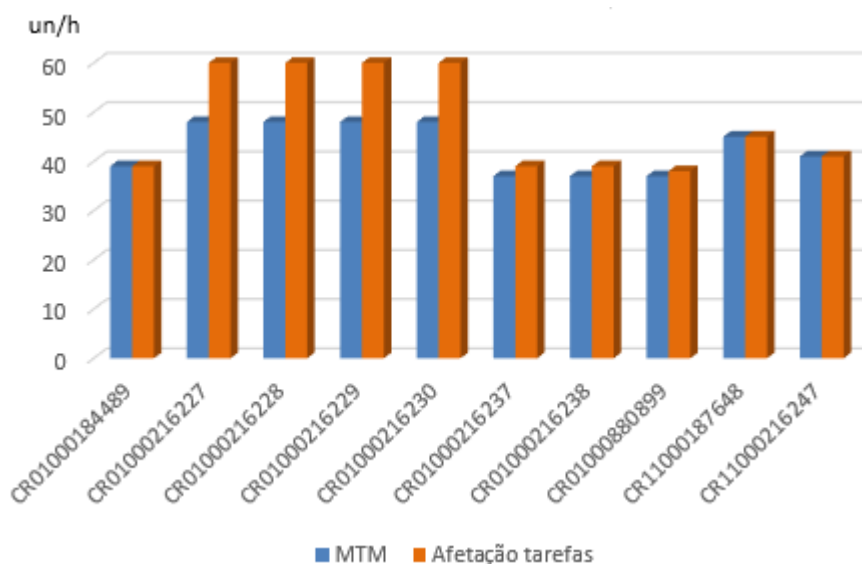


Figura 35- *Routings* (un/h) obtidos pelas duas formas de cálculo MTM utilizadas

Através da análise do gráfico, e como já era expectável, conseguimos ganhos significativos no número de unidades que conseguimos produzir por hora, quando se equilibram as tarefas entre os dois postos.

Foi feita também uma análise para a diferença do tempo de folga em cada posto e para a diferença da percentagem de inatividade e, encontram-se a título exemplificativo para alguns códigos, nos gráficos das figuras 36 e 37 respetivamente.

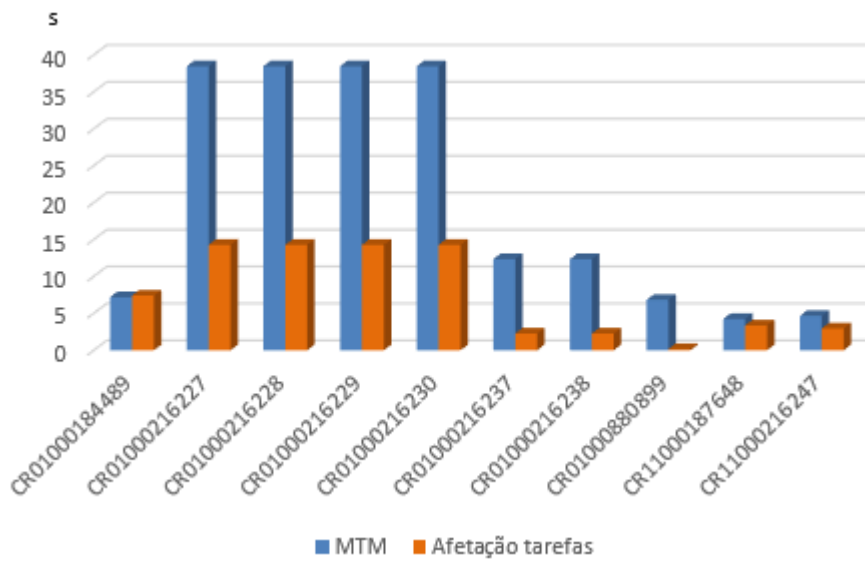


Figura 36- Folgas entre postos (s) pelas duas formas de cálculo MTM utilizadas

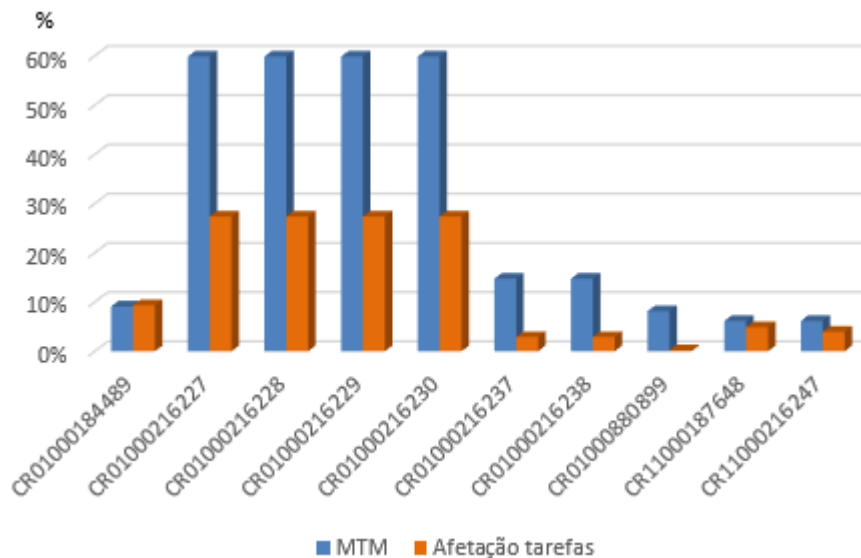


Figura 37- % de inatividade pelas duas formas de cálculo MTM utilizadas

Desta forma, e devido à análise destes últimos dois gráficos, que também demonstram ganhos com o procedimento de afetação de tarefas, foram assim aprovados os *routings* associados ao procedimento para introdução no sistema ERP da empresa, o IFS. É de salientar que os valores não foram todos introduzidos simultaneamente. Começou por se introduzir os valores dos códigos que se iriam produzir nos dias mais próximos, por forma a comprovar por cronometragem, no chão de fábrica, a veracidade dos mesmos e se estavam de acordo com a realidade. Após a confirmação de alguns códigos, introduziram-se os restantes valores. Como já referido, esta escolha levou também à necessidade de atualização das instruções de manufatura para deixar documentado as tarefas a realizar em cada posto.

## 4.2 Ergonomia

Na tabela 12, onde se apresentaram os fatores ergonómicos analisados, é de destacar os seguintes por serem menos favoráveis:

- Falta de rotatividade tendo em consideração grupos musculares;
- Necessária força para manipular pesos superiores a 2Kg;
- Esforço repetido por mais de uma hora;
- Repetição de tarefas a uma cadência superior a 4x/min;
- Necessário levantar e transportar pesos superiores a 10Kg;
- Pausas não têm duração suficiente para permitir recuperação muscular completa;
- Plano de trabalho demasiado alto ou baixo para o colaborador;
- Trabalhador tem de assumir, por vezes, posição não natural;
- Trabalhador tem de levantar braços e torcer tronco e pescoço;
- Trabalhador tem de fazer rotação de punho;
- Trabalhador tem de empurrar objetos numa posição curvada.

Como mencionado no subcapítulo da análise ergonómica, listam-se os fatores que devem ser revistos dentro do tópico que se está a analisar, pois a resposta ao questionário na ferramenta em alguns desses pontos, pode mudar depois das melhorias. Neste caso, listaram-se os fatores menos favoráveis dentro da ergonomia, pois são aqueles que se pretendem reduzir com a melhoria estudada na simulação. Desta forma, é expectável uma redução significativa das atividades de risco ergonómico, passando apenas a existir algumas delas, que se concentravam mais no trabalho do operador do posto 1, sendo elas:

- Necessária força para manipular pesos superiores a 2Kg;
- Esforço repetido por mais de uma hora;
- Repetição de tarefas a uma cadência superior a 4x/min;
- Pausas não têm duração suficiente para permitir recuperação muscular completa;
- Trabalhador tem de empurrar objetos numa posição curvada.

Desta forma, a automatização estudada na simulação, com bons resultados também no que diz respeito à melhoria da capacidade das linhas, como se verá no próximo subcapítulo, permitiu também a redução de muitas das atividades de risco ergonómico como enumerado acima. Atingiu-se assim neste tópico um valor final superior ao dobro do valor inicial, passando de uma pontuação inicial na ferramenta à volta de 30% (ver figura 29 do capítulo 3), para 65%.

## 4.3 Simulação

Depois de desenhado o estudo de simulação, correu-se os dois casos, situação inicial e proposta de melhoria, para 240 replicações. A escolha do número de replicações baseou-se numa abordagem de tentativa e erro, até se considerarem aceitáveis os intervalos de confiança para as medidas de desempenho selecionadas. As 240 replicações são o equivalente a um ano de trabalho (tendo em consideração um número aproximado de 20 dias úteis por mês). Escolheu-se 8 horas para o comprimento temporal de uma simulação (o equivalente a 1 turno de trabalho).

Depois de corridas as duas situações, analisaram-se os resultados para os seguintes parâmetros:

- Número de saídas- *routings* (paletes/ dia);
- *Lead time* (horas);
- Fila com mais tempo de espera (horas);
- Taxa de utilização dos recursos.

Na tabela 15 encontram-se os resultados obtidos para os parâmetros acima mencionados.

Tabela 15- Resultados do estudo de simulação

	Situação inicial	Proposta melhoria
<b>Nr saída (paletes/dia)</b>	10,4333 +/- 0,13	25,9333 +/- 0,09
<b>Lead time (horas)</b>	4,1331 +/- 0,03	4,0801 +/- 0,01
<b>Fila com mais tempo espera (horas)</b>	(1) 1,2655 +/- 0,02	(2) 1,0193 +/- 0,02
<b>Taxa utilização</b>		
Posto 1	0,9967 +/- 0,00	0,9963 +/- 0,00
Posto 2/ Paletizadora	0,9945 +/- 0,00	0,7146 +/- 0,00

(1)- Juntar caixa com saco acs.Queue2  
(2)- Juntar estrutura com EPS protecao.Queue2

Começando por analisar o número de saídas, aproximadamente 10 paletes para a situação inicial e 26 paletes para a proposta de melhoria, podemos concluir que os valores se encontram relativamente próximos do obtido nos cálculos MTM. Multiplicando o número de paletes pelo número de caixas (26) obtém-se:

- 10 paletes x 26 caixas= 260 caixas
- 26 paletes x 26 caixas= 676 caixas

Comparando com os resultados obtidos no cálculo MTM, pelo método utilizado pela empresa, sem afetação de tarefas, que foi a situação inicial encontrada, obteve-se o representado na tabela 16.

Tabela 16- *Routings* sem afetação de tarefas para o código simulado

Parent Part No	Parent Part Description	P1	P1 (un/h)	P2 sem Paletização	Paletização	P2 com Paletização	P2 (un/h)	Routing
CR11000601932	EST OLI74 PLUS EVOLI 6L SIMF PROT EPS		35	87	54,1	7,8	61,9	50

- 50 un/h x 8 horas= 400 caixas
- 87 un/h x 8 horas= 696 caixas

Apesar da proximidade dos valores, há ainda alguma diferença, que se pode justificar com a variabilidade introduzida no estudo de simulação, que existe na realidade, e que não é contemplada nos cálculos do MTM. As 400 caixas do cálculo MTM equivalem às 260/ 286 obtidas na situação inicial do estudo de simulação e as 696 caixas equivalem às 676 obtidas na proposta de melhoria.

Em relação ao *lead time* podemos observar que o valor baixou da situação inicial para a proposta de melhoria.

As filas que se obtiveram como sendo as de maior tempo de espera foi a de juntar a caixa com o saco de acessórios e a de juntar a estrutura com o EPS de proteção, referentes à situação inicial e proposta de melhoria, respetivamente. Ambas as situações eram expetáveis visto serem as últimas filas de espera em cada uma das situações. De forma a ser mais

percetível a diferença de tempo em fila de espera, encontram-se nas figuras 38 e 39, os tempos médios (horas) em fila de espera, dos *match* usados, para a situação inicial e para a proposta de melhoria, respetivamente.

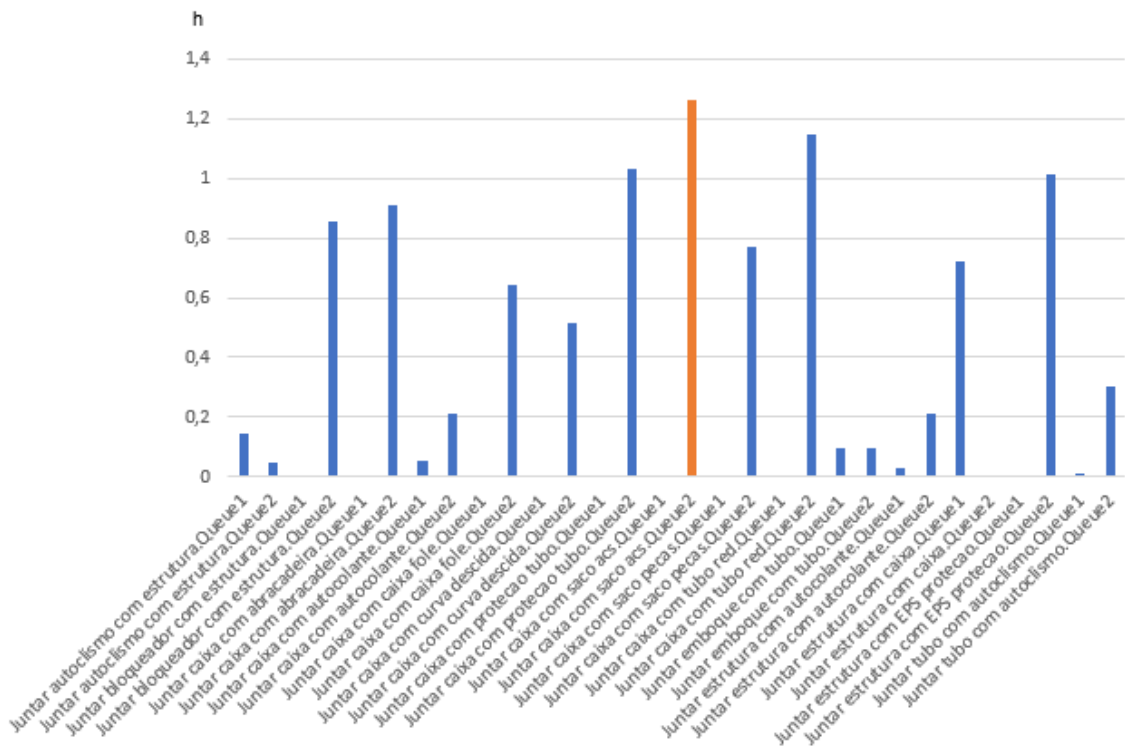


Figura 38- Gráfico do tempo médio em fila de espera (horas)- Situação inicial

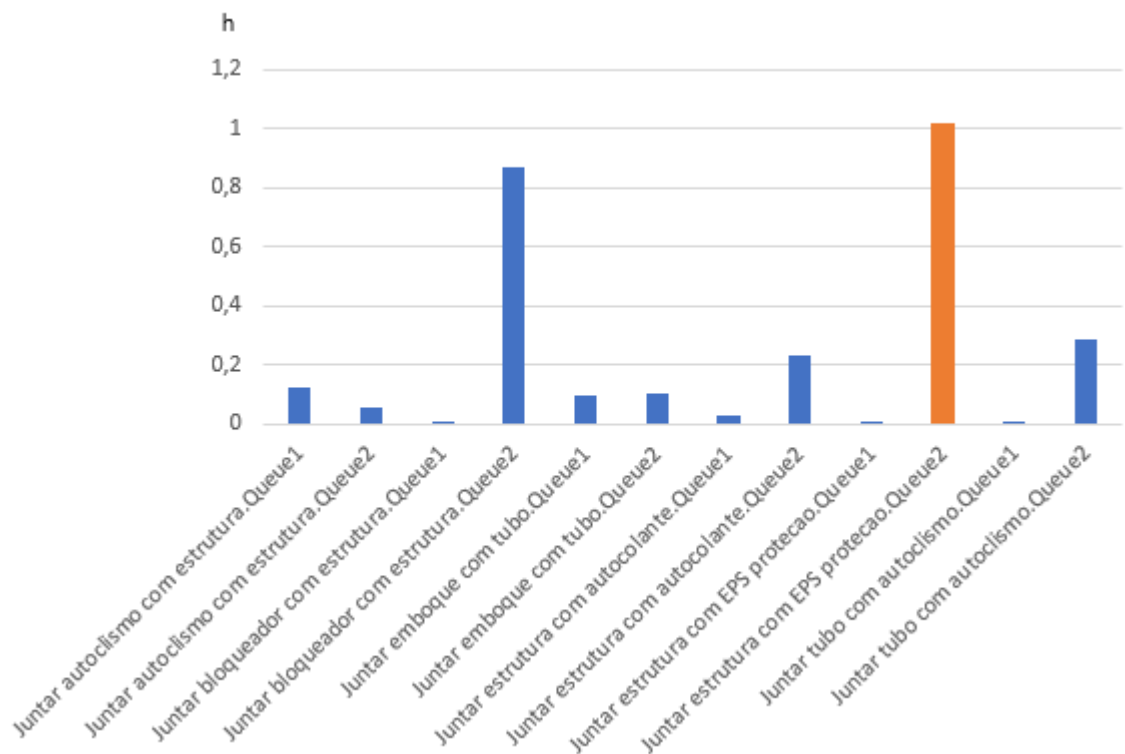


Figura 39- Gráfico do tempo médio em fila de espera (horas)- Proposta melhoria

Em relação à taxa de utilização dos recursos, apesar de se notar uma taxa ligeiramente superior para o posto 1, estão bastante equilibradas na situação inicial. Na proposta de melhoria, a taxa de utilização da paletizadora é inferior à do posto 1 (operador), o que faz sentido visto que foi pedido que se garantisse que a paletizadora estivesse preparada para embalar com o melhor tempo do posto 1, ou seja, o valor mínimo.

O estudo de simulação revelou assim a viabilidade da realização da melhoria tendo sido aprovado para implementação.



# Capítulo 5

---

## Conclusão e trabalhos futuros

---



## Conclusão e trabalhos futuros

Este último capítulo tem como objetivo reunir todas as conclusões e considerações finais que se podem retirar de todo o projeto. É também aqui que serão discutidas as limitações sentidas e as dificuldades, servindo estas como ponto de partida para a apresentação das propostas de estudos futuros.

### 5.1 Conclusão

A evolução que se tem sentido no mercado, com um consumidor cada vez mais exigente, tem levado a que se tente entregar sempre a melhor solução, levando à criação de inúmeras variações de um mesmo produto. As linhas de montagem de estruturas analisadas têm experienciado essa forte industrialização dos seus produtos, e são os produtos que têm sofrido maior crescimento na empresa e com representatividade significativa no que diz respeito a lucro. Apesar disso, numa situação de arranque do projeto, foi possível diagnosticar dificuldade no cumprimento dos tempos estabelecidos, más condições ergonómicas e falta de capacidade, conducentes a falhas nos prazos de entrega.

De forma a tentar melhorar o desempenho operacional destas linhas, estabeleceu-se como objetivos a validação/afinação dos tempos de operação utilizando o MTM, uma análise ergonómica e um estudo de simulação de uma proposta de melhoria, para reduzir significativamente as condições menos favoráveis ergonomicamente e para aumentar a capacidade.

A afinação dos tempos utilizando o MTM foi realizada por dois métodos, o utilizado pela empresa, onde o posto 1 faz toda a montagem e o posto 2 faz todo o embalamento, e posteriormente através de um procedimento criado para afetação das tarefas por posto (balanceamento), criando um equilíbrio. O procedimento demonstrou ser mais eficiente em relação ao método utilizado pela empresa, nos KPIs analisados, ou seja, a nível de diferença de *routings* (unidades produzidas por hora), a nível da diferença da folga entre os postos (em segundos) e diferença de inatividade (em percentagem).

Na análise ergonómica verificou-se o expectável, que dentro dos nove tópicos a que se fez *check-up* às linhas, a ergonomia era o que se encontrava pior e o que tinha maior representatividade negativa num balanço geral das linhas.

Por último, no estudo de simulação, comprovou-se a viabilidade da automatização das linhas, trocando o posto 2 por uma paletizadora. Esta melhoria irá assim reduzir a maioria das condições pouco favoráveis a nível ergonómico (pois estas concentravam-se essencialmente no posto 2). O tópico da ergonomia na ferramenta ErgoSafeCI passa assim de uma pontuação de aproximadamente 30%, para 65%. Para além disto, a automatização trará também mais capacidade, prevendo-se um aumento de 390 caixas produzidas por turno de trabalho. Acima de tudo, e com a inclusão de um *software* de simulação no projeto, ficou provado para a organização que a simulação industrial é uma mais valia para apoio à tomada de decisão, visto na OLI não se recorrer habitualmente a esta ferramenta para tal.

Ao longo do projeto foram várias as dificuldades sentidas, mas há duas que merecem destaque. A primeira, logo numa fase inicial, está relacionada com o facto de haver muitas variações do mesmo produto, dando origem a muitos códigos diferentes, o que dificultou a fase de conhecimento do processo e dos produtos. A segunda prende-se com a resistência à mudança que se sente por parte dos colaboradores. É necessário envolver os trabalhadores tanto quanto possível ao longo de todo o processo, para que estes entendam o porquê e aceitem de bom grado as alterações, de forma a mantê-las.

Deixa-se ainda como consideração final que todo o projeto desenvolvido levou também à possibilidade da escrita de um artigo científico que documenta tudo o que foi realizado e os respetivos resultados. O artigo encontra-se no anexo 5.

## 5.2 Trabalhos futuros

Como referido no começo deste relatório, todo o projeto surgiu com a necessidade de aumento de capacidade e cumprimento dos prazos, que podemos rapidamente, numa primeira análise, associar a melhoria dos tempos. Para além de tudo o que foi estudado e implementado, com o decorrer do projeto, diagnosticou-se também o tempo excessivo nas mudanças de produção de ordem de fabrico. Posto isto, deixa-se como proposta para estudo futuro que se automatize a auditoria aos componentes do bordo de linha por parte dos colaboradores, com leitura por código de barras.

Para além disto, foi mencionado já anteriormente no relatório que para além das duas linhas de estruturas contempladas neste projeto, há ainda uma terceira (ES003) onde se montam produtos com especificações ainda mais particulares e diferentes entre si. Sugere-se desta forma que se estude a viabilidade da implementação da mesma melhoria também nesta linha.

Por último, e visto ter-se comprovado que a simulação industrial é uma excelente ferramenta para apoio à tomada de decisão, recomenda-se que se comece a utiliza-la mais regularmente e que se simulem assim propostas de melhoria que estão paradas, pela dificuldade de realização de testes na prática, noutras secções da fábrica.

## Referências

- Aksyonov, K., Bykov, E., & Aksyonova, O. (2015). Prospects for simulation in industrial engineering. In *Proceedings of the 34th Chinese Control Conference* (pp. 2146–2149). <https://doi.org/10.1109/ChiCC.2015.7259965>
- Alkan, B., Vera, D., Ahmad, M., Ahmad, B., & Harrison, R. (2016). A model for complexity assessment in manual assembly operations through predetermined motion time systems. *Procedia CIRP*, 429–434. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.111>
- Alves, A., Moreira, F., Sousa, R., & Lima, R. M. (2009). Projectos para a aprendizagem na engenharia e gestão industrial, 3360–3375.
- Assef, F., Scarpin, C. T., & Steiner, M. T. (2018). Confrontation between techniques of time measurement, 29, 789–810. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2017-0253>
- Bakhtiar, Erliana, C. I., & Dermawan, W. (2019). Work time measurement analysis with indirectly working measurement method on cement bagging station. *Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012141>
- Balci, O. (1990). Guidelines for successful simulation studies. In *Proceedings of the 1990 Winter Simulation Conference* (pp. 25–32).
- Banks, J. (1999). Introduction to simulation. In *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference* (pp. 7–13).
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). *Discrete-event system simulation*.
- Bellarbi, A., Jessel, J., & Dalto, L. Da. (2019). Towards method time measurement identification using virtual reality and gesture recognition. *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, 191–194. <https://doi.org/10.1109/AIVR46125.2019.00040>
- Biller, B., Biller, S. R., Dulgeroglu, O., & Corlu, C. G. (2017). The role of learning on industrial simulation design and analysis. In *Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference* (pp. 3287–3298).
- Brahmadeep, S. T. (2014). A simulation based comparison: Manual and automatic distribution setup in a textile yarn rewinding unit of a yarn dyeing factory. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 45, 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2014.04.002>
- Brito, M., Ramos, A., Carneiro, P., & Gonçalves, M. (2019), "A continuous improvement assessment tool, considering lean, safety and ergonomics", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2017-0144>
- Budiman, I., Sembiring, A. C., Tampubolon, J., Wahyuni, D., & Dharmala, A. (2019). Improving effectiveness and efficiency of assembly line with a stopwatch time study and balancing activity elements. *Journal of Physics*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1230/1/012041>
- Caughlin, D. (2000). An integrated approach to verification, validation, and accreditation of models and simulations. In *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference* (pp. 872–881).
- Christmansson, M., Falck, A., Amprazis, J., Forsman, M., Rasmusson, L., & Kadefors, R. (2010). Modified method time measurements for ergonomic planning of production systems in

- the manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, 4051–4059. <https://doi.org/10.1080/00207540050204911>
- Chung, C. A. (2004). *Simulation modeling handbook: A practical approach*.
- Cunha, O. M. C. (2012). *Implementação da metodologia 5S e análise de tempos e métodos numa linha de montagem de carroçarias*.
- Deutsche MTM – Vereinigung e.V. (2005). MTM – Método Básico.
- Dias, L. M. S., Vieira, A. A. C., Pereira, G. A. B., & Oliveira, J. A. (2016). Discrete simulation software ranking – A top list of the worldwide most popular and used tools. In *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*.
- Dode, P. P., Greig, M., Zolfaghari, S., & Neumann, W. P. (2016). Integrating human factors into discrete event simulation: A proactive approach to simultaneously design for system performance and employees' well being. *International Journal of Production Research*, 3105–3117. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1166287>
- Gaspar, V. L. M. (2016). *Análise de tempos e métodos numa linha de produção de autocarros*.
- Guizzi, G., Falcone, D., & Felice, F. De. (2019). An integrated and parametric simulation model to improve production and maintenance processes : Towards a digital factory performance. *Computers & Industrial Engineering*, 137.
- Hammann, J. E., & Markovitch, N. A. (1995). Introduction to Arena. In *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference* (pp. 519–523).
- Harari, Y., Riemer, R., & Bechar, A. (2018). Factors determining workers' pace while conducting continuous sequential lifting, carrying, and lowering tasks. *Applied Ergonomics*, 67, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.09.003>
- IEA. (2020). Definition and domains of ergonomics. <http://www.iea.cc/whats/index.html>
- Jiang, H., Simonovic, S. P., Yu, Z., & Wang, W. (2020). A system dynamics simulation approach for environmentally friendly operation of a reservoir system. *Journal of Hydrology*, 587. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124971>
- Jiang, Y., Chen, H., Yan, H., & Sun, Y. (2019). An three-dimensional simulation method in industry, 929–934.
- Kadir, B. A., Broberg, O., & Souza, C. (2019). Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106004>
- Kelton, W. D., P.Sadowski, R., & Sadowski, D. A. (1998). *Simulation with Arena*.
- Lahti, I., Luimula, M., Rosin, T., Qvist, P., Vourela, V., & Smed, J. (2020). IndustrySim: Finding the fun in industrial simulations. <https://doi.org/10.1109/VS-Games.2014.7012162>
- Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling & analysis*.
- Law, A. M., & McComas, M. G. (1990). Secrets of successful simulation studies. In *Proceedings of the 1991 Winter Simulation Conference* (pp. 21–27).
- Lida, I. (2005). *Ergonomia Projeto e Produção*. 2.ª ed. São Paulo: Edgard Blücher.
- Macal, C. M., & North, M. J. (2010). Tutorial on agent-based modelling and simulation. *Journal of Simulation*, 4, 151–162. <https://doi.org/10.1057/jos.2010.3>

- Machado, R. H. C., Helleno, A. L., Oliveira, M. C. de, Santos, M. S. C. dos, & Dias, R. M. da C. (2019). Analysis of the influence of standard time variability on the reliability of the simulation of assembly operations in manufacturing systems, 627–641. <https://doi.org/10.1177/0018720819829596>
- Mahmood, S., Hardan, M. N., Samal, M. K., Jiran, N. S., & Shaari, M. F. (2019). Ergonomic posture assessment of butchers: A small enterprise study in malaysia food industry. *Jurnal Teknologi*, 6, 89–102. <https://doi.org/10.11113/jt.v81.13615>
- Maynard, H.B. (1970). Manual de Engenharia de Produção.
- Morlock, F., Kreggenfeld, N., Louw, L., Kreimeier, D., & Kuhlenkotter, B. (2017). Teaching methods-time measurement (MTM) for workplace desing in learning factories. *Procedia Manufacturing*, 9, 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.033>
- O'Brien, R. (2001). Um exame da abordagem metodológica da pesquisa ação.
- Paris, J. N., Archut, J., Hüsing, M., & Corves, B. (2020). Haptic simulation and synthesis of mechanisms. *Mechanism and Machine Theory*, 144.
- Pheasant, S. (2014). Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work.
- Roberto, M., Araújo, A., Varela, M. L., Machado, J., & Mendonça, J. P. (2017). Methods time measurement on the optimization of a productive process: A case study. In *Proceedings of the 2017 4th International Conference on Control* (pp. 980–985).
- Robinson, S. (2013). Conceptual modeling for simulation. In *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference* (pp. 377–388).
- Roldão, V. S., & Ribeiro, J. S. (2014). Gestão das Operações – Uma Abordagem Integrada.
- Sargent, R. G. (2013). An introduction to verification and validation of simulation models. In *Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference* (pp. 321–327). <https://doi.org/10.1109/WSC.2013.6721430>
- Sargent, R. G. (2016). Verification and validation of simulation models. In *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference* (pp. 183–198). <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679166>
- Schachter, H. L. (2015). The role played by Frederick Taylor in the rise of the academic management fields, 437–448. <https://doi.org/10.1108/17511341011073924>
- Seleim, A., Azab, A., & Algeddawy, T. (2012). Simulation methods for changeable manufacturing. *Procedia CIRP*, 3, 179–184. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2012.07.032>
- Shannon, R. E. (1998). Introduction to the art and science of simulation. In *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference* (pp. 7–14).
- Skoogh, A., Perera, T., & Johansson, B. (2012). Input data management in simulation- Industrial practices and future trends. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 29, 181–192. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2012.07.009>
- Sopha, B. M., & Ma, S. (2020). System dynamics simulation of private and public transportation in a developing country. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 050009)
- Stevenson, W. J. (2012). Operations management. McGraw-Hill/Irwin.
- Tavakoli, S., Mousavi, A., & Komashie, A. (2008). A generic framework for real-time discrete event simulation (DES) modelling. In *Proceedings of the 2008 Winter Simulation*

*Conference* (pp. 1931–1938).

Teiwes, J., Bänziger, T., Kunz, A., & Wegener, K. (2016). Identifying the potential of human-robot collaboration in automotive assembly lines using a standardised work description. <https://doi.org/10.1109/IConAC.2016.7604898>

Wang, T., Besombes, B., & Guinet, A. (2014). Modeling and simulation of emergency services with ARIS and Arena- Case study: The emergency department of Saint Joseph and Saint Luc hospital. *Production Planning & Control*. <https://doi.org/10.1080/09537280902938605>

Waterson, P. (2020). Causation, levels of analysis and explanation in systems ergonomics– A closer look at the UK NHS morecambe bay investigation. *Applied Ergonomics*, *84*. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.103011>

White, K. P., & Ingalls, R. G. (2014). Introduction to simulation. In *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference* (pp. 12–23). <https://doi.org/10.1109/WSC.2009.5429315>

Wu, S., Wang, Y., BolaBola, J. Z., Qin, H., Ding, W., Wen, W., & Niu, J. (2016). Incorporating motion analysis technology into modular arrangement of predetermined time standard (MODAPTS). *International Journal of Industrial Ergonomics*, *53*, 291–298. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.03.001>

Yung, M., Kolus, A., Wells, R., & Neumann, W. P. (2020). Examining the fatigue-quality relationship in manufacturing. *Applied Ergonomics*, *82*. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102919>

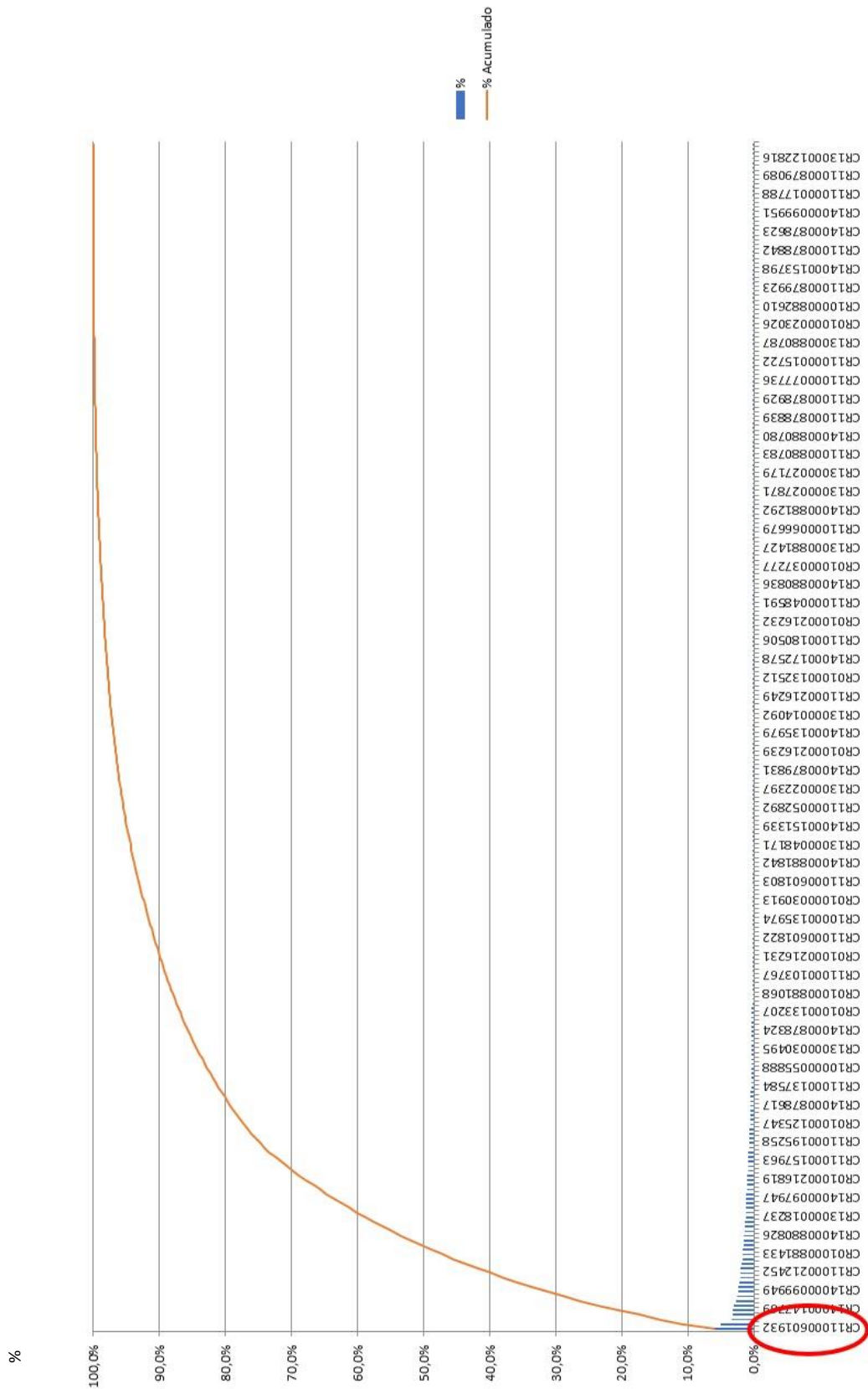
<https://www.arenasimulation.com/>

<https://www.oli-world.com/pt/empresa/a-oli-/>

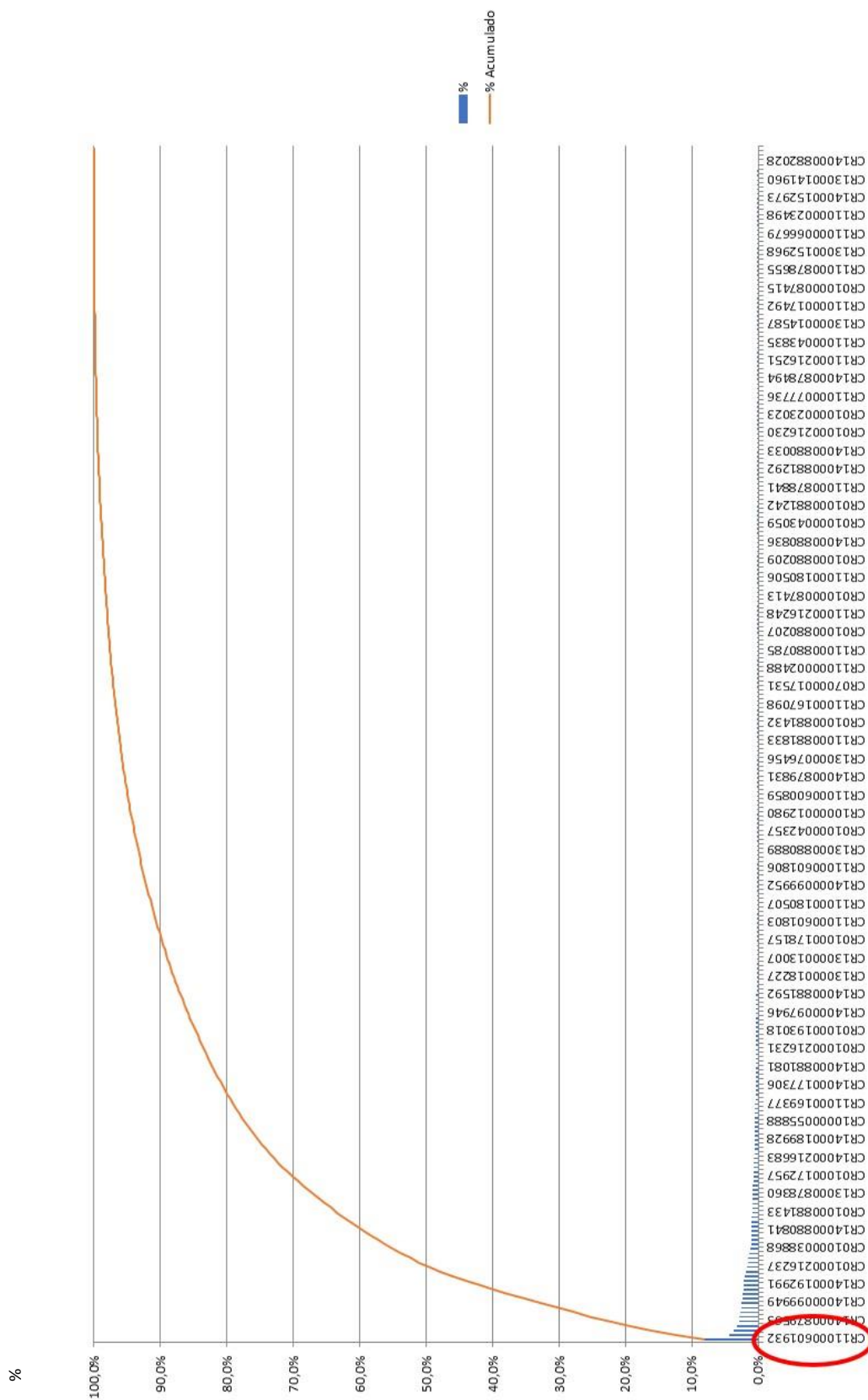


# Anexos

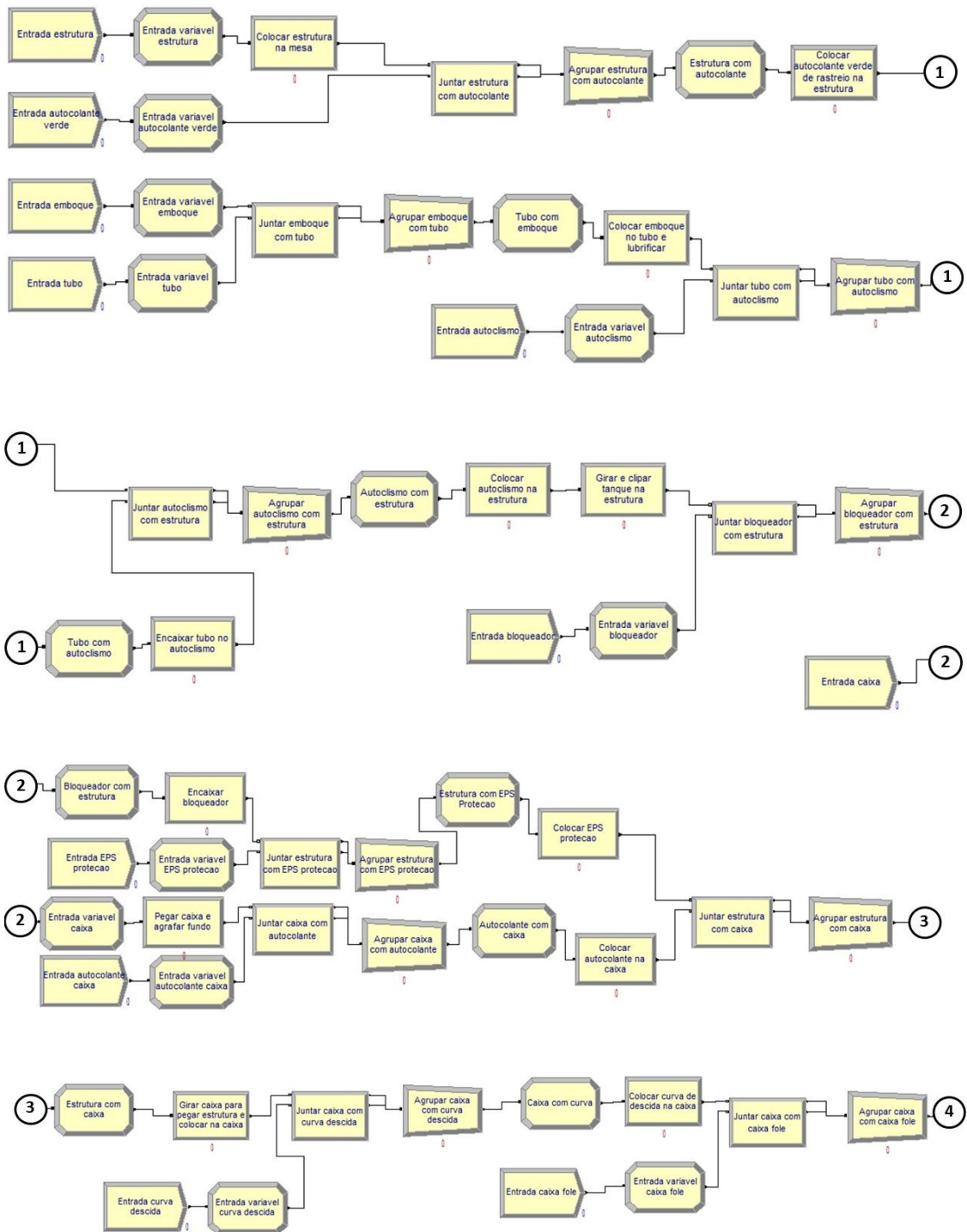
## Anexo 1- Análise ABC por quantidade relativo ao ano de 2019

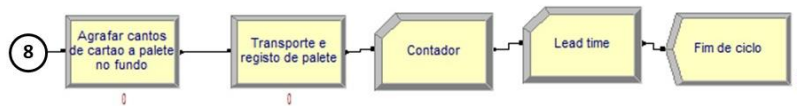
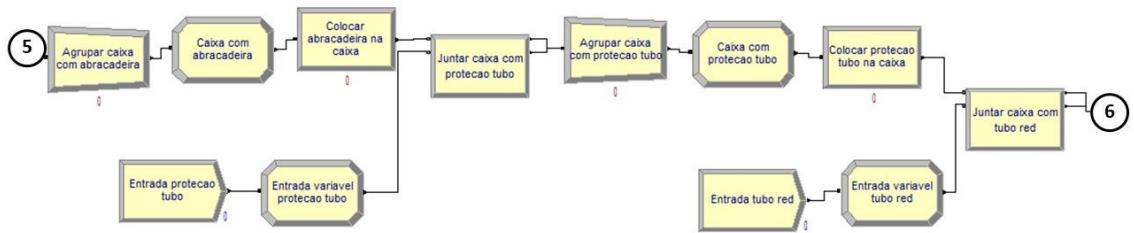
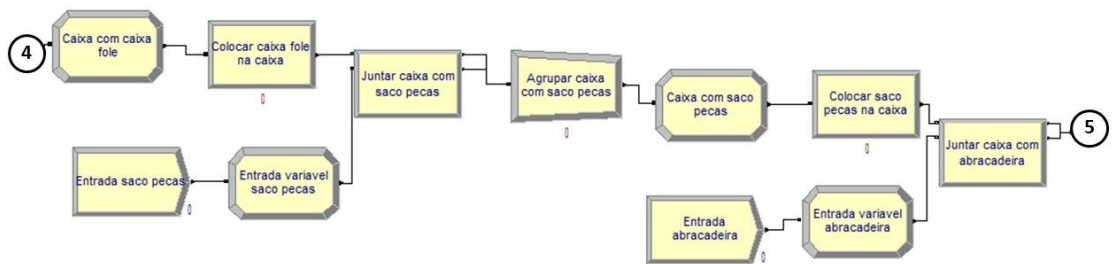


## Anexo 2- Análise ABC por valor relativo ao ano de 2019

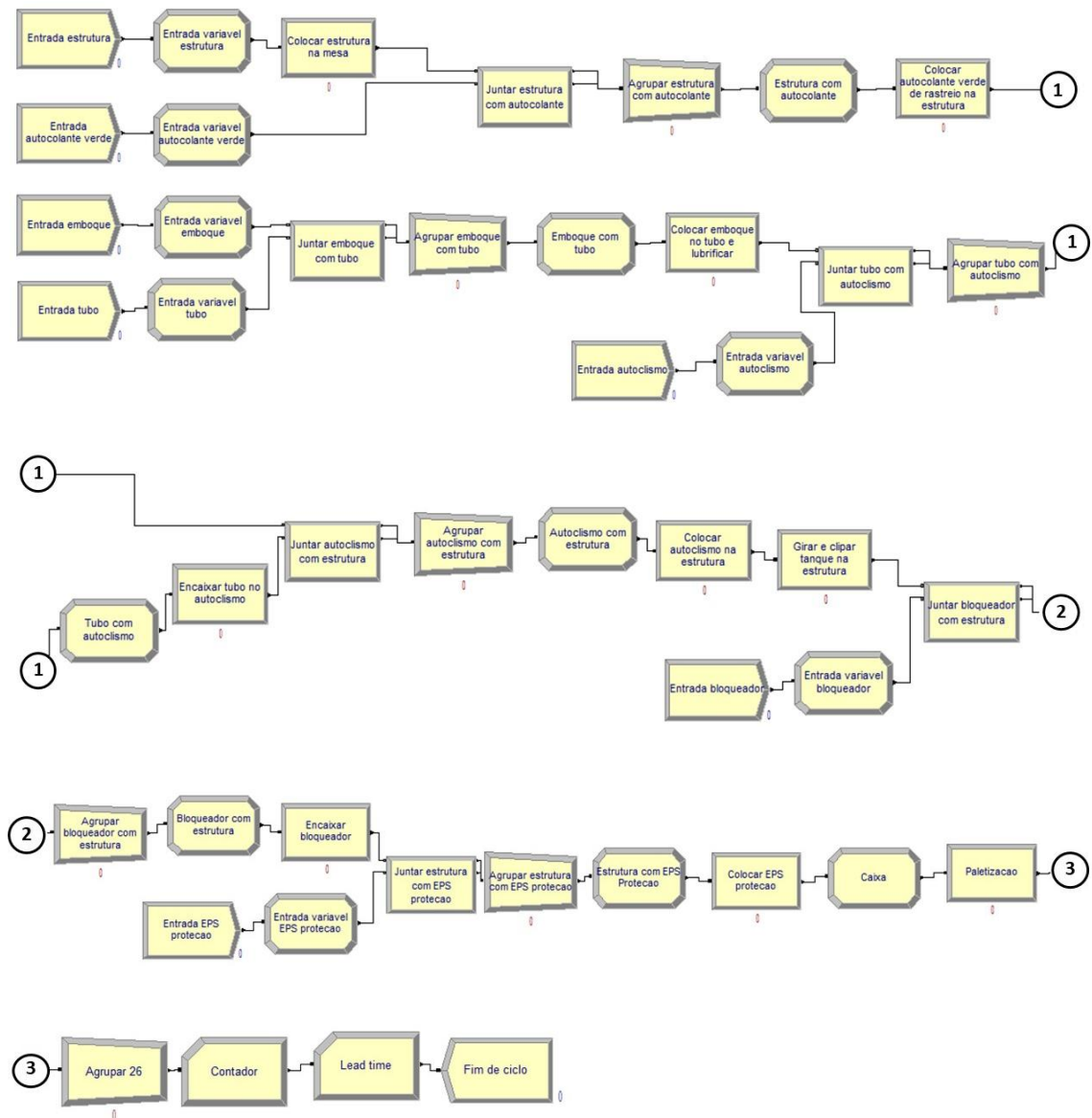


### Anexo 3- Esquema no Arena da situação inicial





## Anexo 4- Esquema no Arena da proposta de melhoria





# Improving the operational performance of flushing assembly lines considering ergonomic conditions

Ana Silva<sup>1</sup>, Ana Ramos<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>University of Aveiro,  
Campus Universitário de Santiago, Aveiro, 3810-193, PORTUGAL

<sup>2</sup>University of Aveiro,  
Campus Universitário de Santiago, Aveiro, 3810-193, PORTUGAL

\*Corresponding Author

DOI: <https://doi.org/10.30880/ijie.0000.00.00.000>

Received 00 Month 2000; Accepted 01 Month 2000; Available online 02 Month 2000

**Abstract:** Industry 4.0 is linked to cyber physical systems, and in the context of operations management, they are being used to represent the shop floor (simulation). Furthermore, organizations want to hold costumers' satisfaction which generates an increase of demand, and companies should be prepared and have capacity to respond. All of these also remit to a good definition of the process, trying constantly to improve it. Methods time measurement, ergonomics and simulation are real important topics that are analyzed in this case study in order to improve the operational performance. Therefore, this study aims to improve the operational performance of flushing assembly lines, using MTM and studying a proposal of improvement assisted by a simulation package-Arena. The numbers obtained in the methods time measurement are used in the simulation, and the simulation itself focus on the reduction of bad ergonomic conditions and increase of capacity in the lines. A procedure to affect the tasks between the workstations was created to obtain the operations time, and came out more efficient than the method previously used by the company, in the three KPIs analyzed: difference between routings (in units produced per hour), difference of inactivity time between workstations (in seconds) and difference between downtime (in %). Ergonomics, in comparison to the nine topics analyzed, in a general check-up done to the lines, was the one with a lower score. The simulation study of the proposal improvement revealed a reduction of a great part of the activities with ergonomic risk, leading to an increase of the score of this topic in the tool utilized, increasing from 30% to 65%. The automatization also revealed to the company that they would be better prepared to the growth of the products assembled in the lines analyzed, with an expectation of more 390 boxes produced per work shift.

**Keywords:** Industry 4.0, MTM, Ergonomics, Simulation

## 1. Introduction

Industry 4.0 will take into consideration greater demands on all members of the workforce such as problem-solving, abstraction and managing complexity [1]. The applications that are being developed through industry 4.0, that allows the interaction of agents, increases the complexity connected to automation [2]. Furthermore, [3] reports that great decisions are made by including industry 4.0 to represent the real system and [4] points out some cases where simulation are used, connected directly in real time to the shop floor and with the ERP system, to improve performance and effectiveness. The creation of these new digital technologies in manufacturing systems improve the gap between

physical and cyber computational space [1]. The authors add that human factors and ergonomics can benefit from this industry 4.0 and the design of human work. With the clear connection between industry 4.0, automation and process development, [5] refers the importance of MTM in those topics.

The methods time measurement (MTM) is here used to adjust and recalculate the operations time, trying to obtain the best result possible for the units that can be produced per hour. That's the first contribution of this paper, with a proposal approach where the MTM is used with a procedure that as been created to balance the activities between the workstations. Furthermore, the times are also used as basis for the subsequent simulation study, another approach that should be shared because of the utility that those two tools combined together have. There aren't a lot of authors doing that, however [6] in "Analysis of the Influence of Standard Time Variability on the Reliability of the Simulation of Assembly Operations in Manufacturing Systems" already purposed and used MTM as a source for standard values to a simulation study. MTM also brings knowledge about ergonomic aspects, so ergonomics is also analyzed and then, the simulation study aims to reduce activities of ergonomic risk. [1] reported that repetitive manual tasks are becoming automatized.

The paper aims to adjust and recalculate the operations time, as a basis to the simulation study, but also to show the need of balanced allocation of activities. After this, the simulation study pretends to make clear the viability of an improvement proposal, where a large amount of the bad ergonomic conditions is removed, and also where the capacity is increased, in order to improve the operational performance of the lines.

## **2. Theoretical Background**

### **2.1 Times and Methods Studies**

The pre-determined time systems are defined as methodologies to determine planned times of tasks totally influenced by the human element in a work system. To [7], they divide the operations in basic movements accomplished by human beings, and classified each one of them with the nature of the movement. The time necessary to each task is influenced by the performance of other tasks in the process [8]. Briefly, the work measure is a method of determining the balance between the human activities and the production units out [9]. [10] affirms that time and methods is considered as a work system adopted by companies, which leads to a reduction on the variability of the process, with the elimination of waste and the realization of actions that add value to the customer.

There are various systems of analysis MTM [11]. Some study basic processes, others study sequences of movements or even, the most specific one, basic movements. MTM is the abbreviation for "Methods Time Measurement". This designation indicates the time that is needed for a specific process depending on the method used. It is a system in which are structured the basic movements and to each one is attributed a normative value, that was predetermined and is tabulated. It is, in fact, a tool to predetermine the time for human tasks. The description of the work is associated to a specific code of MTM [12].

The basic movements in MTM are expressed in TMU and  $1 \text{ TMU} = 1 / 100\,000 \text{ hour} = 0,036 \text{ seconds}$ . The application of the method itself starts with the description and separation of the movements, maximum possible, between left and right hand. The operations have a time assigned that is widely influenced by the distance of the movement, the difficulty to perform the action and the struggle that the operators feel to execute it [11].

### **2.2 Ergonomics**

According to [13], Ergonomics is responsible for evaluate tasks, products and work systems in order to improve them for the employees. The increase of mass production is leading employees to be more exposed to posture problems, as musculoskeletal disorder- MSDs and cumulative trauma disorders- CTDs. The workers affected by these diseases should be treated on a preliminary phase because they can lead to critic health issues as movement inability [14]. It takes care of the impact that posture, movement and forces of actuation has on the human body, considering his abilities, competences and characteristics [15]. The prefixes macro, micro and meso are used in this context to macroergonomics, microergonomics and mesoergonomics respectively, as referred by [16]. The concept macroergonomics is used when the analysis is based more specifically in the organizational influence, micro to factors of individual influence (like cognitive issues) and meso to team processes.

Ergonomic factors can be analyzed in many ways. The authors in [17] created a tool to study the main topics that can influence the shop floor, including ergonomics. Each topic as a questionnaire where the user just needs to answer: yes, no or not applicable. After that, the tool returns a graphic with the final score attributed to each one of the nine topics analyzed. It also suggests some tools that can be utilized to improve the score in the topics with a lower punctuation.

## 2.3 Simulation

Through the years, long-term planning has been using simulation, design and monitoring of manufacturing systems [18]. Users can examine different situations without modify the simulation model, because the model creates several output reports automatically [19].

The simulation should start with a good problem formulation and data collection, or all the following process can be committed [20]. Furthermore, [21] points out that V&V (Verification & Validation), one of the most important parts in simulation, can be done along the construction of the model or at the end. Besides input data analysis, model building, interactive execution, execution tracing, model verification, and output analysis, it also allows the creation of an animation [22] which helps the managers and all the involved team, that in the large majority of the cases, don't have knowledge about the software.

Simulation is a tool that, in the industrial context, can help engineers make structured and substantiated decisions. It is a planning tool that can help in support decisions [22]. It can be done with programming language, simulation language or even choosing for a simulation package (the most used option). There are a lot of different packages that can be applied, like Arena, AutoMod, SIMIO, WITNESS, or ProModel [23].

For this particular case study, Arena was the utilized package. It is a generalized system that encompasses all the phases, from input data analysis to the output data monitoring, but it can be adapted simply to a specific application through a template [22].

## 3. Case Study

### 3.1 Contextualization and diagnosis

The case study was performed in a company of flush toilets. Inserted in the assembly part in the macroprocess, there are two lines with a great financial impact in the company. This is because of the huge demand that has been felt by the family of products assembled there, and the expectation of an even larger pursuit for those products in the next years. With that being said, it was diagnosed that there was no capacity for the expected demand, along with the struggle being felt by the employees to accomplish the operations time defined in the company system. Ergonomic factors are one of the biggest reasons for that failure.

### 3.2 Methodology

The methodology adopted for this case study was an action research strategy. This methodology is based on the learning by doing, in other words, with field study. In order to do so, there's the problem identification, possible corrective actions, analysis of results and following iterations, if necessary.

### 3.3 Implementation and analysis of results

The first step to improve the operational performance, and in order to fight the struggle that was being felt by the employees to accomplish the operations time defined, was a revision and recalculation of all the operations time. Each line relies on the work of two employees and usually one of them does all the assembly and the other one all the packaging, regardless of the time. The company calculates the operations time using MTM, distributing the tasks as said previously. In this study two forms were carried out in order to obtain the numbers. The first one, as the company usually does, and the second one, with tasks affectation in the two workstations, considering the time necessary to do each activity, in order to balance it. Each activity was calculated using MTM. The following table shows, as an example, the calculation for one activity.



**Table 1 – Calculation of one activity using MTM**

Left		Place structure in the assembly table						Right	
Nº	Description	Nº	Frq.	Code	TMU	Code	Nº	Frq.	Description
1	Twist body			tbc1	18,6				
2	Walk from the assembly zone to the flushings pallet	2	w-p		30				
3	Reach clamp	4	r40a		45,2				
4	Grab gramp	4	g1a		8				
5	Move to the side	4	m40b		62,4				
6	Release	4	rl1		8				
7	Reach structure			r40d	16,8				Reach structure
8	Grab structure			g1a	2				Grab structure
9	Structure weight contabilization			sc4	2,8				Structure weight contabilization
10	Move structure to comfort position			m50b4	19,26				Move structure to comfort position
11	Twist body			tbc1	18,6				
12	Walk from the flushings pallet to the assembly zone	2	w-p		30				
13	Move structure to the assembly table			m40c4	19,795				Move structure to the assembly table
14	Place structure in the table			p1nsd	16				Place structure in the table
15	Release			rl1	2				Release

After that, the time to each activity was associated to the respective component of the products, in order to obtain individualized values. The next tables show the final values of the routings (units/hour), to some products as an example, for the first and second method used, respectively.

**Table 2 – Final routings using the company’s division of work**

Product	Workstation 1 (un/h)	Workstation 2 (un/h)	Final routing (un/h)
A	39	43	39
B	120	48	48
C	120	48	48
D	120	48	48
E	120	48	48
F	37	43	37
G	37	43	37
H	37	40	37
I	45	48	45
J	41	43	41

**Table 3 – Final routings using a balanced division of work**

Product	Final time	Nr of workstations	Time per workstation	Final routing (un/h)
A	150,8	2	75,4	39
B	90,1	2	45,0	60
C	90,1	2	45,0	60
D	90,1	2	45,0	60
E	90,1	2	45,0	60
F	155,3	2	77,6	39
G	155,3	2	77,6	39
H	160,8	2	80,4	38
I	134,2	2	67,1	45
J	146,3	2	73,2	41

The second method turns out to be approved because of the upcoming graphics, with the three KPIs analyzed: comparison of the units produced per hour, seconds of inactivity and percentage of downtime, respectively.

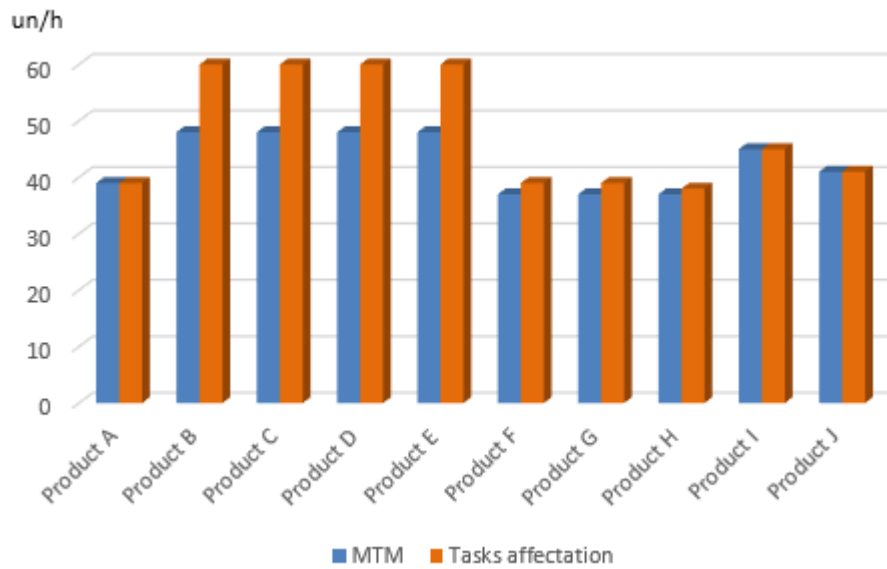


Fig. 1 – Difference between the two methods- routings (un/h)

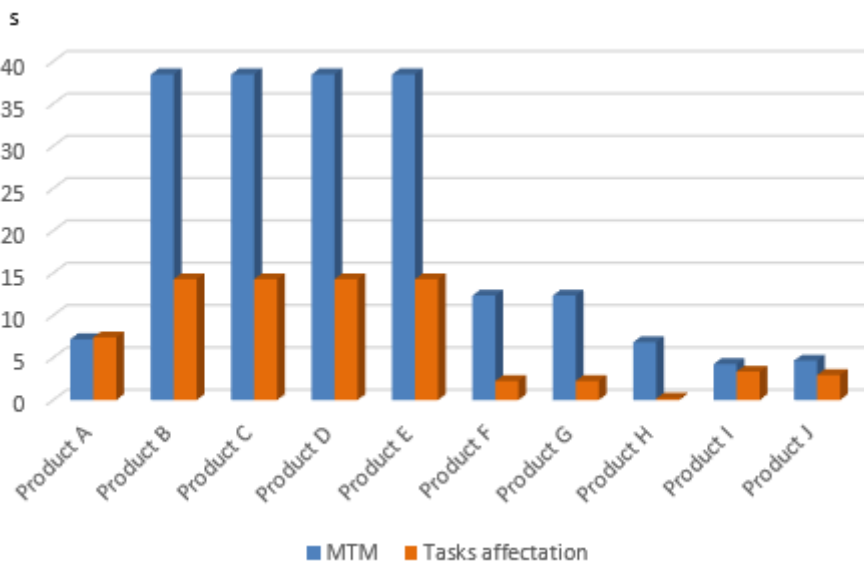
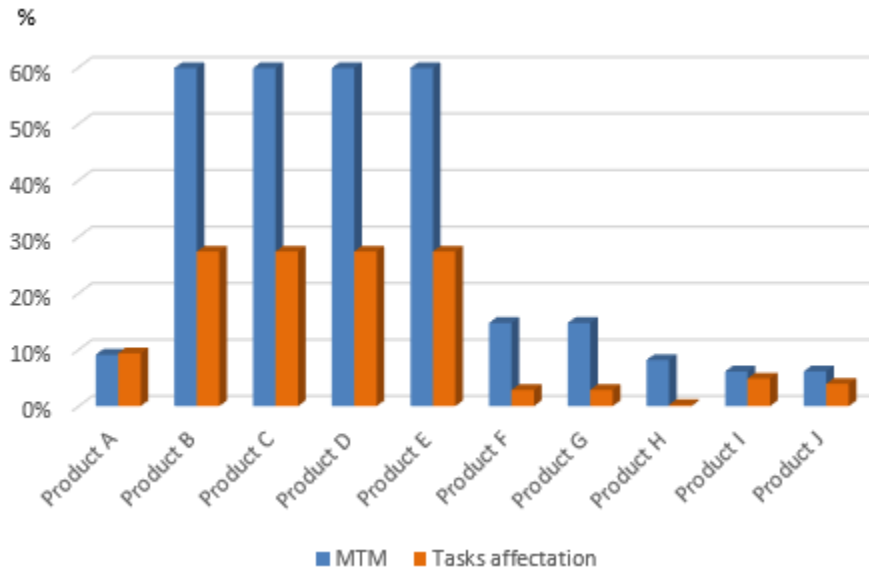
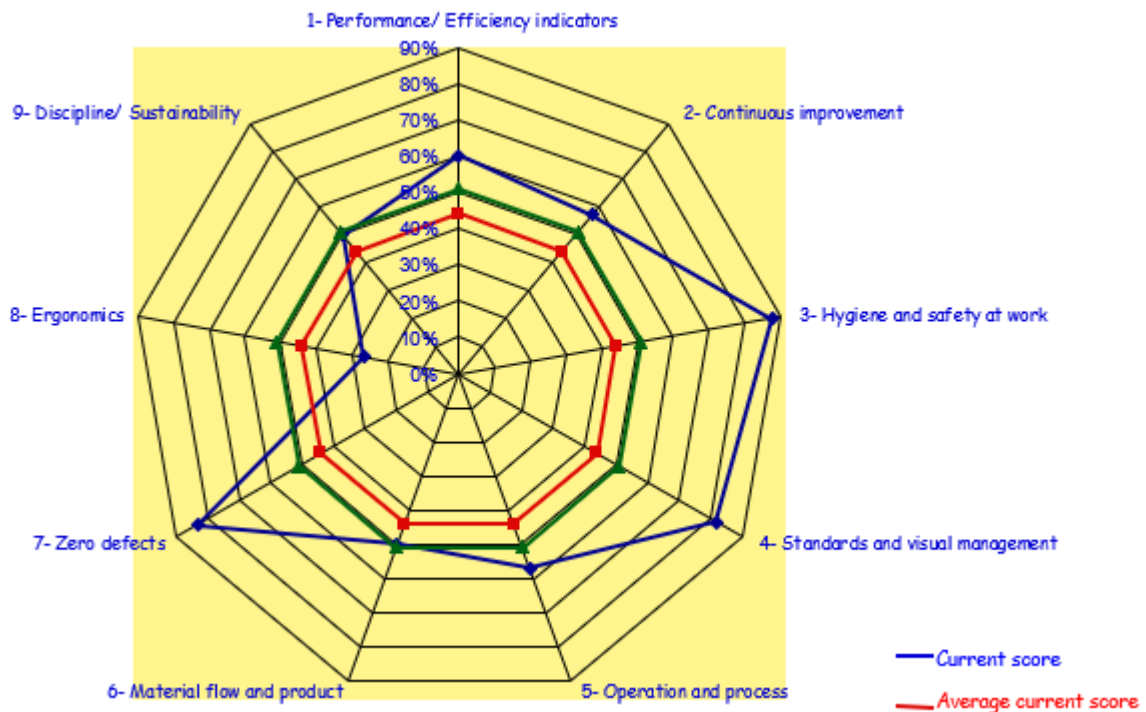


Fig. 2 – Difference between the two methods- inactivity time (s)



**Fig. 3 – Difference between the two methods- downtime (%)**

In the diagnosis was also identified a lack of good ergonomic conditions. In order to try to understand how much it was influencing the performance of the lines, a check-up, including several topics, was carried out. The check-up was done using the tool created by the authors in [5]. The result is represented in the following graphic.



**Fig. 4 – Check-up and related evaluation of some topics in the lines (before)**

The utilization of the tool clarified how much the ergonomic factors needed to be improved. Additionally, with the questions raised, it came evident that a big part of the bad ergonomic conditions were concentrated in one of the operators, the workstation 2, that usually takes care of the packaging.

With this being said, and after proved how much the ergonomic factors were influencing negatively the performance of the lines, a simulation study was accomplished, using the Arena simulator software, to study the reliability of a proposed improvement, in order to reduce a big part of the bad ergonomic conditions and to increase capacity. The proposed improvement is based on a change of the second workstation by a palletizer. With the improvement, it is expected to eliminate the following bad ergonomic conditions:

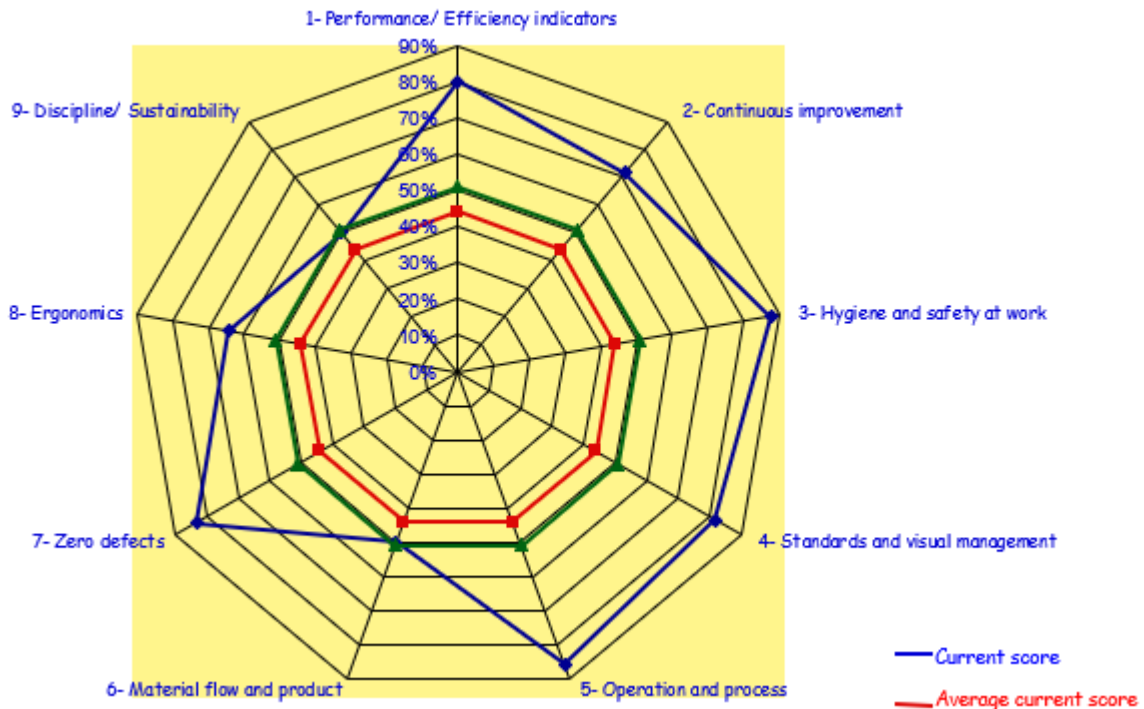
- Lack of rotativity considering muscle groups;
- The need to raise and transport weights higher than 10Kg;
- Work plan too high or too low for the operator;
- The need for the operator to assume, in some cases, an unnatural position;
- The need for the operator to raise de arms and twist the trunk and neck;
- The need for the operator to rotate the handle.

The simulation was performed for eight hours, that is equivalent to a work shift, and two hundred and forty times, that is to say, a year of working days in average. The next table shows the final results of the simulation, for the three parameters in analysis, number out, lead time and utilization rate.

**Table 4 – Results of the simulation**

	Initial situation	Proposed improvement
<b>Nr out (pallets/day)</b>	10,4333 +/- 0,13	25,9333 +/- 0,09
<b>Lead time (hours)</b>	4,1331 +/- 0,03	4,0801 +/- 0,01
<b>Utilization rate</b>	Workstation 1	0,9967 +/- 0,00
	Workstation 2/ Palletizer	0,9945 +/- 0,00

The results showed a really good increase on the capacity of the lines, with more than the double of pallets that can be done by the end of a work shift. The ergonomic factors can also be improved with this automatization because the majority of the activities with bad ergonomic conditions were concentrated in the workstation 2, as said previously. That is visible in figure 5, in comparison with the previous situation, in figure 4.



**Fig. 5 – Check-up and related evaluation of some topics in the lines (after)**

The proposed improvement can make the score of ergonomics, in the tool utilized, increase from around 30% to 65%.

#### 4. Final Remarks

At the end, the conditions given to the employees are always the first step that should be analyzed when it is clear the struggle that they feel to fulfill the operations times. Along with a direct analysis that can be done in ergonomics, MTM also came out as an excellent tool to analyze possible non good ergonomic activities, with the analyzation of distances and some movements.

The simulation proved the reliability of the proposed improvement, with more 390 boxes, in average, that can be produced per shift, because each pallet is constituted by twenty-six boxes.

The results that were obtained using MTM are higher, approximately fifteen pallets per day in the initial situation and twenty seven for the proposed improvement, but the difference can be justified by the variability that was introduced in the simulation study, with standard deviations that were calculated through time measurements in the shop floor.

With this being said, the simulation was proved to the company as a great tool for decision making, so it would be interesting in the future to use simulation for other problem-solving in the company or even to create a real time simulation of all the shop floor, in order to make some decisions even faster.

#### References

- [1] Kadir, B. A., Broberg, O., & Souza, C. (2019). Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in Industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106004>
- [2] Fantini, P., Pinzone, M., & Taisch, M. (2018). Placing the operator at the centre of Industry 4.0 design: Modelling and assessing human activities within cyber-physical systems. *Computers & Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.01.025>
- [3] Havard, V., Jeanne, B., Lacomblez, M., & Baudry, D. (2019). Digital twin and virtual reality: A co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations. *Production & Manufacturing Research*, 3277, 472–489. <https://doi.org/10.1080/21693277.2019.1660283>
- [4] Guizzi, G., Falcone, D., & Felice, F. De. (2019). An integrated and parametric simulation model to improve production and maintenance processes: Towards a digital factory performance. *Computers & Industrial Engineering*, 137.
- [5] Morlock, F., Kreggenfeld, N., Louw, L., Kreimeier, D., & Kuhlenkotter, B. (2017). Teaching methods-time measurement (MTM) for workplace desing in learning factories. *Procedia Manufacturing*, 9, 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.033>
- [6] Machado, R. H. C., Helleno, A. L., Oliveira, M. C. de, Santos, M. S. C. dos, & Dias, R. M. da C. (2019). Analysis of the influence of standard time variability on the reliability of the simulation of assembly operations in manufacturing systems, 627–641. <https://doi.org/10.1177/0018720819829596>
- [7] Alkan, B., Vera, D., Ahmad, M., Ahmad, B., & Harrison, R. (2016). A model for complexity assessment in manual assembly operations through predetermined motion time systems. *Procedia CIRP*, 429–434. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.111>
- [8] Harari, Y., Riemer, R., & Bechar, A. (2018). Factors determining workers' pace while conducting continuous sequential lifting, carrying, and lowering tasks. *Applied Ergonomics*, 67, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.09.003>
- [9] Bakhtiar, Erliana, C. I., & Dermawan, W. (2019). Work time measurement analysis with indirectly working measurement method on cement bagging station. *Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/505/1/012141>
- [10] Roberto, M., Araújo, A., Varela, M. L., Machado, J., & Mendonça, J. P. (2017). Methods time measurement on the optimization of a productive process: A case study. In *Proceedings of the 2017 4th International Conference on Control* (pp. 980–985).
- [11] Bellarbi, A., Jessel, J., & Dalto, L. Da. (2019). Towards method time measurement identification using virtual reality and gesture recognition. *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, 191–1913. <https://doi.org/10.1109/AIVR46125.2019.00040>
- [12] Teiwes, J., Bänziger, T., Kunz, A., & Wegener, K. (2016). Identifying the potential of human-robot collaboration in automotive assembly lines using a standardised work description. <https://doi.org/10.1109/ICoAC.2016.7604898>
- [13] IEA. (2020). Definition and domains of ergonomics. <http://www.iea.cc/whats/index.html>
- [14] Mahmood, S., Hardan, M. N., Samal, M. K., Jiran, N. S., & Shaari, M. F. (2019). Ergonomic posture assessment of butchers: A small enterprise study in malaysia food industry. *Jurnal Teknologi*, 6, 89–102. <https://doi.org/10.11113/jt.v8i1.13615>
- [15] Paris, J. N., Archut, J., Hüsing, M., & Corves, B. (2020). Haptic simulation and synthesis of mechanisms. *Mechanism and Machine Theory*, 144.

- [16] Waterson, P. (2020). Causation, levels of analysis and explanation in systems ergonomics– A closer look at the UK NHS morecambe bay investigation. *Applied Ergonomics*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.103011>
- [17] Brito, M., Ramos, A., Carneiro, P., & Gonçalves, M. (2019), "A continuous improvement assessment tool, considering lean, safety and ergonomics", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2017-0144>
- [18] Tavakoli, S., Mousavi, A., & Komashie, A. (2008). A generic framework for real-time discrete event simulation (DES) modelling. In *Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference* (pp. 1931–1938).
- [19] Brahmadeep, S. T. (2014). A simulation based comparison: Manual and automatic distribution setup in a textile yarn rewinding unit of a yarn dyeing factory. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 45, 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2014.04.002>
- [20] Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling & analysis*.
- [21] Sargent, R. G. (2016). Verification and validation of simulation models. In *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference* (pp. 183–198). <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679166>
- [22] Hammann, J. E., & Markovitch, N. A. (1995). Introduction to Arena. In *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*.
- [23] Dias, L. M. S., Vieira, A. A. C., Pereira, G. A. B., & Oliveira, J. A. (2016). Discrete simulation software ranking – A top list of the worldwide most popular and used tools. In *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*.