



# Desenvolvimento de uma Metodologia para Adequar a Capacidade a Procura do Mercado

EDUARDO GONÇALO CASANOVA PEREIRA

outubro de 2024

**Desenvolvimento de uma Metodologia para  
Adequar a Capacidade a Procura do Mercado**

**Eduardo Gonçalo Casanova Pereira**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Mecânica, Área de Especialização em  
Gestão Industrial**

**Orientador: André Serra e Santos**

**Júri:**

Presidente:

António Manuel Pereira Da Silva Amaral, Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia de Porto

Vogais:

André Borges Guimarães Serra e Santos, Professor Adjunto Convidado, Instituto Superior de Engenharia de Porto

Isabel Alexandra Costa Pinho Do Espírito Santo, Professora Auxiliar, Universidade do Minho



## Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todos os meus familiares e amigos que, ao longo desta jornada de mestrado, me proporcionaram um apoio incondicional, carinho e motivação para que eu pudesse superar os desafios e atingir o meu melhor. A cada palavra de incentivo, a cada gesto de apoio e a cada momento de compreensão, vocês foram fundamentais para que eu seguisse em frente com determinação e confiança. Sem vocês, essa caminhada teria sido muito mais difícil, e é com imenso carinho que dedico esta conquista a todos vocês.

Em segundo lugar, gostaria de agradecer calorosamente a toda a equipa da WegEuro, que me acolheu de braços abertos e me proporcionou um ambiente rico em aprendizagem e crescimento profissional. Em especial, expresso a minha gratidão à equipa de métodos e tempos do departamento de engenharia e gestão industrial, cujos membros, com paciência e generosidade, compartilharam seus conhecimentos e experiências, contribuindo significativamente para o desenvolvimento das competências que me permitiram concluir este trabalho com sucesso. O apoio e a colaboração de cada um de vocês foram inestimáveis, e espero poder levar adiante tudo o que aprendi durante essa valiosa experiência.

Por fim, não poderia deixar de expressar meu sincero agradecimento a todo o corpo docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), cujos ensinamentos e orientação ao longo do curso foram essenciais para a minha formação académica e profissional. Em particular, agradeço profundamente ao professor André Serra e Santos, por sua incansável dedicação, paciência e apoio incondicional no desenvolvimento desta dissertação.

Este trabalho é o resultado de uma jornada coletiva, e a todos vocês, que de alguma forma contribuíram para que este sonho se tornasse realidade, o meu mais sincero muito obrigado.



## Resumo

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver uma metodologia que permita adequar a capacidade de produção à procura do mercado na fábrica de motores elétricos da WEGeuro. Para isso, foi criada uma ferramenta capaz de calcular com precisão os tempos de produção dos componentes críticos, utilizando parâmetros específicos de máquinas CNC (*Computer Numeric Control*), e outra ferramenta destinada ao controle de carga de trabalho da empresa. Inicialmente, foi realizada uma análise detalhada do processo produtivo, identificando os componentes que mais influenciam o tempo de maquinagem, como as carcaças e caixas de ligação. A partir dessa análise, foi desenvolvido um software em Excel VBA para calcular os tempos de operação de acordo com as características dos componentes, proporcionando uma estimativa mais confiável e precisa dos tempos de produção. Além disso, uma ferramenta em Power BI foi implementada para visualizar e gerenciar a carga de trabalho em tempo real, otimizando a alocação de recursos e melhorando a eficiência operacional. A demonstração dos resultados indicou que as ferramentas desenvolvidas contribuíram significativamente para a redução de custos e aumento da produtividade, uma vez que permitiram uma melhor gestão dos recursos e a eliminação de etapas improdutivas no processo de fabricação. A conclusão reforça que a metodologia proposta conseguiu atingir os objetivos traçados, destacando a importância da integração entre o cálculo preciso dos tempos de produção e o controle de cargas para a melhoria contínua da eficiência industrial. As ferramentas desenvolvidas mostraram-se eficazes em adaptar a capacidade de produção às variações da demanda, proporcionando uma base sólida para futuras melhorias no planeamento e controlo da produção na fábrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Diagrama de Processo, Plano de Operações, Estudo de métodos e tempos, Controlo de cargas.



## **Abstract**

This dissertation aims to develop a methodology that enables the adjustment of production capacity to market demand at the WEGeuro electric motor factory. To achieve this, a tool was created to accurately calculate the production times of critical components using specific CNC machine parameters, along with another tool designed for workload management within the company. Initially, a detailed analysis of the production process was conducted, identifying the components that most significantly impact machining time, such as casings and junction boxes. Based on this analysis, an Excel VBA software was developed to calculate operation times according to the characteristics of the components, providing a more reliable and precise estimate of production times. Additionally, a tool in Power BI was implemented to visualize and manage the workload in real-time, optimizing resource allocation and improving operational efficiency. The demonstration of results indicated that the developed tools significantly contributed to cost reduction and productivity improvement, as they allowed for better resource management and the elimination of non-productive steps in the manufacturing process. The conclusion reinforces that the proposed methodology successfully achieved the outlined objectives, highlighting the importance of integrating precise production time calculations with workload management for the continuous improvement of industrial efficiency. The developed tools proved effective in adapting production capacity to demand variations, providing a solid foundation for future improvements in production planning and control at the factory.

**KEYWORDS:** Process Diagram, Operations Plan, Methods and Time Study, Workload Management.



# Índice

Lista de Figuras.....	xi
Lista de Tabelas.....	xii
Acrónimos e Siglas .....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento/Contextualização .....	1
1.2. Objetivos .....	1
1.3. Metodologia .....	2
1.4. Estrutura do relatório.....	2
2. Revisão Bibliográfica .....	5
2.1. Estudo do Trabalho .....	5
2.2. Estudo dos Métodos .....	6
2.2.1. Procedimento para a realização de um estudo de métodos.....	6
2.2.2. Diagrama de Operações/Processo.....	7
2.2.3. Mapa de Fluxo de Valores - Value Stream Map (VSM).....	9
2.3. Medição do Trabalho .....	10
2.3.1. Estudo do tempo.....	12
2.3.2. Determinação do número de observações do estudo .....	12
2.3.3. Determinação do Fator de ritmo (taxa desempenho) e tempo normal.....	13
2.3.4. Tempo Padrão.....	14
2.3.5. Padrões de tempo pré-determinados / Pre-determined-motion-time systems	15
2.4. Planeamento, Programação e Controlo da Produção (PPCP).....	17
2.4.1. Planeamento estratégico e Planeamento agregado (PAP).....	17
2.4.2. Plano Diretor de Produção (PDP) / <i>Master Production Scheduling</i> (MPS) .....	18
2.4.3. MRP e ERP.....	19
2.4.4. Rought-Cut Capacity Planning (RCCP).....	21
2.5. Pesquisa Bibliométrica .....	22
2.5.1. Análise de casos de estudo .....	25
2.5.2. Caminhos futuros.....	29
3. Desenvolvimento do Trabalho.....	31
3.1. Apresentação da Empresa.....	31
3.2. Metodologia de Desenvolvimento.....	32
3.3. Identificação dos componentes mais críticos .....	32
3.4. Diagrama de Processo dos Componentes.....	33
3.5. Ferramenta de cálculo de tempos .....	34
3.5.1. Estudo de métodos e Tempos .....	38
3.6. Ferramenta de Controlo de Cargas .....	43

4. Demonstração de Resultados .....	45
4.1. Melhorias Futuras .....	46
5. Conclusão .....	47
Referências.....	49
Declaração de Integridade .....	55
Anexo 1 .....	57
Anexo 2 .....	58
Anexo 3 .....	59
Anexo 4 .....	60
Anexo 5 .....	61
Anexo 6 .....	62
Anexo 7 .....	64

## Lista de Figuras

Figura 1 - Diagrama do Estudo do Trabalho, adaptado de [7].	5
Figura 2 - Ferramentas de Apoio ao estudo de métodos [6].	7
Figura 3 - Diagrama de operação [11].	8
Figura 4 - Etapas da elaboração de um Value Stream Map, adaptado de [18].	9
Figura 5 - Exemplo de um Value Stream Map [17].	10
Figura 6 - Diagrama de conceitos da Medição do Trabalho [21].	11
Figura 7 - Cinco movimentos comuns MTM [34].	16
Figura 8 - Evolução do Planeamento e controlo da produção [50].	19
Figura 9 -Visão Geral ERP-4 [57].	20
Figura 10 - Sistema ERP, adaptado de [54].	21
Figura 11 - Gráfico de citações e publicações do Tema 1, [Web Of Science].	22
Figura 12 - Análise de coocorrência relativo ao tema 1, [VosViewer].	23
Figura 13 - Gráfico de citações e publicações do Tema 2, [Web Of Science].	24
Figura 14 - Análise de coocorrência relativo ao tema 2, [VosViewer].	25
Figura 15 - Polo industrial Wegeuro Santo Tirso	31
Figura 16 - Gamas Motores WEG Portugal	32
Figura 17 - Diagrama de Pareto da Carga da maquinagem	33
Figura 18 - Diagrama de Processo dos Componentes Críticos.	34
Figura 19 - Folha Inicial do <i>software</i>	36
Figura 20 - Página inicial do <i>software</i>	36
Figura 21 - Formulário de Caixas de Ligação WTBX	37
Figura 22 - Formulário de cotas dimensionais das Caixas de Ligação WTBX	37
Figura 23 - Layout de Roteiros	38
Figura 24 - Dashboard controlo de cargas	43
Figura 25 - Visualização detalhada da máquina Mynx.	44
Figura 26 - Calendário do Power	44
Figura 27 - Método de estudo trabalho proposto, adaptado de [8].	57
Figura 28 - Diagrama de processo [7].	58
Figura 29- Tabela de distribuição normal [24].	59

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Operações básicas do diagrama de processo, adaptado de [14].....	8
Tabela 2 - Escalas de avaliação do fator de ritmo, adaptado de [11] .....	14
Tabela 3 - Classes MTM, adaptado de [32]. .....	16
Tabela 4 - Fases do PPCP, adaptado de [40]. .....	17
Tabela 5 - Número de artigos em cada área de pesquisa relativo ao tema 1, [Web Of Science]. .....	23
Tabela 6 - Número de artigos em cada área de pesquisa relativo ao tema 2, [Web Of Science]. .....	24
Tabela 7 - Outros artigos da mesma área científica.....	27
Tabela 8 - Excerto da base de dados dos parâmetros das ferramentas .....	34
Tabela 9 - Tempo Normal da operação Montagem da caixa no suporte .....	39
Tabela 10 - Tempo Normal da operação Preparação Programa CNC.....	39
Tabela 11 - Tempo Normal da operação Desmontagem da caixa no suporte .....	39
Tabela 12 - Tempo Padrão da operação Montagem da caixa no suporte (minutos). .....	40
Tabela 13 - Tempo Padrão da operação Preparação Programa CNC (minutos). .....	40
Tabela 14 - Tempo Padrão da operação Desmontagem da caixa no suporte (minutos). .....	41
Tabela 15- Verificação do Nº de observações mínimo na operação de Montagem da caixa no suporte.....	41
Tabela 16 - Verificação do Nº de observações mínimo na operação da Preparação Programa CNC.....	42
Tabela 17 - Verificação do Nº de observações mínimo na operação de Desmontagem da caixa no suporte.....	42
Tabela 18 - Tempos de criação de diagramas de processo.....	45
Tabela 19 - Avaliação do ritmo pelo método de Westinghouse, adaptado de [27], [83].....	60
Tabela 20 - Recomendações de folgas (International Labour Organization), adaptado de [27] 61	
Tabela 21 - Movimentos básicos MTM-1, adaptado de [35] .....	62
Tabela 22 - Movimentos básicos MTM-2 e MTM-3, adaptado de [35]. .....	64

# Acrónimos e Siglas

## Lista de Acrónimos e Siglas

VSM	Value Stream Map
PTS	Predetermined time standards
PMTS	Pre-Determined-Motion-Time-Systems
MTM	Methods-Time Measurement
WF	Work Factor
MOST	Maynard Operations Sequence Technique
MODAPTS	Modular Arrangement of Predetermined Time Standards
PPCP	Planeamento, Programação e Controlo da Produção
PAP	Planeamento agregado
PDP	Plano diretor de produção
MPS	Master Production Scheduling
MTS	Make to Stock
MTO	Make to Order
ATO	Assemble to Order
ETO	Engineer to Order
ROP	Reorder Point Systems
MRP	Materials Requirement Planning
ERP	Enterprise Resource Planning
DSS	Decision support system
CRP	Capacity Requirements Planning
RCCP	Rought-Cut Capacity Planning
CPOF	Capacity Planning using Overall Factors
CPCB	Capacity Planning using Capacity Bills
CPRP	Capacity Planning by Resource Profile
OPT	Optimized Production Technology
TOC	Theory of Constraints
DBR	Drum-Buffer-Rope
RV	Realidade Virtual
CCPM	Critical Chain Project Management
DDMRP	Demand-Driven Material Requirements Planning



# 1. Introdução

Este capítulo é composto pelo enquadramento, onde irá ser mencionado o motivo da escrita deste documento. Em seguida serão descritos os objetivos e a metas que se pretende atingir com o trabalho desenvolvido. Posteriormente, será explicada a metodologia escolhida para resolver o problema e atingir os objetivos previamente definidos. Por último é apresentado um subponto de estrutura de relatório, para facilmente se identificar os temas abordados.

## 1.1. Enquadramento/Contextualização

O presente documento, surgiu de uma proposta de estágio da empresa WEGeuro e a unidade curricular de Projeto/Dissertação/Estágio do 2º ano do mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial. A WEGeuro está associada ao negócio da energia, desde a geração, transmissão, distribuição e conversão de energia à automação industrial. Uma das suas atividades principais é a produção dos mais variados motores elétricos, nomeadamente motores à prova de explosão e de potências elevadas. Devido à complexidade de construção destes motores, estes possuem enumeras operações, em variadas máquinas, podendo haver situações em que em fases diferentes do processo, um componente passe mais do que uma vez na mesma máquina e, devido ao volume elevado de peças de vários modelos/gamas de motores a serem processados em simultâneo na linha de produção, um motor possui um *lead time* de produção elevado o que faz com que surja a necessidade de um planeamento da produção eficiente.

Após contacto com o departamento de melhoria continua da WEGeuro, foi proposto um estágio curricular, com o objetivo de desenvolver uma ferramenta/metodologia para adaptar a capacidade de produção de algumas gamas de motores elétricos.

## 1.2. Objetivos

Devido a enorme variedade de motores produzidos na empresa, conforme as necessidades do cliente, torna-se difícil calcular os tempos do processo produtivo. Desse modo o objetivo principal deste projeto consiste em desenvolver uma ferramenta capaz de eficazmente calcular os tempos de processos através da combinação de parâmetros de máquina e operações manuais. Consequentemente pretende-se desenvolver também uma ferramenta capaz de demonstrar a carga atual de trabalho, por forma a que o departamento de produção consiga gerir o trabalho eficazmente.

Para o desenvolvimento destas ferramentas, é necessário estudar o processo produtivo e o fluxo de valores, podendo ser identificadas etapas que não acrescentem valor ao produto final e que, conseqüentemente, podem ser eliminadas ou reduzidas.

Esperam-se também outros ganhos da aplicação desta ferramenta, tais como:

- Aumento de produtividade na atribuição de diagramas de processo/roteiros;
- Redução de custos;
- Aumento da confiabilidade e fiabilidade dos tempos de processo.

### 1.3. Metodologia

A metodologia selecionada para o desenvolvimento deste documento, é baseada no modelo de “Research Onion” [1,2]. Este modelo é composto por seis camadas (filosofia, abordagem, escolha metodológica, estratégias, horizontes temporais e técnicas/procedimentos), que representam as etapas necessárias para construir um método de investigação eficaz.

Assim sendo, o presente documento foi elaborado a partir de uma filosofia interpretativa num espaço temporal transversal. Desse modo a abordagem adotada foi abductiva. Uma abordagem abductiva é uma combinação da abordagem indutiva e dedutiva. Através da recolha de dados (indutiva), desenvolvimento de uma teoria e posterior validação da mesma (dedutiva) pretende-se criar a ferramenta que motivou a escrita deste documento. Para isso a metodologia escolhida foi de multi-método quantitativo centrada em duas estratégias principais, sendo elas: Estudo de caso e Investigação documental.

Na revisão da literatura, foi também adotada uma técnica de bola de neve (*snowballing*) para conseguir explorar áreas menos conhecidas ou referenciadas, a partir de bases de dados eletrónicas. Segundo M. R. W. Hiebl, a técnica de *snowballing* consiste na pesquisa de artigos potencialmente relevantes, a partir de um autor ou artigo previamente selecionado [3]. O autor acrescenta ainda, que a técnica de *snowballing* é eficaz com o auxílio de bases de dados eletrónicas, bem como o Web Of Science ou Google Scholar.

### 1.4. Estrutura do relatório

Este relatório está dividido em 6 capítulos principais, sendo eles:

- No primeiro capítulo, introdução, é abordada a introdução do documento, com o objetivo de enquadrar o tema apresentado no presente documento, mencionando os objetivos principais e a metodologia adotada para o desenvolvimento do mesmo;
- No segundo capítulo, revisão bibliográfica, é desenvolvida a revisão bibliográfica, abordando como principais temas: estudo de tempo e métodos, medição do trabalho, Value stream map, diagrama de processo, *Critical Resource Planning* (CRP) e *Optimized Production Technology* (OPT);

- No terceiro capítulo, análise criticada revisão bibliográfica, foi feita uma breve crítica da revisão bibliográfica;
- No quatro capítulo, desenvolvimento do trabalho, é feita uma breve apresentação da empresa, da metodologia de desenvolvimento do trabalho, da ferramenta de calculo de tempos e por fim da ferramenta de controlo de cargas;
- No quinto capítulo, demonstração de resultados, são enunciados os resultados das ferramentas desenvolvidas, bem como as suas possíveis melhorias futuras;
- No sexto capítulo, conclusão, é feita uma conclusão global do documento e do tema abordado.



## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Estudo do Trabalho

O Estudo do Trabalho é frequentemente categorizado em duas áreas principais: O estudo do método, também conhecido como estudo do movimento, e a medição do trabalho, referido como estudo do tempo [4]. Segundo M. A. Moktadir et al. [5], o estudo do trabalho é um método de investigação sistemático utilizado para otimizar a utilização de recursos humanos, máquinas e materiais numa indústria. Por outro lado, Mihir B Patel et al. [6] diz que o estudo do trabalho pode ser definido por “Uma expressão abrangente que se refere às técnicas, incluindo o estudo de métodos e a avaliação do trabalho que levam de forma sistemática à pesquisa de todos os elementos que influenciam a eficiência e a economia da situação examinada, com o propósito de implementar melhorias.”.

O estudo do trabalho consiste na análise da forma como uma atividade está a ser executada, com o objetivo de simplificar ou alterar o método de operação para minimizar o esforço supérfluo ou excessivo, bem como a utilização ineficiente de recursos, estabelecendo assim um tempo padrão e um tempo para a conclusão do trabalho [7]. É considerado um instrumento muito potente que a direção de uma empresa pode utilizar para aumentar a produtividade [7]. As abordagens do estudo do trabalho incluem a ergonomia, a investigação operacional, o estudo dos métodos e o estudo do tempo e movimento (medição do trabalho), mas segundo vários autores, o estudo dos métodos e a medição do trabalho são os dois segmentos principais do estudo do trabalho [4, 5, 7]. Na Figura 1, é possível observar um modelo simples sobre o estudo do trabalho.

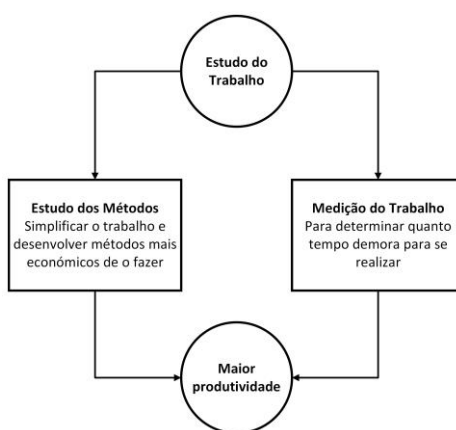


Figura 1 - Diagrama do Estudo do Trabalho, adaptado de [7].

De acordo com M. Sujay Biswas et al. [8], existem 4 fatores que levam a uma grande importância do estudo do trabalho, sendo eles:

1. Grande capacidade de aumentar a eficiência de uma empresa;
2. Técnica que identifica operações que não geram valor para empresa ou produto final;

3. É uma estratégia metódica e orientada para o processo utilizado para determinar o tempo padrão;
4. Elevadas aplicações universais.

No Anexo 1, observa-se um modelo proposto pelo mesmo autor, que demonstra um possível método de estudo do trabalho, em articulação com o estudo dos movimentos (estudo do método) e o estudo do tempo (medição do trabalho), com o objetivo de aumentar a produtividade.

## 2.2. Estudo dos Métodos

O estudo dos métodos pode ser definido como o processo de submeter cada operação de uma determinada tarefa a um estudo metuculoso, a fim de remover quaisquer elementos ou passos estranhos e determinar a forma mais eficiente de realizar cada elemento ou operação essencial [9]. Existe autores que definem o estudo dos métodos e tempos como: “O estudo de métodos consiste no registo organizado e na avaliação rigorosa das maneiras de realizar tarefas, com a finalidade de promover melhorias” [6, 7].

Segundo Kanawaty G, International Labour Office, existem oito procedimentos básicos para a realização de um estudo de métodos [7, 10]:

### 2.2.1. Procedimento para a realização de um estudo de métodos

1. **Selecionar:** Selecionar o trabalho ou processo a ser estudado;

Num ambiente profissional existe inúmeros trabalhos que podem ser melhorados, contudo é praticamente impossível estudar todos, por isso é importante dirigir a atenção para os mais relevantes.

Existe três fatores que devem ser considerados para ajudar na seleção do trabalho ou processo a ser estudado, dos quais:

- **Considerações económicas ou de custo-eficácia:** Deve-se aplicar estes estudos a trabalhos de elevada importância e que sejam utilizados durante um longo período.
- **Técnicas:** Caso a direção da empresa deseje melhorar a tecnologia dos seus equipamentos, por exemplo, de uma linha de produção. É essencial um estudo de métodos para auxiliar na decisão da melhor tecnologia ou equipamento para essa finalidade.
- **Humanas:** Devido a exigência de certas operações importantes para a empresa, estas podem causar cansaço e insatisfação aos trabalhadores. Caso isso seja evidenciado, um estudo de métodos é uma ferramenta importante para solucionar esse problema e, em muitos casos, para aumentar a produtividade.

2. **Registar:** Registar todos os dados relevantes sobre o trabalho ou processo;

É importante que os dados sejam fidedignos, pois estes servirão de base para o método melhorado. Este registo de dados pode ser dado em duas fases distintas, uma na fábrica fazendo um esboço do processo, e numa segunda fase, um registo formal realçando os aspetos importantes anteriormente observados. As ferramentas de registo mais utilizadas podem ser observadas na Figura 2:



Figura 2 - Ferramentas de Apoio ao estudo de métodos [6].

3. **Examinar:** Registrar os factos e analisar o que foi realizado;
4. **Desenvolver:** Desenvolver métodos mais económicos levando em consideração todas as circunstâncias, e recorrer se necessário a técnicas de gestão da produção, bem como a contributos por parte da equipa de trabalho;
5. **Avaliar:** Avaliar os resultados alcançados pelo método melhorado em comparação com o método antigo, analisando o benefício desse novo investimento.
6. **Definir:** Definir o novo método e o respetivo tempo e apresentá-lo a todos os interessados, quer oralmente, quer por escrito, recorrendo a demonstrações;
7. **Instalar:** Implementar o novo método, incluindo a formação de todos os indivíduos relevantes, como uma norma mutuamente acordada dentro do prazo de execução designado;
8. **Manter:** Manter a nova prática normalizada através do controlo dos resultados e comparando-os com os objetivos iniciais.

### 2.2.2. Diagrama de Operações/Processo

De a forma a obter uma visão clara sobre o processo de fabrico de um produto, foram desenvolvidas folhas com a descrição e sequencia de operações para uma determinada tarefa ou produto. Essas folhas são designadas por diagramas de operação ou de processo. Um diagrama de operações descreve todas as operações para fabricar cada peça, as suas montagens e o embalamento do produto final [11].

Um diagrama de processo, é mais completo que um diagrama de operação, pois este contém símbolos aceites universalmente, que descrevem as etapas observadas na *Tabela 1*. Segundo A. I. Pratiwi [12], num diagrama de processo estão explicitas todas as etapas para a realização de um produto, desde o seu estado inicial até ao produto final, contem ainda informação relativa ao tempo, materiais utilizados, máquinas e ferramentas. De acordo com [13], este

diagrama permite identificar etapas que não geram valor ao processo. Existe ainda um diagrama de fluxo de processo, que segundo F. E. Meyers e J. R. Stewart [11], resulta da combinação do diagrama de processo e operações.

Tabela 1 - Operações básicas do diagrama de processo, adaptado de [14]

Símbolo	Título	Descrição
○	Operação	Modificação /alteração de um produto
➔	Transporte	Movimento de material ou pessoas
⊔	Espera	Tempo de espera de operação / máquinas
▽	Armazenamento	Armazenamento de produtos /matérias-primas
□	Inspeção/Controlo	Verificação da qualidade do material/produto

Na Figura 3 é possível observar um diagrama de operações de uma válvula de água. Neste diagrama estão dispostos os componentes necessários para o fabrico da válvula e as operações necessárias para a produção de cada componente integrante da válvula, bem como as possíveis montagens de subconjuntos. Cada operação é catalogada com uma referência, por exemplo, a operação CAST tem como designação o número cinco e neste caso consegue fazer 500 peças (*handle*) a cada duas horas.

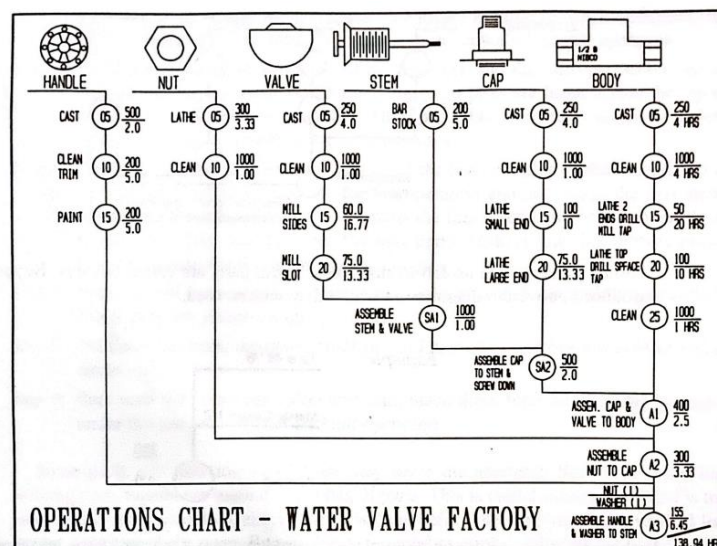


Figura 3 - Diagrama de operação [11].

No Anexo 2 é possível observar um diagrama de fluxo de processo. Num diagrama de processo estão descritas todas as etapas para a realização de uma tarefa e a interligação entre elas a partir das figuras presentes na Tabela 1. É possível ainda adicionar informações, tais como,

distâncias percorridas, tempo, etc. Contudo o objetivo principal é compreender o fluxo de tarefas por forma a identificar desperdícios. Por outras palavras, encontrar possíveis melhorias.

### 2.2.3. Mapa de Fluxo de Valores - Value Stream Map (VSM)

De acordo com [15] *"o value stream map (mapa de fluxo de valores), é uma ferramenta lean utilizada para analisar e melhorar o fluxo de informações e materiais necessários para produzir um produto ou serviço"*, Rohit Ramaswamy et al [16] acrescenta ainda que o VSM demonstra o estado real das operações de uma empresa e o seu fluxo de trabalho. Esta ferramenta permite a identificação de desperdícios e operações que não geram valor no processo da empresa. Segundo S. Wang, J. Tang, Y. Zou e Q. Zhou [17], as principais causas do desperdício podem ser identificadas com a análise sistemática do VSM. Na Figura 4 estão demonstradas quatro etapas para a realização de um VSM, conforme enunciado por Mike Rother et al. [18], de realçar que:

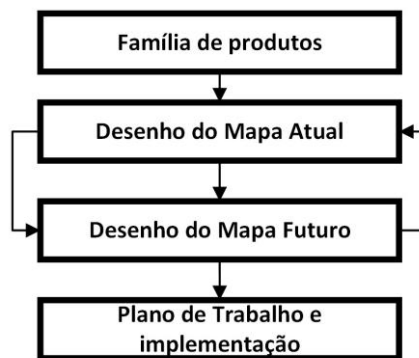


Figura 4 - Etapas da elaboração de um Value Stream Map, adaptado de [18].

- **Selecionar a família de produtos:** Deve-se selecionar os produtos que tem processos produtivos idênticos, que passem nas mesmas máquinas e com tempos de processamentos semelhantes;
- **Desenho do mapa atual:** Uma vez identificado a família de produtos, é necessário proceder a criação do VSM do processo atual. Segundo Mike Rother e John Shook [18], devemos:
  - Executar inicialmente uma abordagem porta a porta, ou seja, caminhar do início até ao fim da fábrica para ter uma ideia geral do processo;
  - Começar o desenho do processo a partir do ponto de expedição e seguir o caminho até ao ponto de receção de matérias-primas;
  - Coletar informação atualizada do processo produtivo;
  - Estar acompanhado de um cronometro e utilizá-lo posteriormente caso os tempos previamente obtidos sejam inexistentes ou não confiáveis;
  - Mapear o fluxo inteiro a mão, utilizando um lápis;

- **Desenvolvimento do mapa futuro:** Uma vez identificados os desperdícios e as oportunidades do VSM atual, deve-se proceder ao desenvolvimento de um novo VSM, para ajudar nessa conceção, segundo [18, 19] existem indicações para auxiliar esse desenvolvimento, tais como:
  - Utilizar pontos de recolha e aquisição de materiais;
  - Nivelar a mistura de produção e o volume das mesmas;
  - Utilizar fluxo contínuo de produção – produzir um componente do início ao fim, sem interrupções;
  - Produzir para o takt time – determina o ritmo de produção, por fim a satisfazer as necessidades de procura ou vendas.
- **Implementação do novo VSM:** Aplicar as medidas por forma a cumprir com o novo mapa de fluxo de valores.

Na Figura 5 é possível observar um exemplo de um VSM. Através de um VSM é possível observar todo o fluxo de uma organização e as relações entre os vários departamentos, como por exemplo, departamento de produção, vendas e compras. Em concreto, na Figura 5 é possível observar todo o processo produtivo de um determinado produto, onde em cada operação estão descritos o tempo de ciclo e a taxa de utilização de cada máquina. No fim, soma-se os tempos de ciclo de cada operação, obtendo-se o *lead time* de produção. O *lead time* de produção é um dado essencial para ajudar nas previsões de vendas e compras de matéria-prima.

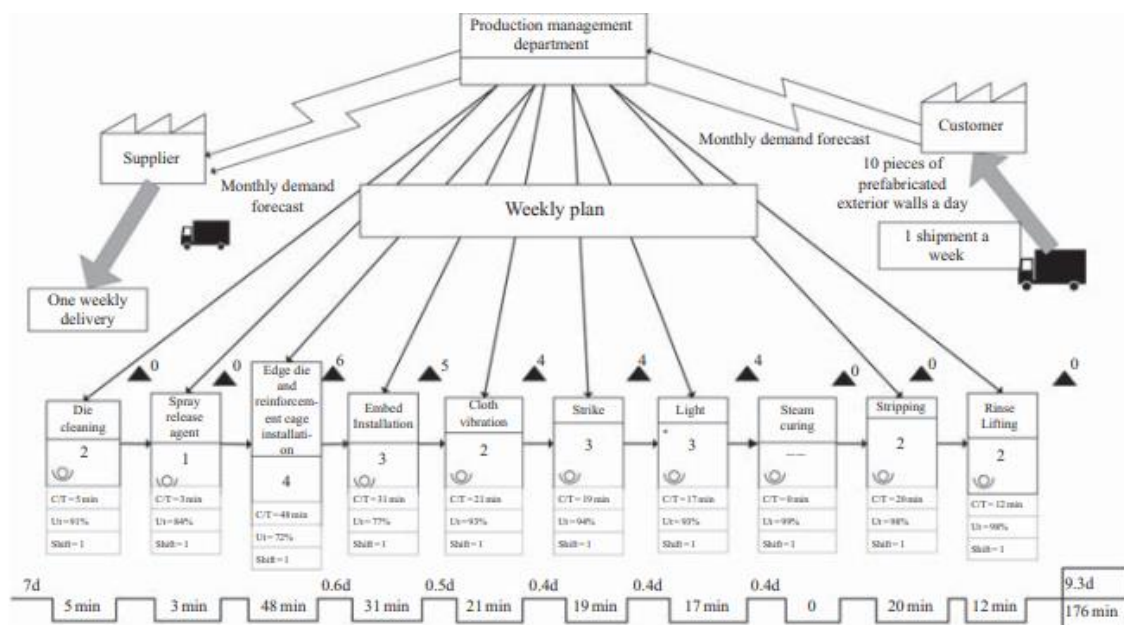


Figura 5 - Exemplo de um Value Stream Map [17].

### 2.3. Medição do Trabalho

Ao longo dos tempos, foram desenvolvidas técnicas analíticas para medir e avaliar o trabalho. A medição do trabalho é comumente conhecida como estudo do tempo, e é definida por: "A

medição do trabalho é a aplicação de técnicas destinadas a determinar o tempo necessário para que um trabalhador qualificado execute uma tarefa a um ritmo de trabalho definido” [7, 20].

Segundo Stefan Seifermann et al [21], existem 3 abordagens principais relativas a medição do trabalho. Uma delas é na observação em tempo real, como por exemplo o estudo do tempo através de um cronometro, a segunda é com base em experiências planeadas e em métodos de calculo analíticos, como por exemplo padrões de tempo pré-determinados, vulgarmente conhecido com a sigla PTS (*predetermined time standards*). Por fim a última abordagem resulta da combinação das 2 abordagens anteriormente mencionadas. Na Figura 6 é possível observar os conceitos da medição do trabalho.

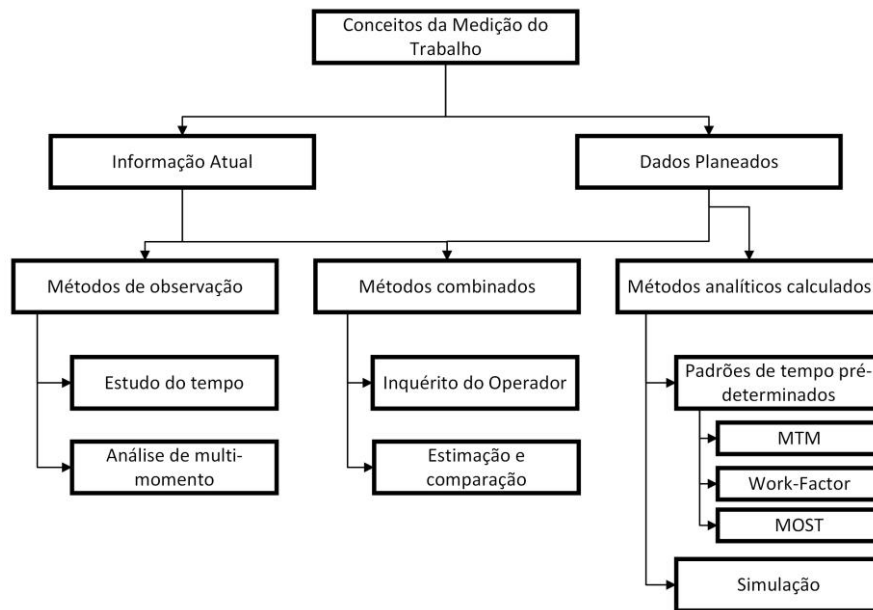


Figura 6 - Diagrama de conceitos da medição do Trabalho [21].

De acordo com, International Labour Office [7] no processo de estabelecimento de normas, pode ser necessário o uso da medição do trabalho devido a sete motivos principais, sendo eles:

1. Para avaliar a eficácia das abordagens, assumindo que todos os outros fatores são iguais, a abordagem que requer a menos tempo será considerada o método mais ideal;
2. Para alcançar uma distribuição justa do trabalho entre os membros da equipe, é importante usar vários gráficos de atividades para garantir que a cada pessoa seja atribuída tarefas que precisam de uma quantidade igual de tempo para completar;
3. Para determinar, em associação com os gráficos de atividade múltipla do operador e da máquina, o número de máquinas que um operador pode operar;
4. Para fornecer dados importantes para o planeamento e controlo da produção, para um melhor layout e planeamento de processos e por fim para criação de sistemas de controlo de inventário Just-in-Time;
5. Para fornecer informações que auxiliem na estimativa de preços e prazos de entrega;

6. Para estabelecer padrões de utilização de máquinas e desempenho do trabalho;
7. Fornecer informações para o controlo dos custos de mão-de-obra e permitir que os custos padrões sejam fixados e mantidos.

### **2.3.1. Estudo do tempo**

Segundo [7] o estudo do tempo é um método usado para medir e registar a duração de uma determinada tarefa ou seus componentes individuais, realizados sob circunstâncias precisas. Os dados recolhidos são analisados para determinar a quantidade de tempo necessária para um operador completar uma tarefa a uma taxa de desempenho predeterminada.

Já segundo, Kulkarni P et al. [22] o estudo do tempo pode ser definido pela técnica de estimar o tempo necessário para um operador qualificado e altamente treinado, trabalhando a um ritmo ou taxa de desempenho normal, concluir uma tarefa específica através de um método específico. Em [22], Kulkarni apresentou 10 passos para conduzir um estudo do tempo utilizando um cronómetro, sendo eles:

1. Definir os objetivos do estudo;
2. Verificar que o método padrão e condições existentes para a operação e o trabalhador, estão corretas;
3. Selecionar o trabalhador para ser estudado, caso exista mais de um trabalhador a desempenhar a mesma função;
4. Registrar a informação relativa ao método padrão, operação, trabalhador, produto, equipamento e condições em que o estudo se realizou, numa folha de observações;
5. Dividir a operação em etapas mais pequenas e registá-las na folha de observações do estudo;
6. Contabilizar o tempo gasto pelo trabalhador em cada etapa da operação, durante um certo número de ciclos e registar esses valores na folha de observações do estudo;
7. Cronometrar e classificar o desempenho do trabalhador;
8. Obter o tempo normal de operação, multiplicando o tempo cronometrado em cada etapa da operação pelo fator de ritmo;
9. Determinar folgas devido a fadiga ou outros atrasos;
10. Determinar o tempo padrão através da soma do tempo normal e das folgas.

### **2.3.2. Determinação do número de observações do estudo**

Para conseguir obter uma fórmula, que permita a determinação do número de observações a registar num determinado estudo, é preciso tomar em consideração o intervalo de confiança e erro relativo. Existe determinadas formas de obter o número de observações necessárias, e estas estão enunciadas nas equações (1,2,3).

$$n = \left( \frac{40 \times \sqrt{n' \sum x^2 \times (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (1)$$

$$n = \left( \frac{20 \times \sqrt{n' \sum x^2 \times (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2 \quad (2)$$

$$n = \left( \frac{Z \times s}{e \times \bar{x}} \right)^2 \quad (3)$$

Onde, na equação 1 e 2, o  $n$  representa o número de leituras necessárias,  $n'$  representa o número de leituras preliminares,  $x$  representa os valores obtidos nas leituras, e por fim  $\sum = \text{somatório dos valores lidos}$ . Na equação 3 a letra  $e$  representa o erro relativo,  $\bar{x}$  a média dos valores lidos,  $s$  corresponde ao desvio padrão, e por fim  $Z$  representa o valor tabelado para um certo nível de confiança, ver (Anexo 3).

De acordo com International Labour Office [7] o número de observações necessárias, pode ser calculado através da equação (1), esta fórmula aplica-se quando se pretende obter um intervalo de confiança de 95% e uma margem de erro de  $\pm 5\%$ . Caso seja possível aumentar a margem de erro para  $\pm 10\%$ , segundo Al-Saleh K et al. [23] podemos utilizar a equação (2). Na necessidade de utilizar intervalos de confiança ou margem de erros diferentes, podemos utilizar a equação geral para validação estatística [24, 25] enunciada na equação (3). Para os casos onde seja utilizado a equação 1 ou 2, se o número  $n$  for superior ao  $n'$ , devemos aumentar o número de observações necessárias até a diferença de  $n - n'$  ser igual ao inferior a zero.

### 2.3.3. Determinação do Fator de ritmo (taxa desempenho) e tempo normal

Segundo R. M. Barnes [26], o fator de ritmo pode ser definido por: “A classificação é o procedimento no qual o indivíduo encarregado do estudo de tempo contrasta a performance (velocidade ou cadência) do operador em análise com a sua própria noção de desempenho padrão “. Afirma ainda que a fase de avaliação do ritmo do operador é uma das mais importantes e mais complicadas de todo o estudo. Em concordância, International Labour Office [7], afirmam que a classificação é a avaliação da taxa de trabalho do trabalhador em relação ao conceito do observador e da taxa correspondente ao ritmo padrão. Na *Tabela 2* é possível observar um método de avaliação do ritmo do trabalhador (fator de ritmo), introduzido por International Labour Office [7].

Tabela 2 - Escalas de avaliação do fator de ritmo, adaptado de [11]

Escalas				Descrição	Comparação com velocidade a pé
60-80	75-100	100-133	0-100 (Padrão)		Km/h
0	0	0	0	Sem atividade	0
40	50	67	50	Movimentos muito lentos,	3.2
60	75	100	75	Desempenho constante, sensação de lentidão	4.8
80	100	133	100 (Padrão)	Desempenho brilhante, padrão de qualidade alcançado.	6.4
100	125	167	125	Muito rápido, trabalhador exhibe elevado grau de confiança	8.0
120	150	200	150	Excepcionalmente rápido, elevado esforço e concentração que dificilmente será mantido por longos períodos	9.6

Existe ainda outro método para avaliação do ritmo do trabalhador, este é conhecido como o método de Westinghouse (Anexo 4). Nesta forma de abordagem, existe 4 fatores principais para avaliação do desempenho (Esforço; consistência; habilidade e considerações ambientais).

Como referido anteriormente, o fator de ritmo vai ter um impacto direto no resultado do tempo normal. O tempo observado não é o tempo real necessário para um trabalhador completar uma determinada tarefa, pois este não tem em consideração a efetividade de um trabalhador. O tempo normal consiste no produto do fator de ritmo e do tempo observado, conforme enunciado na equação quatro [23, 27].

$$\text{Tempo Normal} = \text{tempo observado} \times \frac{\text{fator de ritmo em \%}}{100} \quad (4)$$

### 2.3.4. Tempo Padrão

Não é possível falar sobre o tempo padrão, sem abordar a temática das folgas comumente conhecidas como *allowances*, pois estas folgas tem um impacto direto no quociente do tempo padrão. Segundo Barnes [26] existem três tipos de folgas: folgas pessoais (*personal allowance*), folgas por fadiga (*fatigue allowance*) e folgas de atraso (*delay allowance*). Por outro lado, de acordo com a International Labour Office [7], existem 3 fatores principais que justificam a aplicação de folgas em cada tarefa realizada, sendo eles:

- **Fatores relacionados com o indivíduo:** Nem todos os indivíduos têm a mesma capacidade física, logo o tempo até atingir a fadiga ou a recuperar da mesma, não será necessariamente o mesmo.

- **Fatores relacionados com a natureza do trabalho:** Quando se cria uma tabela de folgas para a determinação do tempo padrão de um trabalho, devemos ter em consideração que nem todos os trabalhos exigem o mesmo esforço mental ou físico. Logo devemos atribuir uma percentagem de folga consoante as características do trabalho.
- **Fatores relacionados com o ambiente:** humidade, calor, ruído, vibração, entre outras.

Quando abordamos a temática do cálculo da percentagem das folgas a aplicar em determinada tarefa, não existe nenhuma regra a seguir, pois como abordado anteriormente nem todos os trabalhos são iguais. Logo cada empresa irá definir as percentagens de folgas. Contudo segundo [27] e [28] a International Labour Organization propôs uma tabela com recomendações, enunciadas no Anexo 5, que poderá ajudar nessa tomada de decisão. Assim sendo, de acordo com os autores [23, 26, 27] é possível então obter o tempo padrão de uma operação através da equação 5.

$$Tempo Padrão = Tempo Normal \times \left( \frac{100}{100 - Folgas \text{ em } \%} \right) \quad (5)$$

Caso a folga, seja atribuída como uma percentagem do trabalho (número real) o tempo padrão calcula-se pela equação 6, de acordo com [29].

$$Tempo Padrão = Tempo Normal \times \left( 1 + \sum Folgas \right) \quad (6)$$

### 2.3.5. Padrões de tempo pré-determinados / Pre-determined-motion-time systems

Segundo W. Laurig et al. [30], as origens dos *Pre-Determined-Motion-Time-Systems* (PMTS), teve início nos primórdios do desenvolvimento do estudo de tempo e movimento. Os PMTS estão subjacentes a cálculos analíticos para a determinação de tempos de trabalho, e são divididos em 3 técnicas:

- MTM - Methods-Time Measurement (Medição do Tempo);
- WF - Work Factor (Fator de Trabalho);
- MOST - Maynard Operations Sequence Technique.

De acordo com J. Razmi & M. Shakhs-Niyaei [31], o MTM foi originalmente desenvolvido por Harold B. Maynard em 1946, tornando-se assim o primeiro PMTS a ser amplamente utilizado. Já Harold B. Maynard et al. [32], define o MTM como “*procedimento que analisa qualquer operação ou método manual em movimentos básicos necessários para a sua execução e atribui a cada movimento um padrão de tempo pré-determinado que é atribuído pela natureza do movimento e pelas condições em que é efetuado*”, acrescentando ainda as suas cinco classes conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Classes MTM, adaptado de [32].

Classe	Descrição	Exemplo
A	Alcançar um objeto num local fixo.	Alavanca de controlo de uma máquina; Objeto segurado na outra mão
B	Alcançar um único objeto num local que pode variar de ciclo para ciclo.	Gabarito móvel; Peças pequenas, médias ou grandes.
C	Alcançar um objeto num grupo de objetos.	Peças pequenas, misturadas.
D	Alcançar um objeto muito pequeno ou agarrar com precisão.	Peças muito pequenas, que podem ser agarradas de apenas uma maneira.
E	Alcançar um local indefinido para colocar a mão em posição de equilíbrio corporal	Descolar a mão de uma alavanca de controlo rapidamente;

Segundo os autores [33, 34], existem cinco movimentos básicos, comumente utilizados, observados Figura 7. Porém de acordo com A. M. Genaidy et al. [35] o MTM-1 é a base de toda a família MTM, este consiste em sete categorias principais envolvendo 26 movimentos únicos, usados para descrever atividades manuais (Anexo 6). A unidade de medida utilizada para medir movimentos é designada de (TMU- *Time Measuring Unit*), onde  $TMU = 0.036 s$  [32, 33, 35].

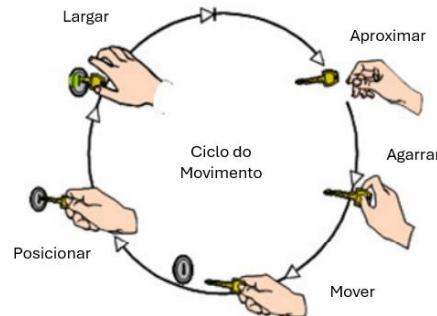


Figura 7 - Cinco movimentos comuns MTM [34].

Contudo o MTM-1 é bastante extenso e fazer uma análise através dele, exige um consumo de tempo bastante elevado. Desse modo foram desenvolvidas variações do MTM-1, tais como MTM-2 (movimentos múltiplos) e MTM-3 (combinação de movimentos). Estas partilham a mesma base do MTM-1, porém foram simplificadas com a agrupação de movimentos [34–37]. Algumas alterações podem ser verificadas no Anexo 7.

Com a permanente evolução industrial, ao longo dos anos foram sendo desenvolvidas vários métodos dentro e fora da família MTM, para o auxílio ao desenvolvimento dos PMTS. Alguns deles como melhoramento a métodos anteriores e outros para aplicações mais concretas [37 – 41]. Alguns dos principais são:

- MTM-SD; MTM-UAS; MTM-MEK; MTM-V; MTM-TE; MTM-C;
- MODAPTS - *modular arrangement of predetermined time standards*;

- MOST - *Maynard operations sequence technique*.

## 2.4. Planeamento, Programação e Controlo da Produção (PPCP)

O Planeamento, Programação e Controlo da Produção (PPCP), pode também ser designado de planeamento e controlo da produção, ou de *Manufacturing Planning and Control System* (MPC System). De acordo com Thomas E. Vollmann et al. [39] “o MPC system preocupa-se com o planeamento e controlo de todos os aspetos da produção, incluindo materiais, programação de máquinas e pessoas e coordenação de fornecedores e clientes importantes”. Segundo Paulo Avila et al. [40], a previsão da procura imposta pelo mercado e o ponto de partida do planeamento da produção, acrescentado ainda as 3 atividades principais do PPCP, sendo elas:

- Para um período, definir as quantidades de produtos a produzir, ao custo mais baixo;
- Selecionar os meios a utilizar para fazer cumprir o planeamento;
- Corrigir e controlar desvios face ao planeamento original.

Na Tabela 4 é possível observar as fases do PPCP.

Tabela 4 - Fases do PPCP, adaptado de [40].

<b>Fase de Planeamento</b>	<b>Planeamento Prévio</b>	Planeamento Estratégico; Desenvolvimento de Produto; Desenvolvimento de processo; Planeamento de ferramentas; Planeamento agregado; Planeamento Diretor.
	<b>Planeamento Operacional</b>	Estruturas de produto; Gamas operatórias; Planeamento de necessidades em ordens; Planeamento de necessidades em capacidade; Planeamento do lançamento; Carregamento; Escalonamento;
<b>Fase de Produção</b>		Lançamento em Produção;
<b>Fase de Controlo</b>	<b>Monitorização</b>	Recolha e processamento de dados; Replaneamento.

### 2.4.1. Planeamento estratégico e Planeamento agregado (PAP)

O planeamento estratégico faz parte do PPCP e consiste numa definição global da empresa para um futuro próximo, pretende mostrar a missão e visão de uma organização com o objetivo final de ganhar uma vantagem competitiva e eficiência global [40]. O plano agregado pretende consoante a procura esperada de encomendas e vendas, avaliar os custos de diversas combinações de *stocks* e capacidades produtivas. As quantidades de produtos e recursos são agrupadas em famílias. Desse modo permite à gestão da empresa alocar os recursos com baixa precisão [40]. De acordo com B. Khoshnevis et al. [41] e A. Singhvi, & U. V. Shenoy [42], o principal objetivo do plano agregado é conseguir satisfazer a procura do mercado com o maior

lucro possível, por outras palavras, satisfazer a procura minimizando os custos. Os autores, afirmam ainda que o plano agregado é capaz de fornecer um plano geral para as operações de uma empresa e estabelece diretrizes de produção e distribuição para um certo horizonte temporal [41–43].

Segundo M. Gansterer [44], o plano agregado deve ser atualizado periodicamente e cria requerimentos para o plano diretor de produção (PDP), também conhecido como *Master Production Scheduling* (MPS). Por fim, existe uma grande variedade de estratégias do PAP, dependendo do propósito e decisão da gestão da empresa, algumas delas são [40, 45, 46]:

- Nivelamento da mão de obra pela média da procura (produção constante);
- Nivelamento da mão de obra conjuntamente com subcontratação ou trabalho extraordinário;
- Adaptação à procura por contratação e dispensa dinâmica de mão de obra;
- Adaptação à procura por produção variável;
- Adaptação à procura com excesso permanente de capacidade.

#### **2.4.2. Plano Diretor de Produção (PDP) / *Master Production Scheduling* (MPS)**

O Plano Diretor de Produção é criado a partir do plano agregado de produção e numa ótica simplista, o PDP vai desagregar o PAP em produtos e individuais e quantidades exatas de cada produto [40]. Segundo [47], o PDP permite obter um plano de produção para os próximos seis meses a 12 meses, tendo em consideração as limitações de material e capacidade dos postos de trabalho. O autor [48], acrescenta ainda que o PDP é um processo que dá um plano capaz de identificar a quantidades de produtos a produzir num determinado espaço de tempo. Numa forma mais concisa o plano diretor de produção traduz as previsões de vendas em planos de produção de um determinado produto e, permitindo ainda saber a disponibilidade dos produtos por forma a garantir prazos de entrega aos seus clientes [39].

Atualmente existe uma variedade de modelos de apoio da decisão para o PDP, dos quais [49]:

- *Make to Stock* (MTS): Produção do produto antecipadamente, baseado na procura do mercado;
- *Make to Order* (MTO): Produção do produto após uma encomenda ser realizada;
- *Assemble to Order* (ATO): É uma combinação de MTO e MTS, onde as matérias-primas já estão em stock, mas o produto só é acabado após uma encomenda;
- *Engineer to Order* (ETO): Produto desenvolvido por encomenda, requer design, engenharia de produto e produção.

Por fim, existe uma grande relação entre o Plano agregado da produção e o Plano diretor de produção, que são fundamentais para o desenvolvimento do planeamento em necessidades materiais (MRP).

### 2.4.3. MRP e ERP

De acordo com [50], o planeamento e controlo da produção evoluiu ao longo dos anos, podendo-se ressaltar 5 épocas cruciais para esse desenvolvimento, conforme se pode observar na Figura 8, sendo elas:

- ROP – *Reorder Point Systems*;
- MRP – *Materials Requirement Planning Systems*;
- MRP-II – *Manufacturing Resource Planning Systems*;
- MRP-II e MES – MRP-II com *Manufacturing Execution Systems*;
- ERP e MES - *Enterprise Resource Planning Systems e MES*.

MPC Stages →	ROP	MRP	MRP-II	MRP-II / MES	ERP / MES
<b>MPC characteristics:</b>					
1. Overall production planning orientation	Positional (based on historical demand)	Predictive (based on future demand)			
2. Material planning	Min/max reorder point logic	Lot-for-lot & min/max reorder point logic			
3. Capacity planning	Manual capacity planning		Capacity requirements planning (CRP)		
4. Manufacturing execution & control	Manual production execution & control		Shop floor control (SFC)	Real-time machine feedback & control	
5. Master planning	Manual master scheduling		Limited decision support (DSS) features		Full DSS features
6. Cross-functional data linkages	Degree of cross-functional information access and sharing varies by firm				Real-time information access and sharing
<b>IT characteristics:</b>					
1. Information technology focus	<i>Automating</i> power of technology (i.e., IT enables manufacturing firms to realize greater cost efficiencies.)			<i>Informing</i> power of technology (i.e., IT enables more effective decision making.)	
2. Computer hardware environment	Mainframe Systems → Mini-Computer Systems → Client-server systems → Web server systems →				
3. Information processing	Batch-processing	Online transaction processing		Real-time transaction processing	
4. User interface	Command-based		Menu-based	Graphical user interface (GUI)	
5. Database technology	Sequential files	Hierarchical database → Relational database → Object-oriented Database →			
6. External MPC interfaces to customers and suppliers	Manual forms & correspondence	Magnetic tape → Electronic data interchange (EDI) →			Internet & Extranets →

Figura 8 - Evolução do Planeamento e controlo da produção [50].

Na Figura 8, é possível compreender a relação das cinco épocas face às características tanto de controlo de produção, como tecnológicas. Alguns aspetos importantes desta evolução são:

- Decision Support System (DSS);
- Sistemas na *Web/Cloud*;
- Informação processada e partilhada em tempo real;

Segundo [51, 52], "O planeamento das necessidades materiais (MRP) é um sistema informático de planeamento e controlo de produção, que tem em consideração a programação da produção e controlo de inventários", o MRP tem como principal objetivo facilitar o cálculo das necessidades materiais através do balanceamento de *stocks*, garantindo assim que os materiais estarão disponíveis sempre que necessários. Os autores [51, 53], acrescentam ainda que o MRP

determina as quantidades e em que instantes se deve encomendar/ fabricar os componentes necessários para conseguir atender as necessidades do PDP.

Contudo, devido a elevado fluxo de informação que as empresas recebem, alguns autores mencionam que uma das fragilidades do MRP é a periodicidade do cálculo dum novo MRP. O cálculo do MRP é um processo que requer bastante capacidade computacional, por isso é dispendioso estar sempre a proceder ao recálculo das capacidades, por outro lado se o recálculo for tardio, poderemos estar a perder informação crucial para o nosso plano de produção[39, 40]. Ao longo dos anos foram sendo desenvolvidos métodos para mitigar esses efeitos.

Com a evolução do cenário industrial, o MRP foi substituído por MRP-II, onde a principal diferença, foi a introdução do cálculo da capacidade crítica (*Capacity Requirements Planning* (CRP)), conseguindo-se assim obter em um único sistema os requisitos de capacidade de produção e materiais. Atualmente o MRP e o CRP são dois módulos fulcrais do *Enterprise Resource Planning system* (ERP). De acordo com [54], “O ERP é um sistema de gestão empresarial que inclui uma interligação de vários softwares, que são implementados para integrar todas as funções empresariais de uma organização”. De acordo com [55], grandes empresas investem grandes quantias na evolução dos seus sistemas ERP, pois consideram que esse sistema lhes traz bastantes vantagens, em ordem a obter vantagem competitiva. Boykin [56], acrescenta ainda que o ERP é fundamental para iniciar um negócio, e que este é capaz de criar uma economia entre negócios. O seu elevado sucesso levou a que fosse amplamente desenvolvido desde o ERP-1 até ao atual ERP-4. O ERP-4 caracteriza-se pelo uso de inteligência artificial, internet, grandes volumes de informação (*Big Data*) e gestão (*Big Management*), associado à indústria 4.0 [57]. Os autores S. Demi & M. Haddara [58], acrescentam que o Cloud-ERP é uma nova tendência, uma vez que existem grandes vantagens na partilha de informação e dados. A Figura 9 demonstra a evolução do ERP e a Figura 10 permite-nos obter uma visão geral dos primórdios do ERP.

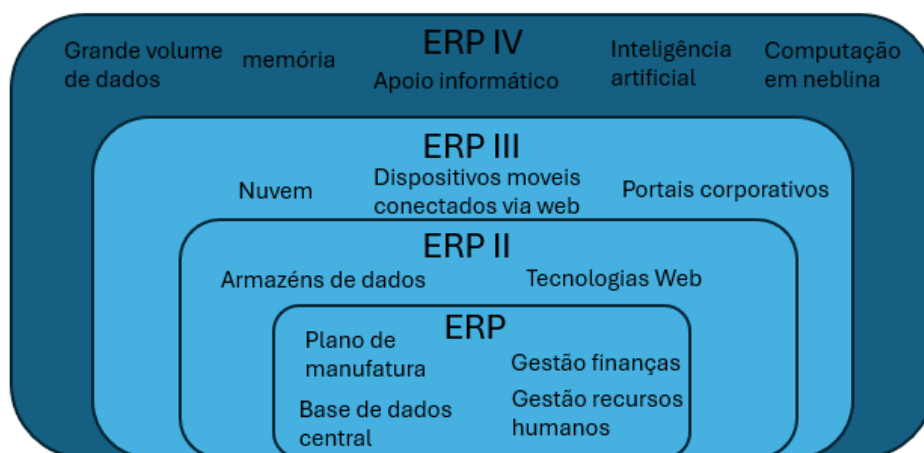


Figura 9 -Visão Geral ERP-4 [57].

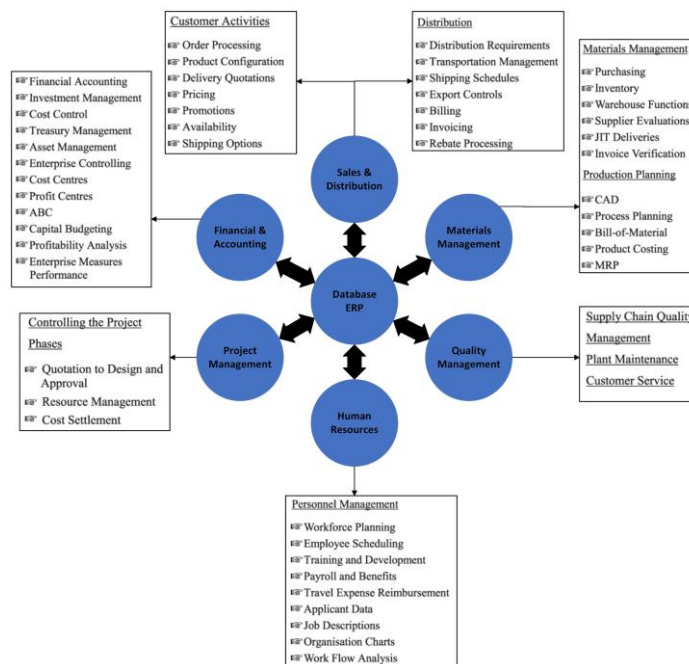


Figura 10 - Sistema ERP, adaptado de [54].

#### 2.4.4. Planejamento da Capacidade Bruta - Rough-Cut Capacity Planning (RCCP)

De acordo com [59, 60], uma análise de capacidade pode ser feita de duas formas, a primeira através do planejamento das necessidades brutas/críticas, ou Rough-Cut Capacity Planning (RCCP). O RCCP serve para validar a capacidade do PDP. A segunda, é através do planejamento dos requisitos em capacidade, ou Capacity Requirements Planning (CRP). O CRP pode ser dividido em planejamento das necessidades em materiais ou ordens, e planejamento das necessidades em capacidade [40]. Segundo S. Permana & M. Andriani [61], o CRP é um método para planejar a capacidade produtiva, que tem como função determinar a capacidade de um processo através do cálculo de mão de obra e máquinas necessárias.

Este documento irá focar o planejamento das necessidades críticas. Assim sendo, segundo [39, 40] existem 3 técnicas essenciais para avaliação e validação do PDP em relação à capacidade crítica.

- **Planeamento da Capacidade Crítica usando fatores globais, ou *Capacity Planning using Overall Factors (CPOF)*;**

Este método é o mais simplista de todos, porém não reflete o mix de produção do PDP e *lead times* de produção. Necessita de três dados para poder ser calculado, sendo eles o PDP, o tempo padrão para produção de cada produto e dados históricos de utilização de cada máquina.

- **Planeamento da Capacidade Crítica usando Listas de Capacidade, ou *Capacity Planning using Capacity Bills (CPCB)*;**

É um método mais completo, porém não reflete o lead time de produção. A principal diferença face ao CPOF, é que o CPCB calcula a ocupação em cada posto de trabalho baseado na soma dos tempos de cada operação de todos os componentes constituintes do produto final. O CPCB para ser calculado necessita de um PDP, de uma lista de material (*bill of materials* (BOOM)) e de a gama operatória do produto final.

- **Planeamento da Capacidade Crítica por Perfil de Recursos, ou *Capacity Planning by Resource Profile* (CPRP).**

É o método mais completo de todos, porém o mais trabalhoso. A diferença entre o CPRP e o CPCB é que este tem em consideração o *led time* de produção. Para isso é necessária a criação de um gráfico de operações para cada produto final.

## 2.5. Pesquisa Bibliométrica

A pesquisa Bibliométrica do presente documento, vai abordar dois temas, o primeiro é relacionado com o estudo do trabalho, mais concretamente estudo dos tempos e métodos e o segundo é relacionado com o planeamento e controlo da produção. As ferramentas utilizadas nesta análise, envolvem as análises diretas da plataforma *Web Of Science* e análises do software *VosViewer*.

Em relação ao tema da medição do trabalho, foi introduzida a seguinte *query*: ("*time study*" and "*motion study*") or ("*Work Measurement*") or ("*motion time study*") or ("*time standard*" and "*time study*") or ("*Method Time Measurement*" OR "*Predetermined time standards*"), uma vez que estes termos são os mais referenciados na literatura e abrangem grande parte desta área científica, garantindo assim um compromisso entre generalidade e restrição da informação. A Figura 11 demonstra o gráfico de citações e publicações do tema.

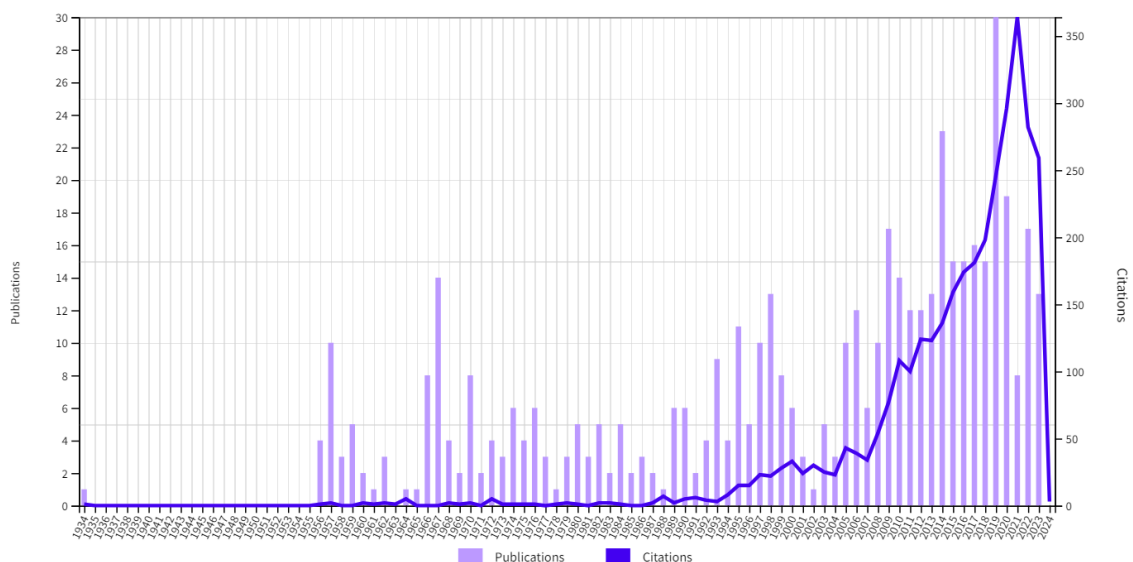


Figura 11 - Gráfico de citações e publicações do Tema 1, [*Web Of Science*].

A partir da *query* introduzida acima é possível perceber que o estudo do movimento e tempo (medição do trabalho), é um tema muito explorado. As primeiras publicações sobre este tema

surgiram nas décadas de 50 e 60. O seu pico de publicações foi no ano de 2019 e o pico de citações no ano de 2021. A Tabela 5 demonstra as áreas de pesquisa mais relevantes, onde se pode ressaltar um grande impacto por parte da área da engenharia e gestão industrial.

Tabela 5 - Número de artigos em cada área de pesquisa relativo ao tema 1, [Web Of Science].

Campo	Contagem	% de 500
Engenharia Industrial	173	34.6%
Investigação Operacional	67	13.4%
Engenharia de Manufatura	64	12.8%
Gestão	52	10.4%
Engenharia Multidisciplinar	31	6.2%

Por fim relativo ao tema 1, Figura 12 demonstra as keywords comumente utilizadas e a sua ligação entre elas. Algumas das mais importantes são: work measurement, productivity, time study, work study.

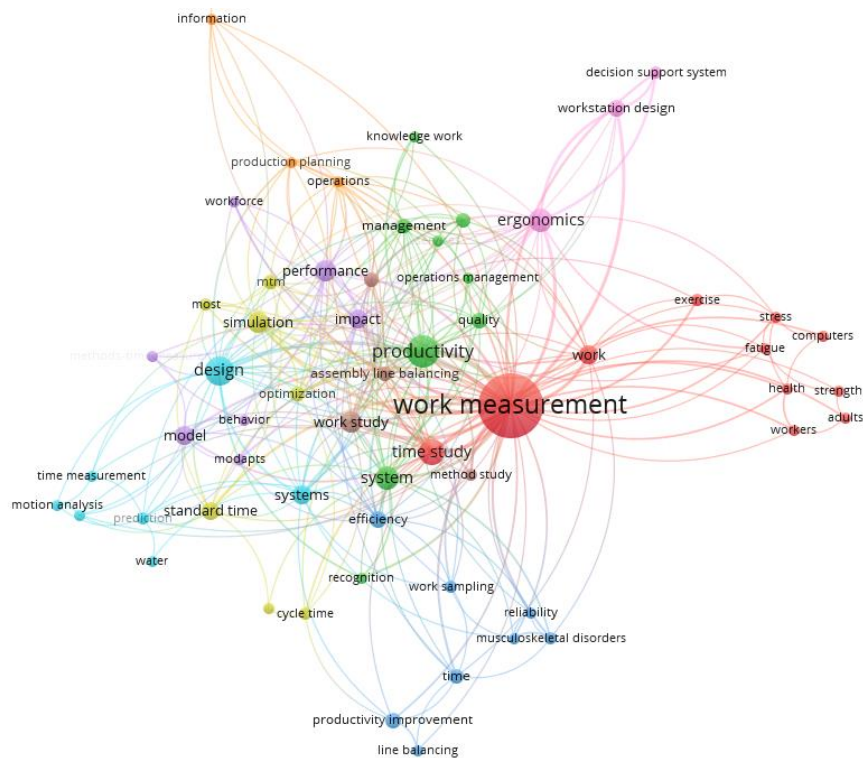


Figura 12 - Análise de cocorrência relativo ao tema 1, [VosViewer].

Em relação ao tema do planeamento e controlo da produção, foi introduzida a seguinte *query*: "Manufacturing Planning and Control System " or ("production planning " and "enterprise resource planning") or "master production scheduling" or "material requirements planning" or ("Rough-Cut Capacity Planning "and "RCCP") or ("TOC" and " OPT"), uma vez que estes termos

são os mais referenciados na literatura, e abrangem os temas mencionados neste documento. A Figura 13 demonstra o gráfico de citações e publicações do tema.

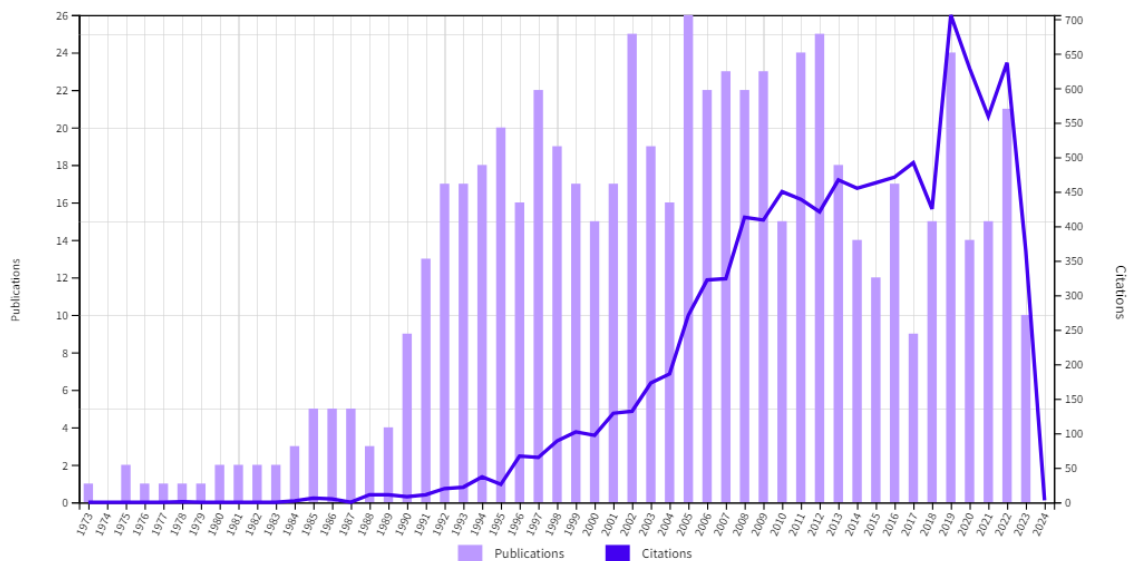


Figura 13 - Gráfico de citações e publicações do Tema 2, [Web Of Science].

A partir da query introduzida acima, é possível entender que o planejamento da produção, é também um tema amplamente estudado. As primeiras publicações sobre este tema surgiram em meados de 1970. O seu pico de publicações foi no ano de 2005 e o pico de citações no ano de 2019. A Tabela 6 demonstra as áreas de pesquisa mais relevantes, onde se pode ressaltar um grande impacto por parte da área da engenharia em gestão industrial, engenharia de manufatura e investigação operacional em ciências de gestão.

Tabela 6 - Número de artigos em cada área de pesquisa relativo ao tema 2, [Web Of Science].

Campo	Contagem	% de 649
Investigação Operacional	332	51.15%
Engenharia Industrial	301	46.37%
Engenharia de Manufatura	273	42%
Gestão	114	17.56%
Ciências Computacionais	88	13.55%

Por fim relativo ao *tema 2*, a Figura 14 demonstra as *keywords* comumente utilizadas e a sua ligação entre elas. Algumas das mais importantes são: *material requirements planning*, *mrp*, *production planning systems* e *master production scheduling*.



e melhorar o desempenho da linha de montagem, reduzindo assim os custos e aumentando a eficiência. Os autores usam o MTM para criar uma análise de tempo de um processo de montagem que foi previamente equilibrado usando o método *Work-Factor* e um estudo de tempo. De seguida, utilizam o software *Simio* para simular diferentes cenários e comparar os resultados antes e depois do reequilíbrio da linha de montagem. O estudo de caso baseia-se numa linha de produção de máquinas de café expresso totalmente automatizadas numa empresa transformadora. Os resultados mostram que a utilização do MTM e da simulação pode ajudar a otimizar a atribuição de tarefas e o fluxo de trabalho da linha de montagem, bem como a identificar as estações de estrangulamento e os efeitos das variáveis no desempenho do sistema. A abordagem proposta pode reduzir o tempo de inatividade em 14,8% e o custo de montagem por produto em 3,6%. O artigo demonstra que a combinação de MTM e simulação é uma ferramenta eficaz para resolver problemas de balanceamento e, assim, melhorar o desempenho das linhas de montagem. Os autores sugerem que a investigação futura pode incluir a abordagem para considerar outros fatores, tais como aspetos ergonómicos, fiabilidade do sistema e tecnologias da Indústria 4.0 [63].

- **An Efficient Production Planning Approach Based Demand Driven MRP Under Resource Constraints**

Os autores abordam o problema do planeamento da produção sob restrições de capacidade e espaço de armazenamento num ambiente volátil de oferta e procura. Propõem um novo modelo que integra o *Demand Driven Material Requirements Planning* (DDMRP) com a Meta-Heurística *Grey Wolf Optimization* (GWO) para otimizar o plano de produção de diferentes tipos de postos de trabalho. Para isso, os autores formulam um modelo matemático que minimiza a taxa de escassez de postos de trabalho e as penalidades por violar as restrições de capacidade e espaço de armazenamento. Utilizam o método DDMRP para calcular as ordens de reabastecimento para cada tipo de posto de trabalho com base na posição do fluxo líquido (*net flow position*-NFP) e as zonas dos *buffers*. Aplicam o algoritmo GWO para ajustar a quantidade de produção planeada para cada tipo de trabalho, de modo a aproximá-la o mais possível da ordem de reabastecimento, satisfazendo simultaneamente as restrições. Por fim, os autores realizam experiências com dois conjuntos de dados de procura de clientes com diferentes níveis de volatilidade, comparam o desempenho da abordagem DDMRP-GWO proposta com o método MRP tradicional e uma abordagem híbrida MRP-GWO. Concluem que a abordagem DDMRP-GWO pode reduzir o nível de inventário, a taxa de escassez, o desvio da utilização da capacidade e melhorar o nível de serviço e a regularidade da produção. Sugerem ainda que futuramente poderão evoluir mais o modelo para considerar cenários mais complexos e comparar a abordagem atual com outros algoritmos meta heurísticos [64].

- **Master Production Scheduling with Consideration of Utilization-Dependent Exhaustion and Capacity Load**

O artigo aborda o problema da integração de aspetos sociais relacionados com os trabalhadores, tais como a intensidade do trabalho e a exaustão, no planeamento do plano diretor de produção. Os autores argumentam que as abordagens existentes negligenciam estes aspetos. Para isso, propõem um modelo de programação que incorpora a intensidade do trabalho e a exaustão como *inputs* do seu *software*. Também modelam os fatores de

capacidade de carga dependentes da exaustão, uma vez que a exaustão leva a perdas de desempenho. O objetivo é minimizar os custos totais de inventário, pessoal, contratação, rotação e turnos. As restrições asseguram a satisfação da procura do cliente, o equilíbrio do inventário, o equilíbrio da capacidade, o equilíbrio dos trabalhadores, os limites do número de trabalhadores e do nível de inventário, a seleção do modelo de turnos e o controlo da intensidade do trabalho. A intensidade de trabalho é representada pela utilização dos empregados, que é o rácio entre a necessidade de capacidade e a capacidade disponível. A exaustão é modelada como uma função da utilização dos trabalhadores, com base nos modelos de fadiga existentes. Os fatores de carga de capacidade dependentes da exaustão são derivados dos fatores de carga de capacidade padrão e do fator de exaustão, traduzindo-se assim no nível de exaustão normalizado. Por fim, os autores concluem que uma menor intensidade de trabalho conduz a uma menor exaustão, a uma maior produtividade dos trabalhadores, a níveis de inventário mais baixos [65].

Na Tabela 7 é possível observar outros artigos relevantes dentro da mesma área científica

Tabela 7 - Outros artigos da mesma área científica

Artigo	Descrição
[66]	Num estudo realizado numa empresa de fabrico de blindados, foi analisada uma sala de ferramentas. Inicialmente, foi criado um plano mestre de produção e planos de capacidade com base em compromissos de entrega. Um estudo de tempos e movimentos revelou um desequilíbrio existente entre a procura e a produção efetiva. Para resolver este problema, foi proposta uma estratégia iterativa de melhoria do sistema, baseada nos princípios <i>lean</i> .
[67]	Face à falta de informação relativa a exigência física dos operadores em determinadas operações, foi desenvolvido um estudo de MTM com o objetivo principal de melhorar a perceção ergonómica, ou seja, fornecer aos engenheiros de produção uma ideia antecipada do grau de ergonomia da produção planeada.
[68]	Os métodos tradicionais de medição do trabalho exigem tempo e esforço significativos dos analistas que observam diretamente as tarefas para medir os tempos necessários. Para solucionar isso, foi desenvolvido um método eficiente que não depende de analistas humanos, através da utilização de técnicas de reconhecimento de voz e de processamento de imagem digital.
[69]	Os autores propõem uma nova arquitetura de <i>hardware/software</i> , designada por <i>Human Fator Analyser (HFA)</i> , para digitalizar e analisar as atividades manuais dos operadores humanos em qualquer local de trabalho industrial.
[70]	É uma abordagem de MTM que utiliza tecnologia de Realidade Virtual para simular tarefas manuais e compará-las com tarefas reais, para combater as análises tradicionais de MTM, que são demorosas.

[71]	Um sistema inteligente de medição do trabalho de costura que utiliza um dispositivo de monitorização de energia baseado na IoT ( <i>Internet of Things</i> ) e um algoritmo de aproximação para medir a corrente elétrica utilizada no trabalho de costura e transmitir os dados para um servidor.
[72]	O artigo apresenta um método baseado em Realidade Virtual para avaliar automaticamente processos de trabalho manuais usando MTM. O documento descreve o algoritmo para detetar ações de corpo inteiro de utilizadores em RV e derivar os valores MTM correspondentes.
[73]	O artigo propõe uma nova abordagem de estimativa de tempo baseada em métodos de <i>Machine Learning (ML)</i> , com a finalidade de obter o tempo padrão para operações manuais.
[74]	O artigo propõe um método que utiliza dados de movimento gerados por ferramentas de realidade virtual para derivar análises MTM-UAS automaticamente. O artigo explica o sistema MTM-UAS, a interface de dados de movimento e o algoritmo de tradução.
[75]	Este artigo analisa a forma como os elementos da Teoria das Restrições (TOC), tais como o Processo de Programação, a Gestão de Projetos da Cadeia Crítica e o Reabastecimento TOC para Distribuição, influenciam as principais dimensões competitivas da estratégia de operações, tais como a velocidade, a entrega atempada, a flexibilidade, o custo e a qualidade.
[76]	Este artigo propõe desenvolver uma <i>framework</i> melhorada de gestão de projetos da cadeia crítica ( <i>Critical Chain Project Management-CCPM</i> ) para a implementação eficaz de projetos de construção, baseado na Teoria das Restrições.
[77]	Este artigo propõe uma estrutura de sistema de alerta de trabalho em processo baseada na comunicação máquina-a-máquina e no controlo de buffer da teoria das restrições. A estrutura permite um controlo de <i>feedback</i> inteligente dos planos de processo e a colaboração com os fornecedores
[78]	O artigo analisa as medidas de desempenho do TOC (Teoria das Restrições) e o modelo " <i>drum-buffer-robe</i> " e utiliza o processo de focalização do TOC como um método de melhoria contínua para a gestão da cadeia de abastecimento do turismo.
[79]	O artigo propõe um sistema de apoio a decisão que integra decisões ótimas sobre o <i>stock</i> de segurança e o tempo de segurança ao nível dos componentes, nos sistemas de planeamento das necessidades de materiais (MRP)
[80]	O artigo propõe desenvolver uma heurística para otimizar os parâmetros de planeamento MRP (tamanho do lote, <i>stock</i> de segurança e <i>lead time</i> )

	planeado) para sistemas de produção estocásticos, com o objetivo de minimizar os custos globais.
[81]	Este artigo centra-se na otimização dos parâmetros do <i>Demand-Driven Material Requirements Planning</i> (DDMRP), tratando-o como um problema de otimização multi-objetivo. O seu objetivo é minimizar o inventário médio disponível e maximizar a entrega atempada aos clientes, por outras palavras, <i>on-time delivery to customers</i> .
[82]	Devido aos novos desafios que o MRP enfrenta, o artigo propõe a construção de um modelo de programação para determinar os tamanhos ótimos dos lotes de todos os itens, satisfazendo simultaneamente as exigências estocásticas e as restrições de capacidade difusas.

### 2.5.2. Caminhos futuros

Em relação ao estudo do trabalho/medição do trabalho, este tem demonstrado fortes capacidades de aumentar a produtividade das empresas, através da melhoria de métodos e estudo dos tempos do trabalho. Com o desenvolvimento da revisão da literatura pode-se concluir que esta área científica contribui muito para a padronização de métodos de trabalho, comparação de métodos e cálculos analíticos de tempo para um determinado trabalho. Através da pesquisa bibliométrica é possível observar que o tema tem sido amplamente investigado, podendo-se considerar um tema consolidado dentro da comunidade científica. Na última década houve um crescimento no número de citações e um número elevado de publicações, de acordo com a Figura 11. No futuro esta área científica irá caminhar para a transformação digital, com auxílio de tecnologias tais como *IoT*, automação, inteligência artificial, entre várias outras, por fim, a poder monitorizar e controlar em tempo real fluxos de informação e dados. Irá também desenvolver metodologias flexíveis e ágeis para a medição do trabalho, integradoras de fatores como saúde mental, ergonomia e carga de trabalho, capazes de vencer os desafios atuais da indústria.

Em relação ao planeamento e controlo da produção, analogamente à medição do trabalho, tem vindo a contribuir para o aumento de produtividade e desenvolvimento das organizações, através da criação de planos eficientes de produção e cálculos das necessidades materiais e humanas. Através da pesquisa bibliométrica é possível observar que esta área científica tem vindo a ser investigada há bastantes anos, tendo bastantes princípios consolidados e aceites pela comunidade científica. O número de citações tem vindo a crescer, de acordo com a Figura 13. No futuro esta área científica irá desenvolver-se de forma a ser capaz de se integrar na indústria 4.0. Por outras palavras, na integração em fábricas inteligentes (*Smart Factories*), onde existe um elevado nível de automatização, robotização, interligação de sistemas, análises de grandes fluxos de informação (*Big Data*) e ML. Irá também desenvolver-se em campos como a produção ágil (*Agile Manufacturing*), permitindo assim às empresas responder rapidamente as necessidades do mercado. Por fim esta área científica irá desenvolver-se no sentido de

aumentar a resiliência das cadeias de abastecimento, focando-se na sustentabilidade e economia circular.

### 3. Desenvolvimento do Trabalho

Neste capítulo, irá ser demonstrado todo o trabalho prático e todo o modo de funcionamento da ferramenta capaz de adequar a capacidade da fábrica à procura do mercado. Por forma compreender-se um pouco sobre o tema, primeiro será feita uma breve introdução a empresa.

#### 3.1. Apresentação da Empresa

Fundada em 1961 no estado de Santa Catarina, localizado no sul do Brasil, a WEG evoluiu para se tornar uma empresa de atuação global. Inicialmente focada na produção de motores elétricos. A WEG atualmente destaca-se como fornecedora global de soluções abrangentes, incluindo sistemas de controle, comando e proteção de motores, bem como sistemas de distribuição e transformação de energia.

Presente em Portugal desde 2002, com uma unidade industrial na Maia, e expandindo-se mais recentemente, em 2017, com uma nova unidade em Santo Tirso, a WEG consolidou-se como uma referência na indústria nacional. No início de 2024, criou o seu polo industrial em Santo Tirso, fazendo assim a junção das duas fábricas, conforme se pode observar na Figura 15. As suas atividades em Portugal abrangem a fabricação de motores elétricos, além do desenvolvimento e implementação de soluções de automação, energia e serviços.

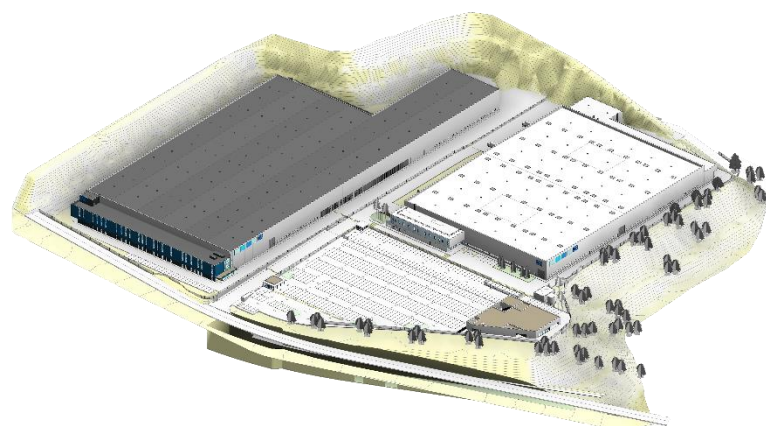


Figura 15 - Polo industrial Wegeuro Santo Tirso

Com capacidades robustas de desenvolvimento, pesquisa e engenharia em território português, a WEG tem experimentado um crescimento sustentável, fortalecendo sua posição como uma plataforma industrial e de serviços com alcance global.

Na Figura 16, é possível observar as Gamas de Motores fabricadas na fábrica 2 da WEG Portugal, estas gamas, tem variadas dimensões e potencias de acordo com a exigência do cliente, desse modo são motores altamente personalizáveis e diferentes. No presente, a gama de motores mais comercializada é a W22X.

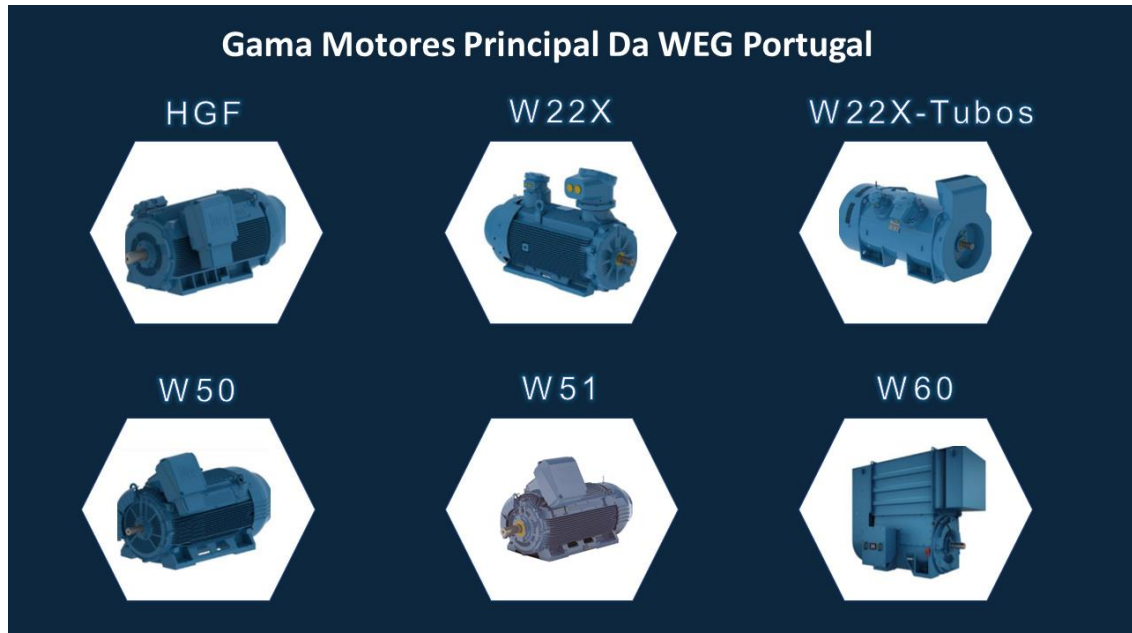


Figura 16 - Gamas Motores WEG Portugal

### 3.2. Metodologia de Desenvolvimento

Devido às limitações temporais e para obter os melhores resultados, inicialmente foi realizado um diagrama de Pareto com o objetivo de identificar quais componentes possuem maior tempo de processamento na seção de maquinagem da fábrica de motores especiais (Santo Tirso 2). Em seguida, o processo de maquinagem desses componentes foi definido e analisado. Posteriormente, desenvolveu-se uma ferramenta em Excel VBA, capaz de calcular os tempos de processamento das peças com base em parâmetros de máquinas CNC. Finalmente, foi desenvolvida uma ferramenta adicional no Power BI, capaz de utilizar esses tempos previamente calculados para demonstrar a carga de trabalho existente na empresa.

### 3.3. Identificação dos componentes mais críticos

Com o auxílio de um ficheiro de desdobramento de custos (*cost deployment*) do ano de 2023, procedeu-se à elaboração de um diagrama de Pareto, por forma a identificar quais os componentes que mais tempo demoram para serem fabricados na secção da maquinagem.

O diagrama é possível ser observado na Figura 17, e podemos identificar que o componente mais crítico são as carcaças, e que 80% da carga de maquinagem está atribuída aos seguintes componentes: carcaças, tampas, anéis fixação interior; caixas de ligação, bases intermédias e anéis de prensar rotores.

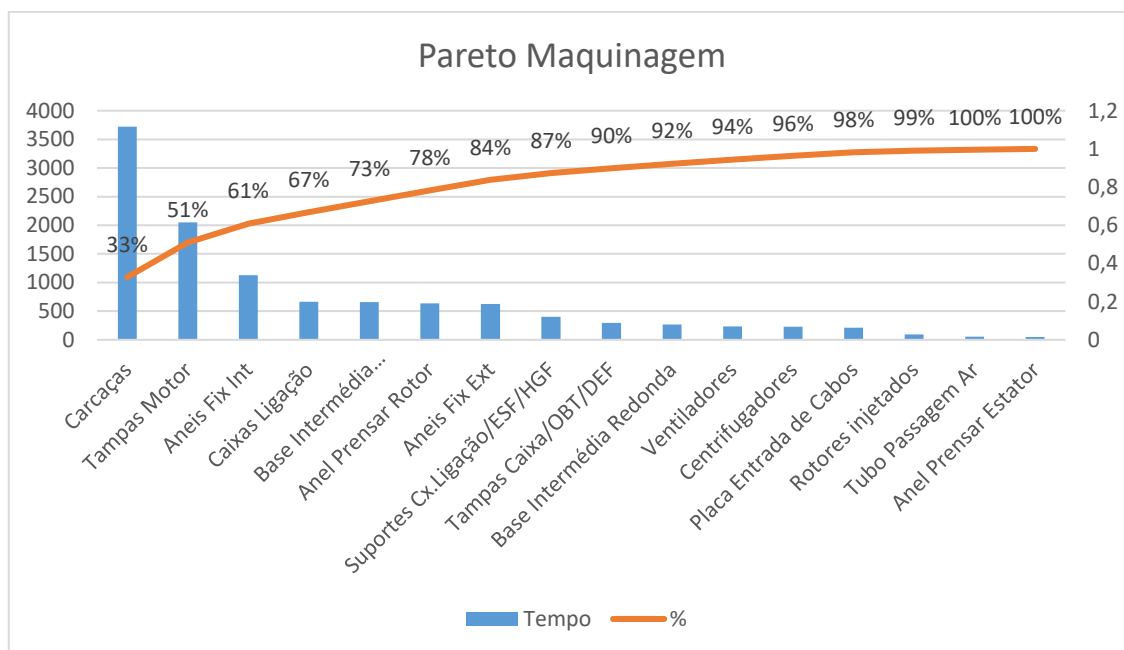


Figura 17 - Diagrama de Pareto da Carga da maquinagem

Dessa forma, inicialmente o objetivo seria começar por desenvolver a ferramenta por essa ordem. Contudo devido à chegada de um equipamento novo no mês anterior ao início da parte prática deste documento, foi solicitado que se desse prioridade às peças fabricadas por essa máquina, pois os tempos que atualmente estavam em uso, eram tempos estimados da máquina antecessora a esta.

Durante o espaço temporal deste documento, foi possível então desenvolver a ferramenta para os seguintes componentes:

- Carcaças
- Caixas de Ligação WTBX
- Rotores Injetados
- Suportes de Ligação esféricos

### 3.4. Diagrama de Processo dos Componentes

Após a identificação dos componentes mais críticos, foi estudado e analisado o seu processo produtivo, por forma a entender em que máquinas estes iriam passar para serem fabricados. Na Figura 18 é apresentado o diagrama de processo.

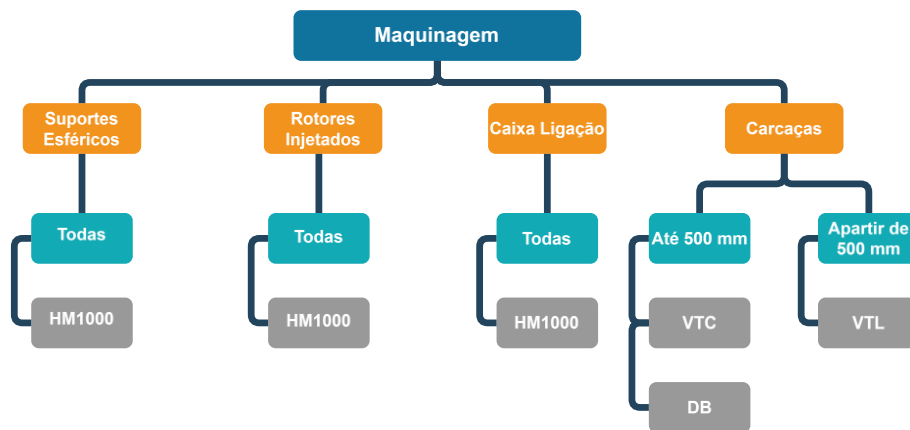


Figura 18 - Diagrama de Processo dos Componentes Críticos

Como é possível observar na Figura 18, o diagrama detalha as máquinas pelas quais os componentes críticos devem passar para serem considerados um produto final. Contudo, nota-se que não há tempos de fabrico associados a cada máquina. Para resolver isso, no subcapítulo seguinte, será introduzida a ferramenta de cálculo de tempos. É importante mencionar que, uma vez que se utilizam parâmetros de máquina para determinar o tempo de fabrico, não seria possível calcular esse tempo sem previamente estudar e identificar as máquinas que compõem o processo de fabrico do produto final.

### 3.5. Ferramenta de cálculo de tempos

Com o objetivo de obter uma maior confiabilidade nos tempos de processo de futuras peças a serem fabricadas, procedeu-se ao desenvolvimento da ferramenta. Na 1ª fase, criou-se uma base de dados, com os parâmetros de cada ferramenta em cada máquina, conforme se pode observar na Tabela 8.

Tabela 8 - Excerto da base de dados dos parâmetros das ferramentas

NºProg	Ferramenta	Medida(m m)	Operação	F-avanço	S- rotação-rot/min	Velocidade Corte - m/min	Designação	Materia l	Máquina 1
16	ACAB_D11R0.4	0,4	Acabamento	0,25		180	Carcaças	Aço/Ferro	VTL
28	ACAB_D15R0.4	0,4	Acabamento	0,25		150	Carcaças	Aço/Ferro	VTL
32	ACAB_QUADRA_D15R0.4	0,4	Acabamento	0,25		180	Carcaças	Aço/Ferro	VTL
1303	Barra	379	Desbaste	100		X	WTBX	Ferro	HM1000
1303	Barra	380	Desbaste	50	500	X	WTBX	Ferro	HM1000
1304	Barra	264	Desbaste	100	250	X	WTBX	Ferro	HM1000
1304	Barra	265	Desbaste	50	500	X	WTBX	Ferro	HM1000
1332	Barra	413	Desbaste	30	300	X	WTBX	Ferro	HM1000
1321	Barra	379	Desbaste	30	150	X	WTBX	Aço	HM1000
1322	Barra	264	Desbaste	80	133	X	WTBX	Aço	HM1000
1536	Barra	380	Desbaste	15	84	X	WTBX	Aço	HM1000
1536	Barra	265	Desbaste	15	120	X	WTBX	Aço	HM1000
1536	Barra	170	Desbaste	15	120	X	WTBX	Aço	HM1000

Uma vez obtidos os parâmetros de ferramenta, é preciso identificar as estratégias de maquinagem, por outras palavras, todas as operações para maquinar uma peça na sua totalidade. Uma vez identificadas essas operações, é possível extrair os perímetros de cada peça através das suas dimensões (cotas). Assim sendo, numa 2ª fase procedeu-se a criação de um software em VBA, capaz de compilar essa informação, por forma a ser possível obter o tempo de cada operação. A Equação (7) demonstra o princípio base do cálculo que suporta o software em VBA para máquinas consideradas centros de maquinagem, onde:

- **Distância:** Corresponde a distância a percorrer pela ferramenta em milímetros.
- **Avanço da ferramenta:** Corresponde ao parâmetro de máquina, ou seja, quantos milímetros vai avançar a ferramenta por minuto.
- **Nº de Passagens:** Corresponde ao número de vezes que a ferramenta de corte, tem de percorrer um determinado percurso.

A Equação (8) demonstra o princípio base do cálculo que suporta o *software* em VBA para máquinas consideradas tornos verticais, onde falta apenas acrescentar face à equação (7), o limite de rotação.

- **Limite de rotação:** Corresponde ao limite máximo imposto pelo programador cnc da rotação da máquina.

$$\text{Tempo} = \frac{\text{distância} * \text{N}^{\circ} \text{ de Passagens}}{\text{Avanço da ferramenta}} \quad (7)$$

$$\text{Tempo} = \frac{\text{distância} * \text{N}^{\circ} \text{ de Passagens}}{\frac{\text{Avanço da ferramenta}}{\text{Limite de rotação}}} \quad (8)$$

Na Figura 19, apresenta-se a página inicial da ferramenta de cálculo, destacando-se dois elementos principais. O primeiro é o botão de "start", que direciona o utilizador para o menu principal (Figura 20). O segundo elemento é um ícone representado por um livro preto com borda azul, que está associado a um sistema de *login*. Este sistema de *login* é responsável por desbloquear as demais folhas do Excel, onde são armazenados dados como tempos de *setup* e parâmetros de ferramentas, entre outros. Desta forma, apenas alguns utilizadores têm permissão para modificar parâmetros e valores dentro do software/arquivo de cálculo. Ademais, cada vez que um utilizador desbloqueia as folhas de cálculo, sua entrada é registada e identificada com o nome do computador utilizado.

Figura 19 - Folha Inicial do *software*

Na página inicial, pode-se observar as peças que podem ser calculadas, tomando em consideração que como referido anteriormente, até à data de conclusão deste documento só foi possível desenvolver o *software* para as caixas de ligação WTBX, suportes esféricos, carcaças e rotores injetados.

Figura 20 - Página inicial do *software*

Ao selecionar, por exemplo, as caixas de ligação WTB, será exibido um formulário conforme ilustrado na Figura 21. Neste formulário, o utilizador deve preencher os campos de acordo com as características da peça e o desenho técnico fornecido. Se algum campo crucial para o cálculo não for preenchido ou se for inserida uma dimensão para a qual não existe ferramenta na base de dados, o programa emitirá uma mensagem de aviso.

Figura 21 - Formulário de Caixas de Ligação WTBX

No caso de o utilizador possuir alguma dúvida no preenchimento dos campos, este poderá consultar um guia de identificação dos locais e respetivas cotas dimensionais, conforme a Figura 22.

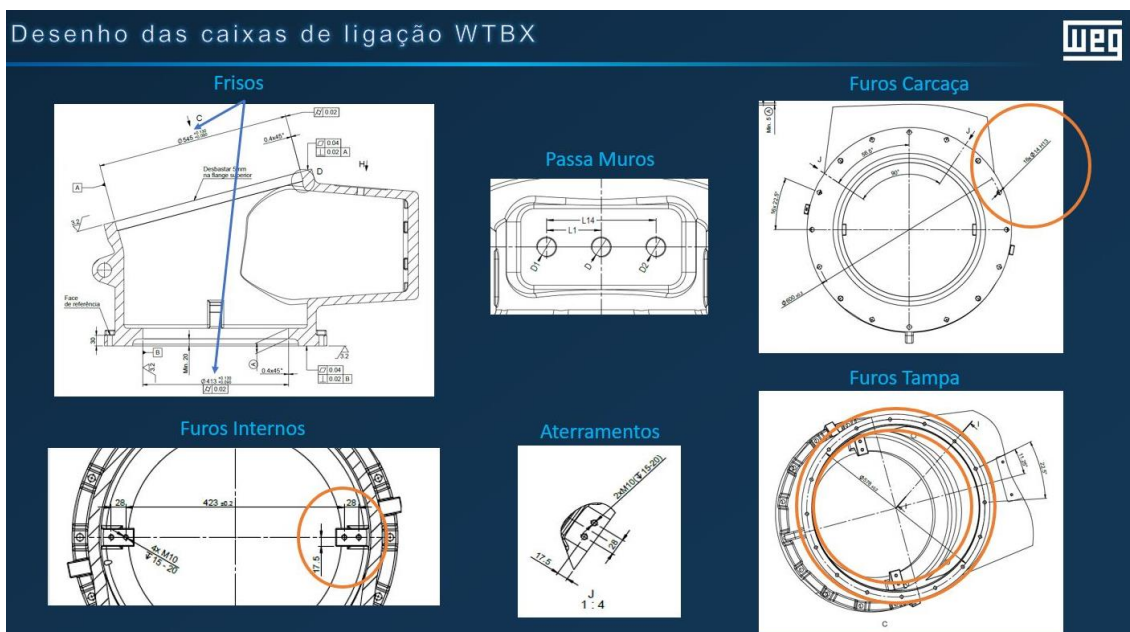


Figura 22 - Formulário de cotas dimensionais das Caixas de Ligação WTBX

Para simplificar e agilizar o processo de preenchimento do formulário, o tempo de todas as operações fixas, cujas dimensões não variam, está previamente calculado em folhas de Excel (“Perímetros” e “Cronometragens carcaças”). Ao executar os comandos de cálculo do formulário VBA, esses valores de tempo são importados automaticamente. As operações cujas dimensões podem variar conforme os pedidos dos clientes, como furos em tampas e carcaças, devem ser preenchidas pelo utilizador de acordo com o desenho técnico fornecido na referência SAP do respetivo componente. Importante destacar que o tempo de troca de ferramentas e o tempo de medição de tolerâncias foram cronometrados e incorporados ao código.

Após a inserção de todos os dados e a realização do cálculo, o utilizador deve apenas clicar no botão representado por uma disquete para salvar os cálculos em uma folha de Excel denominada "Roteiro WTBX". Nesta folha, os resultados dos cálculos são apresentados em um *layout* pré-definido para cada componente ou peça. Diversos *scripts* SAP estão associados a esta folha, os quais irão criar automaticamente o roteiro e inserir os valores previamente calculados. Para tanto, o operador precisa apenas introduzir a referência SAP do componente e clicar no ícone com borda azul, conforme ilustrado na Figura 23 .

Roteiros											Caixas Ligação WTBX		WEG		Registo SAP	
OP	CENTRO TRABALHO	CENTRO	CHAVE CONTROLO	CHAVE MODELO	DESCRIÇÃO CHAVE MODELO	TSM	TSH	TM	TH		Inserir Nº					
0180	10026042	4102	ZPP9	WPT3139	FRESAR E FURAR LADO 1	45	MIN	45	MIN	31,157	MIN	31,157	MIN	13984127		
0200	10026042	4102	ZPP9	WPT3140	FRESAR E FURAR LADO 2	35	MIN	35	MIN	19,807	MIN	19,807	MIN			
0220	10026061	4102	ZPP9	WPT3021	FURAR E/OU ROSCAR CAIXA	8	MIN	8	MIN	10,000	MIN	10,000	MIN			
3500	10026145	4102	PP03	WPT9999	VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE	1	MIN	0,001	MIN	1,000	MIN	45	MIN			
Caixas Ligação WTBX C/Ensaio Pressão											17688807					
OP	CENTRO TRABALHO	CENTRO	CHAVE CONTROLO	CHAVE MODELO	DESCRIÇÃO CHAVE MODELO	TSM	TSH	TM	TH							
180	10026042	4102	ZPP9	WPT3139	FRESAR E FURAR LADO 1	45,000	MIN	45,000	MIN	31,157	MIN	31,157	MIN			
200	10026042	4102	ZPP9	WPT3140	FRESAR E FURAR LADO 2	35,000	MIN	35,000	MIN	19,807	MIN	19,807	MIN			
220	10026061	4102	ZPP9	WPT3021	FURAR E/OU ROSCAR CAIXA	8,000	MIN	8,000	MIN	18	MIN	18	MIN			
260	10026127	4102	PP03	WPT3013	ONTAR/ENSAIAR PRESSÃO/DESM	20,000	MIN	20,000	MIN	30,000	MIN	30,000	MIN			
Suportes Ligação Esféricos																
OP	CENTRO TRABALHO	CENTRO	CHAVE CONTROLO	CHAVE MODELO	DESCRIÇÃO CHAVE MODELO	TSM	TSH	TM	TH							
0180	10026042	4102	ZPP9	WPT3139	FRESAR E FURAR LADO 1	0	MIN	0	MIN	0	MIN	0	MIN			
190	10026042	4102	ZPP9	WPT3140	FRESAR E FURAR LADO 2	0	MIN	0	MIN	0	MIN	0	MIN			
3500	10026145	4102	PP03	WPT9999	VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE			0,001	MIN			45	MIN			
Rotores Injetados																
OP	CENTRO TRABALHO	CENTRO	CHAVE CONTROLO	CHAVE MODELO	DESCRIÇÃO CHAVE MODELO	TSM	TSH	TM	TH							
0010	10026046	4102	ZPP9	WPT3098	MAQUINAR PINOS E PENAS	10	MIN	10	MIN	56,4	MIN	45	MIN			
19	10026033	4102	ZPP9	WPT2052	SOLDAR ANÉIS DE ALUMÍNIO	5	MIN	5	MIN	20	MIN	20	MIN			
30	10026046	4102	ZPP9	WPT3063	MAQUINAR ANEL	15	MIN	15	MIN	20	MIN	20	MIN			
699	10020501	4102	ZPP9	WPT2057	LIMPAR	0,01	MIN	0,01	MIN	15	MIN	15	MIN			
3500	10026148	4102	PP03	WPT9999	VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE			0,001	MIN			30	MIN			

Figura 23 - Layout de Roteiros

Todas as outras peças funcionam de maneira idêntica às Caixas de Ligação WTBX, esta foi utilizada apenas para ilustrar o modo de operação. É importante salientar que os cálculos realizados pelo software em VBA foram validados por meio de cronometragens realizadas em conjunto com o responsável no local pelos processos industriais.

### 3.5.1. Estudo de métodos e Tempos

Devido à recente mudança de uma máquina no setor da maquinagem da fábrica 2 de Santo Tirso, havia alguma incerteza nos tempos de operação manual das caixas wtbx. Por forma a ganhar confiabilidade e fiabilidade nesses tempos, fez-se um estudo de métodos e tempos por forma a avaliar o tempo de operação manual incluindo o *setup* dessas caixas. Para o tema deste trabalho, não era importante estudar todos os movimentos realizados e os seus respetivos tempos, mas sim o tempo total de operação. Desse modo o foco incidiu sobre isso. A Tabela 9, a Tabela 10 e a Tabela 11 demonstram as cronometragens obtidas e o respetivo tempo normal.

Tabela 9 - Tempo Normal da operação Montagem da caixa no suporte

Caixas	WTBX-S			WTBX-M			WTBX-L		
Tarefa	Montagem da caixa no suporte								
Ciclo	Tempo (min)	Ritmo (%)	Tempo Normal	Tempo (min)	Ritmo (%)	Tempo Normal	Tempo (min)	Ritmo (%)	Tempo Normal
1	28.23	110	31.05	34.71	100	34.71	43.9	100	43.90
2	34.00	90	30.60	33.60	100	33.60	42.8	110	47.08
3	34.01	90	30.60	35.20	90	31.68	44.5	100	44.50
4	32.67	100	32.67	33.90	100	33.90	44.7	100	44.70
5	32.95	100	32.95	32.50	110	35.75	48.2	90	43.38

Tabela 10 - Tempo Normal da operação Preparação Programa CNC

Caixas	WTBX-S			WTBX-M			WTBX-L		
Tarefa	Preparação Programa CNC								
Ciclo	Tempo (min)	Ritmo (%)	Tempo Normal	Tempo (min)	Ritmo (%)	Tempo Normal	Tempo (min)	Ritmo (%)	Tempo Normal
1	8.12	100	8.12	9.02	100	9.02	9.30	100	9.30
2	7.35	110	8.08	8.55	90	7.69	8.21	100	8.21
3	6.99	115	8.03	10.23	80	8.18	7.60	100	7.60
4	8.71	100	8.71	9.15	90	8.23	8.70	110	9.57
5	8.35	100	8.35	8.20	100	8.20	9.40	100	9.40

Tabela 11 - Tempo Normal da operação Desmontagem da caixa no suporte

Caixas	WTBX-S			WTBX-M			WTBX-L		
Tarefa	Desmontagem da caixa no suporte								
Ciclo	Tempo (min)	Ritmo (%)	Tempo Normal	Tempo (min)	Ritmo (%)	Tempo Normal	Tempo (min)	Ritmo (%)	Tempo Normal
1	29.43	100	29.43	36.70	100	36.70	40.70	100	40.70
2	30.05	90	27.04	36.01	100	36.01	39.90	110	43.89
3	28.45	100	28.45	38.40	90	34.56	42.30	100	42.30
4	31.40	90	28.26	35.40	100	35.40	42.70	100	42.70
5	27.80	105	29.19	37.85	90	34.06	44.90	90	40.41

Uma vez obtido o tempo normal da operação (TN), é possível então obter o tempo padrão de cada operação. Na empresa, o fator de concessão também conhecido como folga atribuída, corresponde a 5% do tempo normal. A Tabela 12, a Tabela 13, e a Tabela 14 demonstram os resultados obtidos.

Tabela 12 - Tempo Padrão da operação Montagem da caixa no suporte (minutos).

Caixas		WTBX-S			WTBX-M			WTBX-L		
Tarefa	Montagem da caixa no suporte									
Ciclo	TN	Folga	Tempo Padrão	TN	Folga	Tempo Padrão	TN	Folga	Tempo Padrão	
1	31.05	5.00%	32.60	34.71	5.00%	36.44	43.90	5.00%	46.09	
2	30.60	5.00%	32.13	33.60	5.00%	35.28	47.08	5.00%	49.43	
3	30.60	5.00%	32.13	31.68	5.00%	33.26	44.50	5.00%	46.72	
4	32.67	5.00%	34.30	33.90	5.00%	35.59	44.70	5.00%	47.00	
5	32.95	5.00%	34.59	35.75	5.00%	37.53	43.38	5.00%	45.65	

Tabela 13 - Tempo Padrão da operação Preparação Programa CNC (minutos).

Caixas		WTBX-S			WTBX-M			WTBX-L		
Tarefa	Preparação Programa CNC									
Ciclo	TN	Folga	Tempo Padrão	TN	Folga	Tempo Padrão	TN	Folga	Tempo Padrão	
1	8.12	5.00%	8.52	9.02	5.00%	9.47	9.30	5.00%	9.76	
2	8.08	5.00%	8.48	7.69	5.00%	8.07	8.21	5.00%	8.62	
3	8.03	5.00%	8.43	8.18	5.00%	8.58	7.60	5.00%	7.98	
4	8.71	5.00%	9.14	8.23	5.00%	8.62	9.57	5.00%	10.04	
5	8.35	5.00%	8.76	8.20	5.00%	8.61	9.40	5.00%	9.87	

Tabela 14 - Tempo Padrão da operação Desmontagem da caixa no suporte (minutos).

Caixas	WTBX-S			WTBX-M			WTBX-L		
Tarefa	Desmontagem da caixa no suporte								
Ciclo	TN	Folga	Tempo Padrão	TN	Folga	Tempo Padrão	TN	Folga	Tempo Padrão
1	29.43	5.00%	30.90	36.70	5.00%	38.53	40.70	5.00%	42.73
2	27.04	5.00%	28.39	36.01	5.00%	37.81	43.89	5.00%	46.08
3	28.45	5.00%	29.87	34.56	5.00%	36.28	42.30	5.00%	44.41
4	28.26	5.00%	29.67	35.40	5.00%	37.17	42.70	5.00%	44.83
5	29.19	5.00%	30.64	34.06	5.00%	35.76	40.41	5.00%	42.43

Finalmente, procedeu-se à validação da suficiência do número de amostras/ciclos realizados, conforme estabelecido pela Equação (3). Caso o número de amostras coletadas fosse superior ao valor determinado pela referida equação, considerou-se que o critério de amostragem havia sido atendido. O nível de confiança requerido foi de 90%, com um erro máximo de 5%. A Tabela 15, a Tabela 16 e a Tabela 17 demonstram os resultados obtidos.

Tabela 15- Verificação do Nº de observações mínimo na operação de Montagem da caixa no suporte

Montagem da caixa no suporte					
WTBX-S		WTBX-M		WTBX-L	
Média (min)	33.15	Média	35.62	Média	44.71
Desvio Padrão	1.075	Desvio Padrão	1.415	Desvio Padrão	1.314
Nº observações mínimas	1	Nº observações mínimas	1	Nº observações mínimas	1
Nº observações realizadas	5	Nº observações realizadas	5	Nº observações realizadas	5

Tabela 16 - Verificação do Nº de observações mínimo na operação da Preparação Programa CNC

Preparação Programa CNC					
WTBX-S		WTBX-M		WTBX-L	
Média (min)	8.66	Média	8.67	Média	9.25
Desvio Padrão	0.263	Desvio Padrão	0.619	Desvio Padrão	0.81
Nº observações mínimas	1	Nº observações mínimas	1	Nº observações mínimas	1
Nº observações realizadas	5	Nº observações realizadas	5	Nº observações realizadas	5

Tabela 17 - Verificação do Nº de observações mínimo na operação de Desmontagem da caixa no suporte

Desmontagem da caixa no suporte					
WTBX-S		WTBX-M		WTBX-L	
Média (min)	29.89	Média	37.11	Média	44.09
Desvio Padrão	0.881	Desvio Padrão	1.002	Desvio Padrão	1.358
Nº observações mínimas	1	Nº observações mínimas	1	Nº observações mínimas	1
Nº observações realizadas	5	Nº observações realizadas	5	Nº observações realizadas	5

Dado que o desvio padrão de cada operação é extremamente baixo, a quantidade mínima necessária de observações para cada operação é de uma. Considerando que foram realizadas cinco observações, não há necessidade de coletar mais amostras para validar o tempo padrão final.

### 3.6. Ferramenta de Controlo de Cargas

Uma vez que a fábrica 2 de Santo Tirso produz motores especiais e personalizados, não existe uma rotina padronizada na produção. Por outras palavras, todos os dias é preciso fazer adaptações no sistema produtivo, por isso, o sequenciamento da produção é feito manualmente por um colaborador. O principal objetivo desta ferramenta é conseguir simplificar e aumentar a eficiência do setor da produção, mais concretamente a sequenciação da produção, através da visualização da carga que resulta do planeamento e controlo da produção (PCP) e respetivos atrasos. Dessa forma espera-se que o operador tenha uma maior facilidade em visualizar tudo num único lugar e conseguir realizar os ajustes anteriormente mencionados.

A ferramenta de controlo de cargas, consiste em criar uma *dashboard* em PowerBI (Figura 24) e trabalhar os dados existentes em SAP, bem como os tempos de fabrico de componentes, anteriormente calculados e importados para o SAP. Para isso, todos os dias às 7h30 da manhã são automaticamente exportadas do SAP para o PowerBI a carga de trabalho programada pelo planeamento e controlo da produção (PCP) e os atrasos do 2º turno do dia anterior. Às 15h30 são também automaticamente exportados os atrasos do 1º turno, por forma a auxiliar o 2º turno.

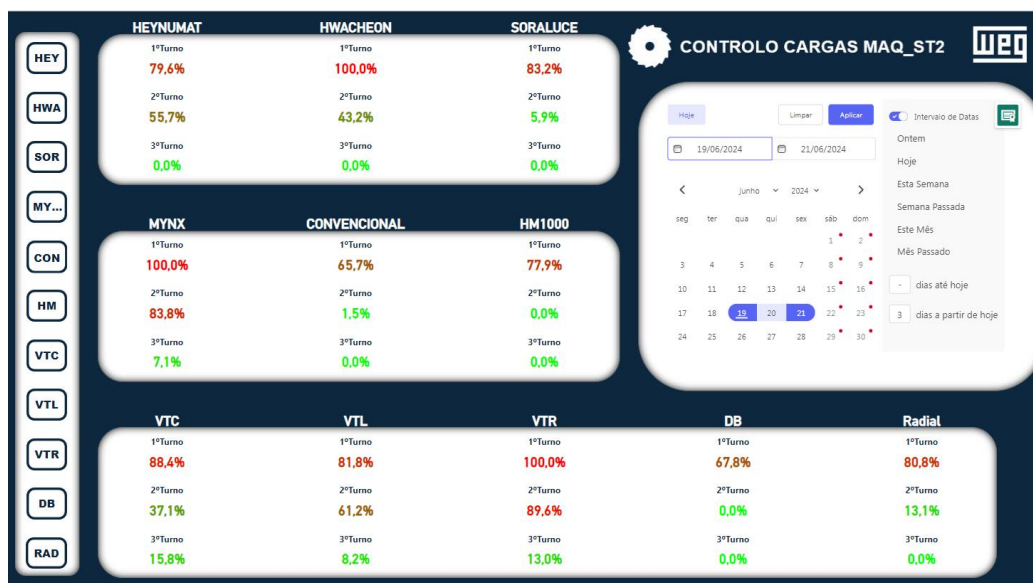


Figura 24 - Dashboard controlo de cargas

Na *Dashboard* inicial (Figura 24), observa-se num aspeto geral a carga existente nas 11 máquinas do setor da maquinagem da fábrica de Santo Tirso 2. Para além disso, é possível observar uma coluna com as siglas das máquinas. Ao clicar em cada sigla, o utilizador é direcionado para uma página (Figura 25) onde é possível obter uma informação mais pormenorizada sobre os componentes que precisam de ser realizados no espaço temporal previamente selecionado e os respetivos atrasos da produção.

Na Figura 25 é possível observar dois dados principais. Primeiramente o operador consegue visualizar os atrasos, para isso este deve filtrar o campo “Dt.Mot.Atr” para o dia anterior caso seja no 1º turno, para o 2º turno o operador deverá filtrar para o dia corrente.

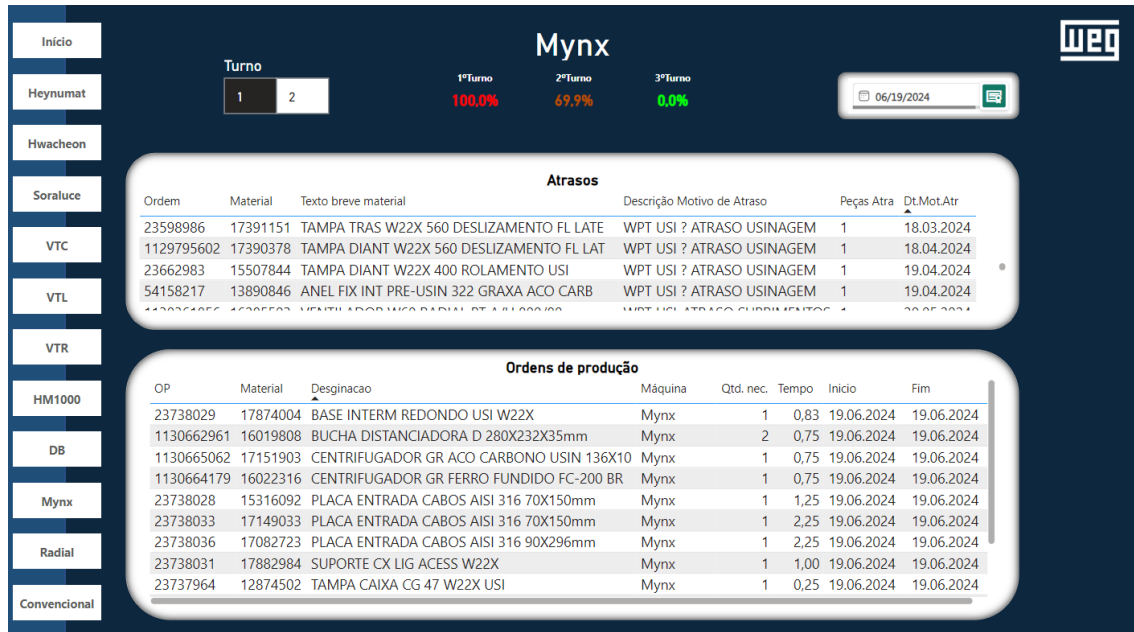


Figura 25 - Visualização detalhada da máquina Mynx

Ambas as páginas do Power BI incluem um calendário, conforme a Figura 26. Este calendário permite ao usuário selecionar os dias que deseja visualizar, além de oferecer atalhos para períodos predefinidos, como a semana seguinte e a semana anterior, entre outros. Por padrão, o calendário estará sempre atualizado para o dia corrente.

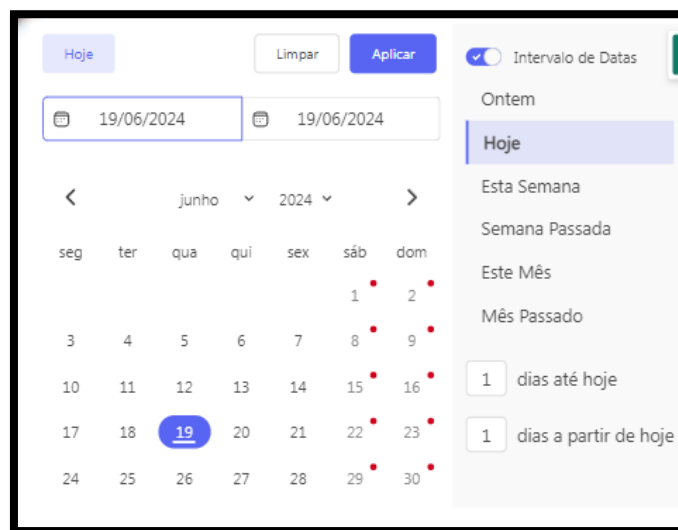


Figura 26 - Calendário do Power

## 4. Demonstração de Resultados

Com o desenvolvimento desta ferramenta, observaram-se diversas melhorias na empresa, incluindo: aumento da eficiência na criação de diagramas de processo, melhoramento da fiabilidade e confiabilidade dos tempos, e incremento da eficiência no sequenciamento da produção. No que se refere aos diagramas de processo, a Tabela 18 apresenta uma comparação entre os tempos antigos e os novos, resultantes da análise.

Tabela 18 - Tempos de criação de diagramas de processo

Ação	Tempo Antigo(min)	Tempo Novo(min)
Atribuição do Roteiro	6.00	0.68
Análise do Roteiro	10.00	8.00

Conforme evidenciado na Tabela 18, observa-se uma notável redução de tempo, especificamente 7.32 minutos em cada criação de roteiro. Em média, são criados diariamente sete novos diagramas de processo no setor da maquinagem de Santo Tirso 2. Dessa forma, a utilização desta ferramenta resulta em um ganho potencial de 51.24 minutos por dia. Conseqüentemente, o colaborador poderá ser alocado para a realização de outras tarefas.

Outro ganho associado aos diagramas de processo relaciona-se à redução de roteiros incorretos devido a tempos errados. Em um ano, no setor de maquinagem de Santo Tirso 2, são realizados em média 1800 roteiros, dos quais aproximadamente 250 são sinalizados por erros de tempos. Por outras palavras, 16.67% dos roteiros tem erros na atribuição do tempo de processo. Com a utilização desta nova ferramenta, pretende-se reduzir esses valores para zero, eliminando assim o tempo perdido em retrabalho e os erros de tempos, deixando apenas a possibilidade de erro humano no preenchimento de dados.

Em relação a ferramenta no PowerBi esta permite e permitiu visualizar elementos importantes para o sequenciamento da produção em um único local, observou-se uma dinâmica muito mais ágil na decisão de agrupamento de peças e sequenciamento de ordens de produção.

#### 4.1. Melhorias Futuras

No futuro, diversas melhorias podem ser implementadas para aprimorar a eficácia das ferramentas desenvolvidas. Entre as principais estão:

- Ampliar o Tipo de Componentes que a Ferramenta em VBA Consegue Calcular: Expandir a capacidade da ferramenta em VBA para incluir uma gama mais ampla de componentes.
- Melhorar e Desenvolver Continuamente o Software em Power BI: Continuar a melhorar o *software* em Power BI de acordo com as necessidades da empresa. Isso inclui a integração de novas fontes de dados, o aprimoramento de *dashboards* e a criação de novos relatórios personalizados, o que aumentará a capacidade da empresa de analisar dados em tempo real e facilitará uma tomada de decisão.
- Incorporar a Criação Automática de Fluxogramas na Ferramenta em VBA: Automatizar a criação de fluxogramas de processos na ferramenta em VBA economizará tempo e garantirá maior precisão e consistência. Essa melhoria facilitará a documentação e a comunicação de processos, melhorando a eficiência organizacional.

As melhorias propostas visam adaptar e expandir as capacidades das ferramentas desenvolvidas, garantindo que elas permaneçam relevantes e eficazes, contribuindo para o sucesso contínuo da empresa.

## 5. Conclusão

A presente tese abordou a implementação de uma metodologia de desenvolvimento focada na construção de uma ferramenta de cálculo de tempos de processo na fábrica de motores especiais de Santo Tirso 2. Para alcançar este objetivo, foram utilizados diversos métodos analíticos e ferramentas computacionais, que permitiram identificar os componentes mais críticos, calcular tempos de processamento com maior precisão e visualizar a carga de trabalho de forma eficiente.

Primeiramente, a utilização do diagrama de Pareto foi fundamental para identificar os componentes que tinham mais impacto no tempo de maquinagem, destacando-se as carcaças, tampas, anéis de fixação interior, caixas de ligação, bases intermédias e anéis de prensar rotores. Esta identificação orientou o desenvolvimento subsequente das ferramentas analíticas.

A criação da ferramenta em Excel VBA permitiu calcular os tempos de processamento dos componentes críticos de maneira precisa, baseando-se nos parâmetros das máquinas CNC. Essa precisão é essencial para garantir a eficiência na produção e minimizar erros. Além disso, a ferramenta de controle de cargas desenvolvida no Power BI proporcionou uma visualização centralizada e dinâmica da carga de trabalho, facilitando o sequenciamento e a gestão da produção.

Os resultados demonstram melhorias significativas na eficiência operacional. A implementação da ferramenta reduziu consideravelmente o tempo necessário para a criação de roteiros de processo, proporcionando um ganho diário de aproximadamente 51,24 minutos, que pode ser alocado para outras tarefas produtivas. Além disso, a redução de erros nos roteiros de processo tem o potencial de eliminar retrabalho e aumentar a precisão dos tempos de processamento.

Adicionalmente, a ferramenta no Power BI melhorou a visualização e o controle da produção, permitindo decisões mais ágeis e informadas no agrupamento de peças e sequenciamento de ordens de produção. Essas melhorias resultam em uma operação mais fluida e eficiente, crucial para a produção de motores especiais e personalizados.

Em resumo, a metodologia desenvolvida neste documento não só melhorou significativamente a precisão e a eficiência dos processos na fábrica de Santo Tirso 2, mas também estabeleceu uma base sólida para futuras melhorias e adaptações conforme as necessidades produtivas evoluam. A continuidade e expansão deste trabalho podem levar a ganhos ainda maiores em termos de eficiência e produtividade, beneficiando amplamente a operação industrial.



## Referências

- [1] Mark N.K. Saunders, Philip Lewis, and Adrian Thornhill, *Research Methods for Business Students*, 8th ed. Pearson, 2020.
- [2] A. Melnikovas, "Towards an explicit research methodology: Adapting research onion model for futures studies," *Journal of Futures Studies*, vol. 23, no. 2, pp. 29–44, 2018, doi: 10.6531/JFS.201812\_23(2).0003.
- [3] M. R. W. Hiebl, "Sample Selection in Systematic Literature Reviews of Management Research," *Organizational Research Methods*, vol. 26, no. 2. SAGE Publications Inc., pp. 229–261, Apr. 01, 2023. doi: 10.1177/1094428120986851.
- [4] C. Duran, A. Cetindere, and Y. E. Aksu, "Productivity Improvement by Work and Time Study Technique for Earth Energy-glass Manufacturing Company," *Procedia Economics and Finance*, vol. 26, pp. 109–113, 2015, doi: 10.1016/s2212-5671(15)00887-4.
- [5] M. A. Moktadir, S. Ahmed, F. Tuj Zohra, and R. Sultana, "Productivity Improvement by Work Study Technique: A Case on Leather Products Industry of Bangladesh," *Industrial Engineering & Management*, vol. 06, no. 01, 2017, doi: 10.4172/2169-0316.1000207.
- [6] M. B. Patel, H. R. Thakkar, and M. R. Santosh, "Reducing Manufacturing Cycle Time of Milk Tanks by Work Study Technique in Small Scale Fabrication Industry," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO)*, vol. 3297, 2007, doi: 10.15680/IJRSET.2015.0412163.
- [7] George. Kanawaty and International Labour Office., *Introduction to work study*. International Labour Office, 1992.
- [8] M. Sujay Biswas, A. Chakraborty, and M. N. Bhowmik, "Improving Productivity Using Work Study Technique," *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences (IJREAS)journals.php*, vol. 6, 2016, [Online]. Available: <http://euroasiapub.org/>
- [9] P. Vidyut and C. Assistant, "AN EFFORT TO APPLY WORK AND TIME STUDY TECHNIQUES IN A MANUFACTURING UNIT FOR ENHANCING PRODUCTIVITY," 2007. [Online]. Available: [www.ijirset.com](http://www.ijirset.com)
- [10] M. Tapiwa, M. Kumbirayi, and C. Tauyanashe, "The use of Work Study Techniques in Optimizing Manufacturing Plant Maintenance Processes: an Investigation into a Fertilizer Manufacturing Company in Zimbabwe," 2013. [Online]. Available: [www.ijsr.net](http://www.ijsr.net)
- [11] F. E. Meyers and J. R. Stewart, *Motion and Time Study for Lean Manufacturing*. 2002.
- [12] A. I. Pratiwi *et al.*, "DEVELOPMENT OF OPERATION PROCESS CHART AND ANALYSIS OF INVENTORY CONTROL BASED ON MATERIAL REQUIREMENT PLANNING IN ASSEMBLY LINE," *JIEHIS*, vol. 1, no. 1, 2020.
- [13] L. Czégé, "Process analysis and optimization."
- [14] S. A. Abbasian-Hosseini, A. Nikakhtar, and P. Ghoddousi, "Verification of lean construction benefits through simulation modeling: A case study of bricklaying process," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 18, no. 5, pp. 1248–1260, 2014, doi: 10.1007/s12205-014-0305-9.
- [15] B. Luca *et al.*, "Lean approach to improving performance and efficiency in a nuclear medicine department," *Clinical and Translational Imaging*, vol. 9, no. 2. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 129–139, Apr. 01, 2021. doi: 10.1007/s40336-021-00418-z.
- [16] R. Ramaswamy, C. Rothschild, F. Alabi, E. Wachira, F. Muigai, and N. Pearson, "Using Value Stream Mapping to improve quality of care in low-resource facility settings," *International Journal for Quality in Health Care*, vol. 29, no. 7, pp. 961–965, Nov. 2017, doi: 10.1093/intqhc/mzx142.

- [17] S. Wang, J. Tang, Y. Zou, and Q. Zhou, "Research on production process optimization of precast concrete component factory based on value stream mapping," *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, no. 4, pp. 850–871, Apr. 2020, doi: 10.1108/ECAM-10-2018-0455.
- [18] Mike Rother and John Shook, *Learning to See*. Lean Enterprise Institute, Inc., 1999.
- [19] Mário António Vaz Ribeiro, "Análise do Value Stream Mapping na Produção de Pás Eólicas: o caso Riablades," Universidade de Aveiro, 2012.
- [20] N. Yusoff, A. Jaffar, N. M. Abbas, and N. H. Saad, "Work measurement for process improvement in the car seat polyurethane injection manufacturing line," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2012, pp. 1800–1805. doi: 10.1016/j.proeng.2012.07.386.
- [21] S. Seifermann, J. Böllhoff, J. Metternich, and A. Bellaghnach, "Evaluation of work measurement concepts for a cellular manufacturing reference line to enable low cost automation for lean machining," in *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2014, pp. 588–593. doi: 10.1016/j.procir.2014.01.065.
- [22] P. P. Kulkarni, S. S. Kshire, and K. V Chandratre, "PRODUCTIVITY IMPROVEMENT THROUGH LEAN DEPLOYMENT & WORK STUDY METHODS," 2014. [Online]. Available: <http://www.ijret.org>
- [23] K. S. Al-Saleh, "Productivity improvement of a motor vehicle inspection station using motion and time study techniques," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 23, no. 1, pp. 33–41, Jan. 2011, doi: 10.1016/j.jksues.2010.01.001.
- [24] Camelo Ivo, "MÉTODOS E TEMPOS & IMPLEMENTAÇÃO DE FERRAMENTAS DE MELHORIA CONTÍNUA," 2018.
- [25] Rodrigues Eduardo, "Otimização de uma linha de produção-LAMEK," 2019.
- [26] R. M. Barnes, *R. M. Barnes, Motion and Time Study*. John Wiley & Sons, 1991.
- [27] L. Permata and S. Hartanti, "WORK MEASUREMENT APPROACH TO DETERMINE STANDARD TIME IN ASSEMBLY LINE," 2016.
- [28] E. Y. Yovi, D. Prasetiana, and N. A. Nirmalasari, "Work measurement study on motor-manual pine tapping operation: The application of the concept of lean manufacturing and allowances," *Indonesian Journal of Forestry Research*, vol. 8, no. 1, pp. 111–125, Apr. 2021, doi: 10.20886/IJFR.2021.8.1.111-125.
- [29] A. Mital, R. R. Bishu, and S. G. Manjunath, "Review and evaluation of techniques for determining fatigue allowances," 1991.
- [30] W. Laurig, F. M. Kuhn, and K.-C. Schoo, "An approach to assessing motor workload in assembly tasks by the use of predetermined-motion-time systems," 1985.
- [31] J. Razmi and M. Shakhs-Niyaaee, "Developing a specific predetermined time study approach: An empirical study in a car industry," *Production Planning and Control*, vol. 19, no. 5, pp. 454–460, Jul. 2008, doi: 10.1080/09537280802052028.
- [32] Harold B. Maynard, G. J. Stegemerten, and John L. Schwab, *Methods-Time-Measurement*. McGRAW HILL, 1948.
- [33] A. Riedel, N. Brehm, and T. Pfeifroth, "Hand Gesture Recognition of Methods-Time Measurement-1 Motions in Manual Assembly Tasks Using Graph Convolutional Networks," *Applied Artificial Intelligence*, vol. 36, no. 1, 2022, doi: 10.1080/08839514.2021.2014191.
- [34] J. Carlos, E. Ferreira, D. L. M. De Almeida, and J. C. E. Ferreira, "Analysis of the Methods Time Measurement (MTM) Methodology through its Application in Manufacturing Companies Analysis of the Methods Time Measurement (MTM) Methodology through its Application in Manufacturing Companies Analysis of the Methods Time Measurement (MTM) Methodology through its Application in Manufacturing Companies," 2009, doi: 10.13140/RG.2.1.2826.1927.

- [35] A. M. Genaidy, A. Agrawal, and A. Mital, "COMPUTERIZED PREDETERMINED MOTION-TIME SYSTEMS IN MANUFACTURING INDUSTRIES," 1990.
- [36] M. Bures and P. Pivodova, "Comparison of the predetermined time systems MTM-1 and BasicMOST in assembly production," in *2013 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, IEEE, Dec. 2013, pp. 546–550. doi: 10.1109/IEEM.2013.6962471.
- [37] J. Razmi and M. Shakhs-Niyae, "Developing a specific predetermined time study approach: An empirical study in a car industry," *Production Planning and Control*, vol. 19, no. 5, pp. 454–460, Jul. 2008, doi: 10.1080/09537280802052028.
- [38] A. N. M. Karim, S. T. Tuan, and H. M. Emrul Kays, "Assembly line productivity improvement as re-engineered by MOST," *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 65, no. 7, pp. 977–994, Sep. 2016, doi: 10.1108/IJPPM-11-2015-0169.
- [39] Thomas E. Vollmann, William L. Berry, D. Clay Whybark, and F. Robert Jacobs, *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management*. McGRAW HILL, 2005.
- [40] Paulo AVILA, João Bastos, and Ismael Cavaco, *Planeamento e Controlo da Produção*. Gestbook, 2022.
- [41] B. Khoshnevis, P. M. Wolfe, and M. P. Terrell, "Aggregate planning models incorporating productivity—an overview," *Int J Prod Res*, vol. 20, no. 5, pp. 555–564, 1982, doi: 10.1080/00207548208947786.
- [42] A. Singhvi and U. V. Shenoy, "Aggregate planning in supply chains by pinch analysis," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 80, no. 6, pp. 597–605, 2002, doi: 10.1205/026387602760312791.
- [43] R. J. Najy, "Rough cut capacity planning-(RCCP)-(case study)," *Advances in Theoretical and Applied Mechanics*, vol. 7, pp. 53–66, 2014, doi: 10.12988/atam.2014.4612.
- [44] M. Gansterer, "Aggregate planning and forecasting in make-to-order production systems," *Int J Prod Econ*, vol. 170, pp. 521–528, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.ijpe.2015.06.001.
- [45] Victor Sequeira Roldão and Joaquim Silva Ribeiro, *Gestão das Operações Uma Abordagem Integrada*. Monitor, 2007.
- [46] S. Metinntürkay, "SPRINGER BRIEFS IN OPERATIONS RESEARCH," 2021. doi: 10.1007/978-3-030-58118-3.
- [47] M. K. McClelland, "Order Promising and the Master Production Schedule\*," 1988.
- [48] P. Jonsson and L. Kjellsdotter Ivert, "Improving performance with sophisticated master production scheduling," *Int J Prod Econ*, vol. 168, pp. 118–130, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.ijpe.2015.06.012.
- [49] J. C. Wortmann, "A CLASSIFICATION SCHEME FOR MASTER PRODUCTION SCHEDULING," 1983.
- [50] P. Rondeau and L. A. Litteral, "The evolution of manufacturing planning and control systems: The evolution of manufacturing planning and control systems: From reorder point to enterprise resource planning. From reorder point to enterprise resource planning," 2001. [Online]. Available: [https://digitalcommons.butler.edu/cob\\_papers](https://digitalcommons.butler.edu/cob_papers)
- [51] M. Saiful Islam, M. Mahbubur Rahman, and R. Kumar Saha, "Development of Material Requirements Planning (MRP) Software with C Language," 2013.
- [52] V. O. Oladokun and O. A. Olaitan, "Development of a Materials Requirements Planning (MRP) Software," 2012. [Online]. Available: <http://www.akamaiuniversity.us/PJST.htm>
- [53] N. Hasanati, E. Permatasari, N. Nurhasanah, and S. Hidayat, "Implementation of Material Requirement Planning (MRP) on Raw Material Order Planning System for

- Garment Industry,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/528/1/012064.
- [54] E. M. Shehab, M. W. Sharp, L. Supramaniam, and T. A. Spedding, “Enterprise resource planning: An integrative review,” *Business Process Management Journal*, vol. 10, no. 4, pp. 359–386, Aug. 01, 2004. doi: 10.1108/14637150410548056.
- [55] D. C. Yen, D. C. Chou, and J. Chang, “A synergic analysis for Web-based enterprise resources planning systems,” 2002. doi: 10.1016/S0920-5489(01)00105-2.
- [56] R. F. Boykin, “Enterprise resource planning software: a solution to the return material authorization problem,” 2001. doi: 10.1016/S0166-3615(01)00083-5.
- [57] P. Morawiec and A. Sołtysik-Piorunkiewicz, “ERP System Development for Business Agility in Industry 4.0—A Literature Review Based on the TOE Framework,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 5, Mar. 2023, doi: 10.3390/su15054646.
- [58] S. Demi and M. Haddara, “Do cloud ERP systems retire? An ERP lifecycle perspective,” in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2018, pp. 587–594. doi: 10.1016/j.procs.2018.10.079.
- [59] K. R. Baker, “Requirements Planning,” 1993.
- [60] J. C. Chen, Y. C. Fan, and C. W. Chen, “Capacity requirements planning for twin fabs of wafer fabrication,” *Int J Prod Res*, vol. 47, no. 16, pp. 4473–4496, Jan. 2009, doi: 10.1080/00207540802007597.
- [61] S. Permana and M. Andriani, “Production Capacity Requirements Planning Using The Capacity Method Requirement Planning,” 2021, doi: 10.52088/ijesty.v1i1.149.
- [62] J. Ji, W. Pannakkong, and J. Buddhakulsomsiri, “A Computer Vision-Based Model for Automatic Motion Time Study,” *Computers, Materials and Continua*, vol. 73, no. 2, pp. 3557–3574, 2022, doi: 10.32604/cmc.2022.030418.
- [63] M. Breznik, B. Buchmeister, and N. Vujica Herzog, “Assembly Line Optimization Using MTM Time Standard and Simulation Modeling—A Case Study,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 10, May 2023, doi: 10.3390/app13106265.
- [64] G. Xu, Z. Guan, L. Yue, and J. Mumtaz, “An efficient production planning approach based demand driven MRP under resource constraints,” *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 14, no. 3, pp. 451–466, Jun. 2023, doi: 10.5267/j.ijiec.2023.5.003.
- [65] M. Trost, T. Claus, and F. Herrmann, “Master Production Scheduling with Consideration of Utilization-Dependent Exhaustion and Capacity Load,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 8, Apr. 2023, doi: 10.3390/su15086816.
- [66] A. Haider, J. Mirza, and W. Ahmad, “Lean capacity planning for tool room: An iterative system improvement approach,” *Advances in Production Engineering and Management*, vol. 10, no. 4, pp. 169–184, Dec. 2015, doi: 10.14743/apem2015.4.200.
- [67] J. Laring, M. Forsman, R. Kadefors, and R. Örtengren, “MTM-based ergonomic workload analysis,” *Int J Ind Ergon*, vol. 30, no. 3, pp. 135–148, 2002, doi: 10.1016/S0169-8141(02)00091-4.
- [68] E. S. Sim, H. G. Lee, J. C. Lee, and J. W. Park, “Efficient work measurement system of manufacturing cells using speech recognition and digital image processing technology,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 29, no. 7–8, pp. 772–785, Jul. 2006, doi: 10.1007/s00170-005-2557-5.
- [69] M. Faccio, E. Ferrari, M. Gamberi, and F. Pilati, “Human Factor Analyser for work measurement of manual manufacturing and assembly processes,” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 103, no. 1–4, pp. 861–877, Jul. 2019, doi: 10.1007/s00170-019-03570-z.
- [70] V. Gorobets, V. Holzwarth, C. Hirt, N. Jufer, and A. Kunz, “A VR-based approach in conducting MTM for manual workplaces,” *International Journal of Advanced*

- Manufacturing Technology*, vol. 117, no. 7–8, pp. 2501–2510, Dec. 2021, doi: 10.1007/s00170-021-07260-7.
- [71] W. K. Jung, H. Kim, Y. C. Park, J. W. Lee, and S. H. Ahn, “Smart sewing work measurement system using IoT-based power monitoring device and approximation algorithm,” *Int J Prod Res*, vol. 58, no. 20, pp. 6202–6216, Oct. 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1671629.
- [72] E. Andreopoulos, V. Gorobets, and A. Kunz, “Automatic MTM-Transcription in Virtual Reality Using the Digital Twin of a Workplace,” 2022, doi: 10.21203/rs.3.rs-2110194/v1.
- [73] E. Çaklıt and M. Dağdeviren, “Comparative analysis of machine learning algorithms for predicting standard time in a manufacturing environment,” *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AIEDAM*, vol. 37, Jan. 2023, doi: 10.1017/S0890060422000245.
- [74] M. Benter, “Derivation Of MTM-UAS® Analyses From Virtual Reality Tools Using MTMmotion®,” in *Proceedings of the Conference on Production Systems and Logistics*, Publish-Ing in cooperation with TIB - Leibniz Information Centre for Science and Technology University Library, 2023, pp. 916–923. doi: 10.15488/13510.
- [75] D. A. de J. Pacheco, J. A. V. Antunes Junior, and C. A. de Matos, “The constraints of theory: What is the impact of the Theory of Constraints on Operations Strategy?,” *Int J Prod Econ*, vol. 235, May 2021, doi: 10.1016/j.ijpe.2020.107955.
- [76] D. Sarkar, K. N. Jha, and S. Patel, “Critical chain project management for a highway construction project with a focus on theory of constraints,” *International Journal of Construction Management*, vol. 21, no. 2, pp. 194–207, 2021, doi: 10.1080/15623599.2018.1512031.
- [77] T. C. Kuo, N. Y. Hsu, T. Y. Li, and C. J. Chao, “Industry 4.0 enabling manufacturing competitiveness: Delivery performance improvement based on theory of constraints,” *J Manuf Syst*, vol. 60, pp. 152–161, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jmsy.2021.05.009.
- [78] X. Zhao and J. Hou, “Applying the Theory of Constraints Principles to Tourism Supply Chain Management,” *Journal of Hospitality and Tourism Research*, vol. 46, no. 2, pp. 400–411, Feb. 2022, doi: 10.1177/1096348021996791.
- [79] P. M. Silva *et al.*, “A hybrid bi-objective optimization approach for joint determination of safety stock and safety time buffers in multi-item single-stage industrial supply chains,” *Comput Ind Eng*, vol. 168, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.cie.2022.108095.
- [80] W. Seiringer, J. Castaneda, K. Altendorfer, J. Panadero, and A. A. Juan, “Applying Simheuristics to Minimize Overall Costs of an MRP Planned Production System,” *Algorithms*, vol. 15, no. 2, Feb. 2022, doi: 10.3390/a15020040.
- [81] D. Damand, Y. Lahrichi, and M. Barth, “A simulation-optimization approach to parameterize Demand-Driven Material Requirements Planning,” in *IFAC-PapersOnLine*, Elsevier B.V., 2022, pp. 263–268. doi: 10.1016/j.ifacol.2022.09.626.
- [82] B. Zhu, Y. Zhang, K. Ding, F. T. S. Chan, J. Hui, and F. Zhang, “Lot-sizing decisions for material requirements planning with hybrid uncertainties in a smart factory,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 51, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.aei.2022.101527.
- [83] E. Cevikcan, H. Selcuk Kilic, and H. S. Kilic, “Tempo rating approach using fuzzy rule based system and westinghouse method for the assessment of normal time,” 2016. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/306144149>



## **Declaração de Integridade**

### DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter conduzido este trabalho académico com integridade. Não plagiei ou apliquei qualquer forma de uso indevido de informações ou falsificação de resultados ao longo do processo que levou à sua elaboração. Declaro que o trabalho apresentado neste documento é original e de minha autoria, não tendo sido utilizado anteriormente para nenhum outro fim. Declaro ainda que tenho pleno conhecimento do Código de Conduta Ética do P.PORTO. ISEP,

NOME: Eduardo Gonçalo Casanova Pereira

Porto, 12 de setembro de 2024



## Anexo 1

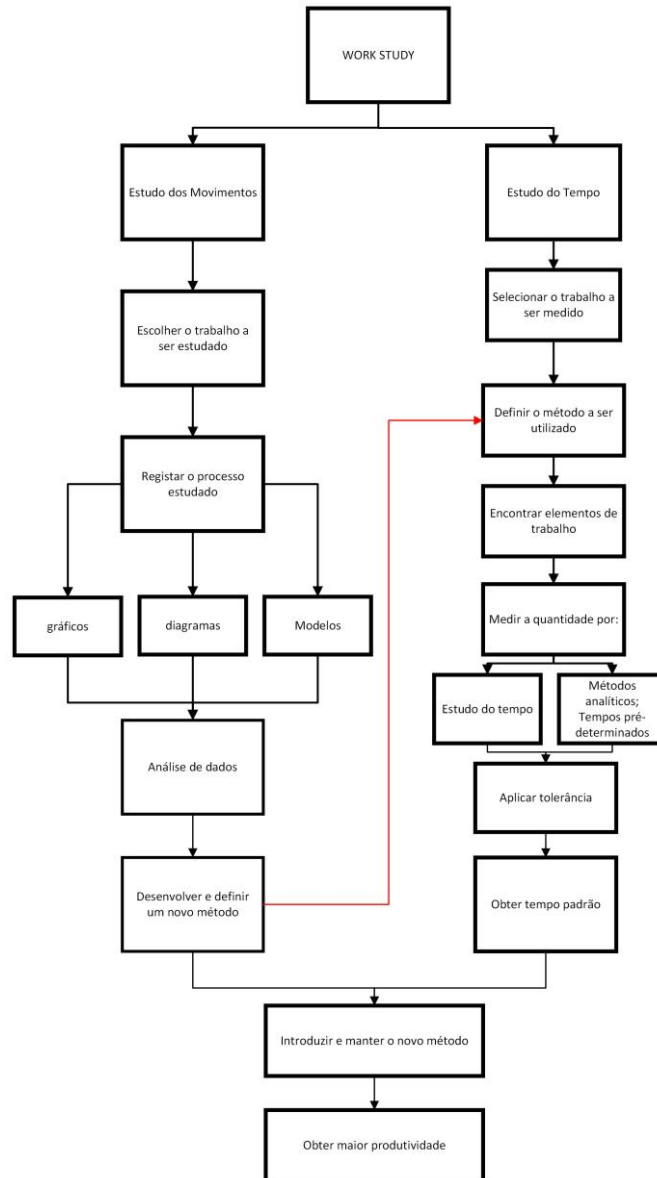


Figura 27 - Método de estudo trabalho proposto, adaptado de [8].

## Anexo 2

Flow process chart		Worker /Material/Equipment type								
Chart No. 1	Sheet No. 1	of 1	Summary							
Subject charted: <i>Used bus engines</i>	Activity	Present	Proposed	Saving						
Activity: <i>Stripping, cleaning and degreasing prior to inspection</i>	Operation ○	4								
	Transport ▷	21								
	Delay □	3								
	Inspection ◻	1								
	Storage ▽	1								
Method: Present/ <del>Proposed</del>	Distance (m)	237.5								
Location: <i>Degreasing shop</i>	Time (work-min.)	—	—	—						
Operative(s): Clock Nos. 1234 571	Cost	—								
	Labour	—								
Charted by: Date:	Material	—								
	Approved by: Date:	Total	—	—	—					
Description	Qty.	Dist- ance (m)	Time (min.)	Symbol					Remarks	
				○	▷	□	◻	▽		
<i>Stored in old-engine store</i>										
<i>Engine picked up</i>										<i>Electric crane</i>
<i>Transported to next crane</i>		24								<i>Electric crane</i>
<i>Unloaded to floor</i>										
<i>Picked up</i>										<i>Electric crane</i>
<i>Transported to stripping bay</i>		30								<i>Electric crane</i>
<i>Unloaded to floor</i>										
<i>Engine stripped</i>										
<i>Main components cleaned and laid out</i>										
<i>Components inspected for wear; inspection report written</i>										
<i>Parts carried to degreasing basket</i>		3								
<i>Loaded for degreasing</i>										
<i>Transported to degreaser</i>		1.5								<i>Hand crane</i>
<i>Unloaded into degreaser</i>										
<i>Degreased</i>										
<i>Lifted out of degreaser</i>										<i>Hand crane</i>
<i>Transported away from degreaser</i>		6								<i>Hand crane</i>
<i>Unloaded to ground</i>										
<i>To cool</i>										
<i>Transported to cleaning benches</i>		12								<i>By hand</i>
<i>All parts cleaned completely</i>										
<i>All cleaned parts placed in one box</i>		9								<i>By hand</i>
<i>Awaiting transport</i>										
<i>All parts except cylinder block and heads loaded on trolley</i>										
<i>Transported to engine inspection section</i>		76								<i>Trolley</i>
<i>Parts unloaded and arranged on inspection table</i>										
<i>Cylinder block and head loaded on trolley</i>										
<i>Transported to engine inspection section</i>		76								<i>Trolley</i>
<i>Unloaded to ground</i>										
<i>Stored temporarily awaiting inspection</i>										

Figura 28 - Diagrama de processo [7].

### Anexo 3

A table entry is the proportion of the area under the curve from a  $z$  of 0 to a positive value of  $z$ . To find the area from a  $z$  of 0 to a negative  $z$ , subtract the tabled value from 1.



$z$	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

Figura 29- Tabela de distribuição normal [24].

## Anexo 4

Tabela 19 - Avaliação do ritmo pelo método de Westinghouse, adaptado de [27], [83].

Habilidade			Esforço			Consistência		
+0,15	A1	Habilidade elevada	+0.13	A1	Excessivo	+0.04	A	Perfeito
+0,13	A2	Habilidade elevada	+0.12	A2	Excessivo	+0.03	B	Excelente
+0.11	B1	Excelente	+0.10	B1	Excelente	+0.01	C	Bom
+0.08	B2	Excelente	+0.08	B2	Excelente	0	D	Médio
+0.06	C1	Bom	+0.05	C1	Bom	-0.02	E	Satisfaz
+0.03	C2	Bom	+0.02	C2	Bom	-0.04	F	Fraco
+0	D	Médio	0	D	Médio	Considerações ambientais		
-0.05	E1	Satisfaz	-0.04	E1	Satisfaz	+0.06	A	Ideal
-0.10	E2	Satisfaz	-0.08	E2	Satisfaz	+0.04	B	Excelente
-0.16	F1	Fraco	-0.12	F1	Fraco	+0.02	C	Bom
						0	D	Médio
-0.22	F2	Fraco	-0.17	F2	Fraco	-0.03	E	Satisfaz
						-0.07	F	Fraco

## Anexo 5

Tabela 20 - Recomendações de folgas (International Labour Organization), adaptado de [27]

Variável/Fator	Folga (Allowance) %	Variável/Fator	Folga (Allowance) %
<b>Condições atmosféricas</b>	0-100%	<b>Folgas Fixas</b>	
<b>Folgas variáveis</b>		<b>Pessoais</b>	5
<b>Trabalho em Pé</b>	2	<b>Fadiga</b>	4
<b>Uso de força</b>		<b>Atenção Exigida</b>	
<b>Levantamento de peso(libra)</b>	X	<b>Pouca atenção</b>	0
5	0	<b>Atenção normal</b>	2
10	1	<b>Muita atenção</b>	5
15	2	<b>Ruido</b>	
20	3	<b>Contínuo</b>	0
25	4	<b>Intermitente-alto</b>	2
30	5	<b>Intermitente-muito alto</b>	5
35	7	<b>Alto/ muito agudo</b>	5
40	9	<b>Tensão Mental</b>	
45	11	<b>Pouco complexo</b>	1
50	13	<b>Complexo</b>	4
60	17	<b>Muito complexo</b>	8
70	22	<b>Monotonia</b>	
<b>Posição anormal</b>		<b>Baixa</b>	0
<b>Ligeiramente desconfortável</b>	0	<b>Média</b>	1
<b>Desconfortável</b>	2	<b>Alto</b>	4
<b>Muito desconfortável</b>	7	<b>Tédio</b>	
<b>Iluminação</b>		<b>Pouco tédio</b>	0
Pouco inadequada	0	<b>Tédio</b>	2
Inadequada	2	<b>Muito Tédio</b>	5
Muito inadequada	5		

## Anexo 6

Tabela 21 - Movimentos básicos MTM-1, adaptado de [35]

<b>Categoria</b>	<b>Movimento único</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Definição</b>
<b>Obter</b>	Alcançar	R	Movimento básico dos dedos
	Agarrar	G	Movimento para controlar um objeto
	Largar	RL	Movimento para libertar um objeto
<b>Localizar</b>	Mover	M	Transportar um objeto
	Posicionar	P	Mover, alinhar, orientar algo
<b>Rotação</b>	Virar	T	Rotação da mão sobre um eixo
	Manivela	C	Movimento circular de dedos, mão, pulso, rotação de cotovelo
<b>Força</b>	Aplicar Pressão	AP	Aplicação de força muscular, sem movimento da peça
<b>Recuo</b>	Desengatar	D	Separação do objeto da mão ou dedos
<b>Visual</b>	Movimento do olho	ET	Movimentos dos olhos de uma localização para outra
	Foco do olhar	EF	Exercício mental para distinguir objetos através do olhar
<b>Corporal</b>	Movimento de perna	LM	Movimento de perna onde o joelho é um pivot
	Movimento do pé	FM	Movimento do tornozelo
	Dobrar	B	Dobrar, onde as mãos passem o nível do joelho
	Inclinar	S	Inclinar, onde as mãos passem o nível do chão
	Ajoelhar-se com 1 joelho	KOK	Baixar o corpo apoiando 1 joelho no chão
	Ajoelhar-se com 2 joelhos	KBK	Baixar o corpo apoiando 2 joelhos no chão
	Sentar	SIT	Alteração da posição do corpo, de pé para sentado
	Ficar em pé	STD	Ficar em posição ereta em pé

	Andar	W	Andar através de passos
	Passo para o lado	SS	Movimento lateral de passos
	Rodar corpo	TB	Rotação do corpo através de passos
	Levantar o corpo	AB	Passar de dobrado para em pé
	Levantar o corpo desde inclinado	AS	Passar de inclinado para em pé
	Levantar o corpo desde joelhos (1 joelho)	AKBK	Passar de ajoelhado para em pé
	Levantar o corpo desde joelhos (2 joelhos)	AKOK	Passar de ajoelhado para em pé

## Anexo 7

Tabela 22 - Movimentos básicos MTM-2 e MTM-3, adaptado de [35].

Movimento	Símbolo	Definição
<b>Movimentos múltiplos</b>		
<b>Colocar</b>	G	É uma ação que consiste em alcançar com a mão ou os dedos um objeto, agarrando-o com a mão ou os dedos alcançar um objeto, agarrando-o e soltando-o em seguida
<b>Por</b>	P	Ação que consiste em deslocar um objeto para um destino com a mão ou os dedos
<b>Aplicar Força</b>	A	Ação que consiste em exercer uma força muscular sobre um objeto
<b>Reapertar</b>	R	Ação da mão para mudar a pressão de um objeto sem perder o controle
<b>Ação dos olhos</b>	E	Ação destinada a reconhecer uma característica facilmente distinguível de um objeto ou a deslocar a mira do eixo de visão para uma nova área de visualização
<b>Movimento dos pés</b>	F	Movimento curto do pé ou da perna (não mais do que um movimento de 12 polegadas da perna) quando o objetivo não é mover o corpo
<b>Dobrar e levantar</b>	B	Descida do tronco seguida de uma subida
<b>Manivela</b>	C	É um movimento que tem por objetivo deslocar um objeto numa trajetória circular de mais de meia-volta com a mão ou os dedos
<b>Passos</b>	S	É um movimento de perna para mover o corpo ou um movimento de perna com mais de 12 polegadas
<b>Combinação de movimentos</b>		
<b>Manejar</b>	H	Sequência de movimentos com o objetivo de obter o controle de um objeto com a mão ou os dedos e colocar o objeto num novo local
<b>Transportar</b>	T	Movimento com o objetivo de colocar um objeto num novo local com a mão ou os dedos
<b>Passos</b>	SF	Movimento da perna com o objetivo de mover o pé ou a perna numa direção

<b>Dobrar e levantar</b>	B	Abaixamento do tronco seguido de um levantamento
--------------------------	---	--