



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Francisco Nora Páscoa

**BALANCEAMENTO DE UMA LINHA DE MONTAGEM  
MISTA DE CUBAS PARA TRANSFORMADORES DE  
DISTRIBUIÇÃO IMERSOS**

Dissertação no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial orientada pelo  
Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto e apresentada ao Departamento de  
Engenharia Mecânica, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de  
Coimbra.

Setembro de 2023





**FCTUC** FACULDADE DE CIÊNCIAS  
E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA MECÂNICA

# **Balanceamento de uma Linha de Montagem Mista de Cubas para Transformadores de Distribuição Imersos**

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

## **Mixed-model Assembly Line Balancing for Immersed Distribution Transformer Tanks**

**Autor**

**Francisco Nora Páscoa**

**Orientadores**

**Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto**

**Engenheiro Ricardo Lago**

**Júri**

<b>Presidente</b>	<b>Professor Doutor Samuel de Oliveira Moniz</b> <b>Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b> <b>Professor Doutor Luís Miguel Domingues Fernandes</b> <b>Ferreira</b>
<b>Vogais</b>	<b>Professor Doutor da Universidade de Coimbra</b> <b>Professor Doutor Auxiliar Telmo Miguel Pires Pinto</b> <b>Professor Doutor da Universidade de Coimbra</b>
<b>Orientador</b>	<b>Professor Doutor Telmo Miguel Pires Pinto</b> <b>Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra</b>

**Colaboração Institucional**

---



**Coimbra, setembro, 2023**





## Agradecimentos

Deixo um agradecimento, primeiramente à minha família, especialmente aos meus pais, por todo o amor, compreensão e sacrifícios aos longo dos últimos 5 anos que permitiram chegar à escrita desta dissertação.

À minha namorada, por ter acompanhado de perto o progresso no estágio e desenvolvimento da dissertação e por me dar sempre uma palavra de apoio e entusiasmo sempre que precisei.

Aos meus amigos, que contribuíram para a pessoa que sou hoje e que tive o privilégio de poder criar memórias com eles e partilhar conhecimentos.

Não posso deixar de agradecer à Efacec pela oportunidade que me ofereceu de poder pôr em prática os conhecimentos adquiridos ao longo do meu percurso académico e de ter contribuído para o meu crescimento, tanto a nível pessoal como profissional. Ao Eng. Ricardo Lago e ao Eng. Paulo Mesquita, pelo acompanhamento, conselhos e disponibilidade demonstrada. Aos chefes da linha de montagem com quem tive o prazer de trabalhar ao longo do último semestre e que foram fundamentais para as ações a definir apresentadas neste trabalho. E em particular, ao Telmo Remelgado, ao Pedro Santos e ao José Miguel uma palavra de agradecimento pelo acompanhamento e preocupação desde o primeiro dia por me ambientarem à casa.



## Resumo

O presente trabalho tem como objetivo a especificação dos requisitos necessários de maneira a garantir os níveis de produção na linha de montagem de cubas para transformadores de distribuição de óleo imersos de maneira a dar resposta à procura.

A metodologia utilizada assenta no Estudo de Caso, que teve como primeira fase o diagnóstico do estado atual do sistema em análise. Durante essa fase, foi realizada uma observação direta no chão de fábrica para entender o processo produtivo e explorar a cadeia de valor, identificando problemas e oportunidades de melhoria.

Recorreu-se a várias ferramentas ao longo da dissertação, como o mapeamento de processos, o gráfico *Yamazumi*, o diagrama *Ishikawa* e a técnica de brainstorming.

Na fase de diagnóstico, verificou-se que a ineficiência de uma linha de produção tinha como impacto o não cumprimento dos níveis de produção pretendidos. Para solucionar esse problema, foram selecionadas medidas que consistiram em efetuar o balanceamento da linha, tendo como objetivo o aumento de *output* da linha e restrições da linha de montagem. A primeira proposta de balanceamento foi realizada apenas de forma a melhorar a eficiência da linha bem como taxas de ocupação por posto, não envolvendo a reestruturação de layout resultante da adição de postos de trabalho. De seguida, é feita uma segunda proposta de balanceamento de maneira a serem produzidas 160 cubas semanais (produção pretendida), envolvendo uma reestruturação de layout, com a adição de postos de trabalho.

A definição do *AS-IS* e avaliação do estado atual da linha de produção realizada permitiu concluir que as etapas críticas são a soldadura de fundo e bordo a par com a soldadura final da cuba e posterior ensaio.

Como resultado das melhorias estima-se o aumento o output da linha de 50 para 160 cubas por semana (que inclui a produção de vários artigos diferentes de acordo com a taxa de procura do ano 2019), a redução do lead time em 46,63% para produtos do tipo NED/Outros e 7,63% para produtos do tipo UKPN/SSE e o aumento da eficiência da linha em 39,12% e do balanceamento em 25,32% e ainda a redução de custos de inatividade em 92,7%. Para estes resultados, esperam-se investimentos na construção de 8 novos postos de

trabalho, dos quais 6 são postos de soldadura e ainda a realocação de parte do comboio de pintura para aumento da sua capacidade em mais uma cabine de pintura de “esmalte”.

**Palavras-chave:** Balanceamento de linhas, Caso de estudo, Heurística da Utilização Incremental, Linha de montagem mista.



## **Abstract**

This dissertation was developed as part of the master's in industrial engineering and management from the University of Coimbra in a business environment at Efacec Energia, Máquinas e Equipamentos Elétricos, S.A, whose objective was to specify the requirements needed to ensure compliance with takt time, such as the number of machines, number of jobs, among others.

For this, the methodology used in the dissertation was the Case Study, which had as its first phase the diagnosis of the current state of the system under study. During this phase, direct observation was made on the shop floor to understand the production process and explore the value chain, identifying problems and opportunities for improvement.

Several tools were used throughout the dissertation, such as process mapping, Yamazumi graphic, Ishikawa diagram and brainstorming.

When the diagnosis was made, it was verified that the inefficiency of a production line was having an impact on the failure to meet target production levels. To solve this problem, measures were selected that consisted of balancing the line, with the aim of increasing the line's output and assembly line restrictions. The first balancing proposal was only carried out to improve line efficiency and occupancy rates per station and did not involve restructuring the layout by adding jobs. A second balancing proposal was then made to produce 160 tanks a week (the desired output), involving a restructuring of the layout with the addition of workstations.

The definition of the AS-IS and evaluation of the current state of the production line led to the conclusion that the critical stages are bottom and edge welding, along with the final welding of the tank and subsequent testing.

As a result of the improvements it is estimated to increase the output of the line from 50 to 160 tanks per week (which includes the production of several different items according to the demand rate of the year 2019), reduce lead time by 46,63% for NED/Other products and 7,63% for UKPN/SSE products, increase line efficiency by 39,12% and balancing efficiency by 25,32% and also reduce downtime costs by 92,7%. For these results, investments are expected in the construction of 8 new jobs, 6 of which are welding positions,

and the relocation of part of the painting train to increase its capacity by one more "enamel" painting booth.

**Keywords** Line balancing, Case study, Incremental Utilization Heuristic, Mixed-model assembly line.



## Índice

Índice de Figuras .....	xiii
Índice de Tabelas .....	xv
Siglas .....	xvii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contextualização e Motivação .....	1
1.2. Objetivos do trabalho .....	2
1.3. Metodologia e Estrutura da Dissertação .....	3
2. Enquadramento teórico.....	5
2.1. Origem e evolução do <i>Lean Manufacturing</i> .....	5
2.2. Tipos de desperdício .....	8
2.3. Princípios <i>Lean Thinking</i> .....	9
2.4. Ferramentas e técnicas <i>Lean</i> .....	10
2.4.1. <i>Line Balancing</i> .....	10
2.4.2. Gráfico Yamazumi .....	16
2.5. Barreiras no balanceamento e implementação do <i>Lean</i> na reconfiguração da linha 17	
3. Metodologia de Estudo.....	19
3.1. Proposta metodológica de estudo.....	19
4. Caso de estudo .....	25
4.1. Apresentação da empresa.....	25
4.1. Caracterização do estado atual ( <i>AS-IS</i> ).....	26
4.1.1. Produto .....	26
4.1.2. Descrição do Sistema Produtivo.....	27
4.2. Análise crítica do sistema atual .....	28
4.3. Identificação de ações de melhoria .....	37
5. Ações de melhoria .....	39
5.1. Balanceamento da linha (Sem Reestruturação de Layout) .....	39
5.1.1. Definição dos postos de trabalho.....	41
5.1.2. Alocação de recursos .....	46
5.1.3. Resultados esperados .....	46
5.2. Balanceamento da linha (Com Reestruturação de Layout) .....	49
5.2.1. Definição dos postos de trabalho.....	49
5.2.2. Alocação de Recursos.....	52
5.2.3. Resultados esperados .....	53
6. Considerações finais .....	55
6.1. Conclusão.....	55
6.2. Limitações.....	56
6.3. Trabalhos Futuros .....	56

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
APÊNDICE A .....	63
APÊNDICE B .....	64
APÊNDICE C .....	65
APÊNDICE D .....	66
APÊNDICE E.....	66
APÊNDICE F .....	67
APÊNDICE G .....	68
APÊNDICE H .....	69
APÊNDICE I.....	70
APÊNDICE J.....	71
APÊNDICE K .....	72
APÊNDICE L.....	73
APÊNDICE M.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Metodologia de Investigação. ....	3
Figura 2.1 - Casa TPS (adaptado de J.K. Liker & Morgan, 2006). ....	6
Figura 2.2 - Tipos de linha de montagem (Becker & Scholl, 2006). ....	11
Figura 2.3 - Exemplo de diagrama de precedência (Boysen et al., 2008). ....	13
Figura 2.4 - Algoritmo da heurística da utilização incremental (adaptado de Leite et al., 2017). ....	15
Figura 2.5 - Exemplo de Gráfico de Yamazumi (Alesandra Blakeston. (2015, 28 de julho). <i>Yamazumi Charts</i> . <a href="https://alesandrab.wordpress.com/2015/07/28/yamazumi-charts/">https://alesandrab.wordpress.com/2015/07/28/yamazumi-charts/</a> ). ....	17
Figura 3.1 - Diagrama de Precedência para modelo A (a) e modelo B (b) (Adaptado de Gerhardt, 2005). ....	20
Figura 3.2 - Diagrama de precedência equivalente dos modelos A e B (Adaptado de Gerhardt, 2005). ....	21
Figura 3.3 - Esquema macro da metodologia do caso de estudo proposto. ....	22
Figura 3.4 - Exemplo de paralelismo entre atividades. ....	23
Figura 4.1 - Tipos de transformadores produzidos na empresa. ....	26
Figura 4.2 - Mapa do processo produtivo (parte 2) ..... <b>Erro! Marcador não definido.</b>	
Figura 4.3 - <i>Gantt</i> da produção de cuba do tipo NED/Outros. ....	32
Figura 4.4 - <i>Gantt</i> da produção de cuba do tipo UKPN/SSE. ....	32
Figura 4.5 - Yamazumi Atual. ....	35
Figura 5.1 - Postos de soldadura atuais. ....	41
Figura 5.2 - Postos de soldadura propostos para balanceamento sem reestruturação. ....	42
Figura 5.3 - <i>Yamazumi</i> do balanceamento sem reestruturação de layout. ....	48
Figura 5.4 - <i>Yamazumi</i> do Balanceamento com reestruturação. ....	54



---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Unidades de Negócio pertencentes a cada empresa Efacec. ....	26
Tabela 4.2 - Tarefas elementares e tempos de processamento. ....	29
Tabela 4.3 - Postos de Trabalho atuais. ....	31
Tabela 4.4 - Tempos de ciclo atuais. ....	33
Tabela 4.5 - Folgas dos Postos Atuais. ....	36
Tabela 4.6 - Resumo da situação atual da linha. ....	37
Tabela 5.1 - Classificação das atividades. ....	40
Tabela 5.2 - Turnos para cada tarefa alocada aos postos de soldadura e ensaio. ....	44
Tabela 5.3 - Resumo dos resultados da heurística. ....	45
Tabela 5.4- Recursos necessários aos postos definidos pelo balanceamento. ....	46
Tabela 5.5 - Tempo de ciclo e utilização dos postos definidos pelo balanceamento .....	47
Tabela 5.6 - Custos de inatividade resultantes do balanceamento sem reestruturação. ....	47
Tabela 5.7 - Resumo do balanceamento sem reestruturação. ....	49
Tabela 5.8- Resumo dos Resultados da heurística para balanceamento com reestruturação. .....	51
Tabela 5.9 - Alocação de recursos aos postos definidos pelo balanceamento com reestruturação. ....	52
Tabela 5.10 - Custos de inatividade do balanceamento com reestruturação. ....	53
Tabela 5.11 - Resumo do balanceamento com reestruturação. ....	54



## **SIGLAS**

ALBP – *Assembly Line Balancing Problem*

EPS – Efacec Power Solutions

FTE – *Full Time Equivallent*

IoT – *Internet of Things*

IUH – *Incremental Utilization Heuristic*

JIT – *Just-in-Time*

LT – *Lead Time*

OIDT – *Oil-Immersed Distribution Tank*

PT – Posto de Trabalho

TC – Tempo de Ciclo

T.T.S – Túnel de Tratamento de Superfícies

TOC – *Theory of Constraints*

TPS – *Toyota Production System*

TRF – Transformador

TT – *Takt Time*

TQM – *Total Quality Management*

WIP – *Work in Progress*



## 1. INTRODUÇÃO

O presente projeto decorreu no âmbito do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, em ambiente empresarial, pelo que representa o trabalho desenvolvido durante um estágio curricular realizado na Efacec, mais concretamente na Efacec Energia, Máquinas e Equipamentos Elétricos, S.A.

O presente capítulo serve como introdução e contextualização ao trabalho exposto, iniciando-se por uma breve exposição da principal motivação que levou à escolha do tema, passando pelos objetivos gerais do projeto e, por último, uma breve descrição da sua estrutura.

### 1.1. Contextualização e Motivação

As tendências que se observam atualmente mostram a existência de clientes com necessidades distintas, verificando-se um aumento da procura por produtos personalizados. Assim, as linhas dedicadas à montagem de um único produto estão a ser substituídas por linhas que permitem a montagem de diferentes variantes de um produto, denominadas linhas de modelo-misto.

Fazer uma boa gestão da capacidade das linhas de montagem com o objetivo de atingir baixos custos de produção é dos maiores desafios das indústrias. O balanceamento de linha de montagem é um processo que visa equilibrar o trabalho em cada etapa do processo, para que o fluxo de trabalho seja contínuo e os recursos, como tempo, mão-de-obra, equipamentos e materiais necessários, sejam alocados de forma eficiente, sem acumulação de stock intermédio (Oliveira *et. al*, 2017). Isso permite uma redução de custos de produção, uma vez que a produção se torna mais rápida e com menos desperdícios e de maior fiabilidade, uma vez que se torna mais “certo” saber o momento de finalização de uma unidade de produto.

Outros desafios para as empresas são a globalização dos mercados, a proliferação tecnológica, a redução do tempo de vida e a criação de novos produtos. Todos estes fatores, fazem com que as organizações se sintam pressionadas a alcançar excelência operacional e melhorar a eficiência com o intuito de reduzir os custos de produção e oferecer

produtos de qualidade superior em prazos de entrega *record*. (Belekoukias *et al.*, 2014). Surge, portanto, o *Lean Thinking*, filosofia de liderança e gestão com o objetivo de eliminar sistematicamente qualquer desperdício existente no sistema de produção e criar valor para o cliente (Pinto, 2014).

Adicionalmente, a implementação dessas metodologias requer um compromisso por parte da organização e dos seus funcionários, que devem estar dispostos a adaptar-se e a mudar a forma como operam. Isso pode ser o maior desafio, mas os benefícios para a organização revelam-se significativos.

Portanto, a implementação de metodologias *Lean* em conjunto com o balanceamento de linha de produção são fulcrais para garantir a sobrevivência e o sucesso de uma empresa no ambiente corporativo atual. Isso exige um compromisso com a melhoria contínua e uma abordagem sistemática e colaborativa para a identificação e solução de problemas em todas as etapas do processo de produção.

Com este estudo pretende-se apresentar a viabilidade da aplicação do *Lean* na reconfiguração de uma linha de produção, visando reduzir problemas, desperdícios, tempo de espera, tempo de processamento, *stock*, produtos rejeitados e áreas necessárias.

## **1.2. Objetivos do trabalho**

Tendo em conta a motivação descrita anteriormente, delinearam-se os seguintes objetivos:

- 1) Caracterização da situação atual da linha de montagem;
- 2) Encontrar soluções de balanceamento de linhas com recurso a regras heurísticas e metodologias *Lean*; uma primeira solução não envolvendo investimentos de adição de postos de trabalho que envolvam reestruturação de layout, com o objetivo de melhorar com os recursos presentes e uma segunda proposta que cumpra com o requisito de 160 cubas por semana.
- 3) Identificação e implementação de oportunidades de melhoria, aplicando ferramentas *Lean*;
- 4) Verificar o impacto da implementação das ações de melhoria através da análise dos resultados obtidos;
- 5) Implementação de indicadores de eficiência operacional

### 1.3. Metodologia e Estrutura da Dissertação

Para a elaboração do presente projeto, foi seguida a estratégia de pesquisa-ação (*Action-Research*), uma vez que o investigador participa na atividade de pesquisa e analisa a situação com detalhe, intervindo ativamente com todos os participantes envolvidos, tendo em conta os seus pontos de vista e perspetivas (Farooq & O'Brien, 2015). Neste sentido, tratando-se de um projeto de investigação desenvolvido em contexto empresarial com a interação notória dos colaboradores da empresa e com um objetivo explícito, esta estratégia revelou ser a mais adequada. Fazem parte desta estratégia de investigação 5 etapas (Alves et al., 2009): diagnóstico, planeamento de ações, desenvolvimento de ações, avaliação e aprendizagem.

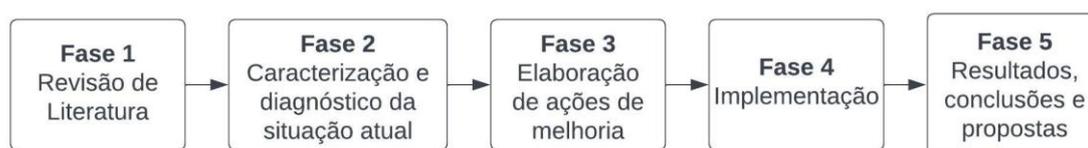


Figura 1.1 - Metodologia de Investigação.

A exploração prática do estudo de caso exposto nesta dissertação iniciou-se com o levantamento da revisão de literatura de maneira a identificar práticas e conceitos existentes dos temas abordados e com o intuito de suportar o desenvolvimento prático do estudo. De seguida, procedeu-se ao diagnóstico do sistema atual e identificação dos principais problemas, recorrendo-se a ferramentas como o mapeamento de processo, o diagrama de *Gantt*, diagrama de *Ishikawa* e a técnica de *brainstorming*, no sentido de auxiliar a visualização do estado atual e qual o foco na resolução de problemas. Numa terceira fase, elaboração de um plano de ações de melhoria, nomeadamente o balanceamento da linha com o propósito de aumento dos indicadores de desempenho selecionados e de forma a atingir o objetivo de produção de 160 cubas semanais por parte da empresa e um outro cenário de balanceamento de maneira a apenas otimizar a situação atual. A quarta fase envolve a implementação do plano de ações, com vista a melhorar a utilização dos recursos existentes e melhorar o processo de montagem. Por último, é feita uma análise crítica dos resultados, de onde são retiradas algumas conclusões e feitas propostas de trabalhos futuros.

O presente documento encontra-se dividido em seis capítulos principais, que por sua vez se dividem em vários subcapítulos. O segundo capítulo corresponde à revisão de literatura onde são apresentados os conceitos teóricos que servirão de suporte para o desenvolvimento do caso de estudo – capítulo quatro, destinado à caracterização da situação atual, à identificação e implementação de oportunidades de melhoria e exibição dos resultados dessas intervenções. Já o terceiro capítulo é referente à metodologia adotada na resolução do estudo de caso proposto. No capítulo seis, são descritas as principais conclusões e resultados obtidos ao longo do trabalho, indicando as limitações registadas no seu desenvolvimento e são sugeridas propostas para futuros trabalhos.

## 2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Este capítulo dedica-se à revisão da literatura dos temas que se revelaram fulcrais como base teórica sólida dos conteúdos aplicados na prática no estágio curricular. Será abordada, inicialmente, a origem da metodologia de *Lean Manufacturing* e a sua evolução ao longo do tempo, bem como os oito tipos de desperdício. De seguida, os princípios da produção *Lean* e as ferramentas e técnicas específicas que foram utilizadas, tais como *Line Balancing*. Por último, os benefícios da metodologia na reconfiguração da linha de produção, os obstáculos na sua implementação e alguns indicadores de desempenho.

### 2.1. Origem e evolução do *Lean Manufacturing*

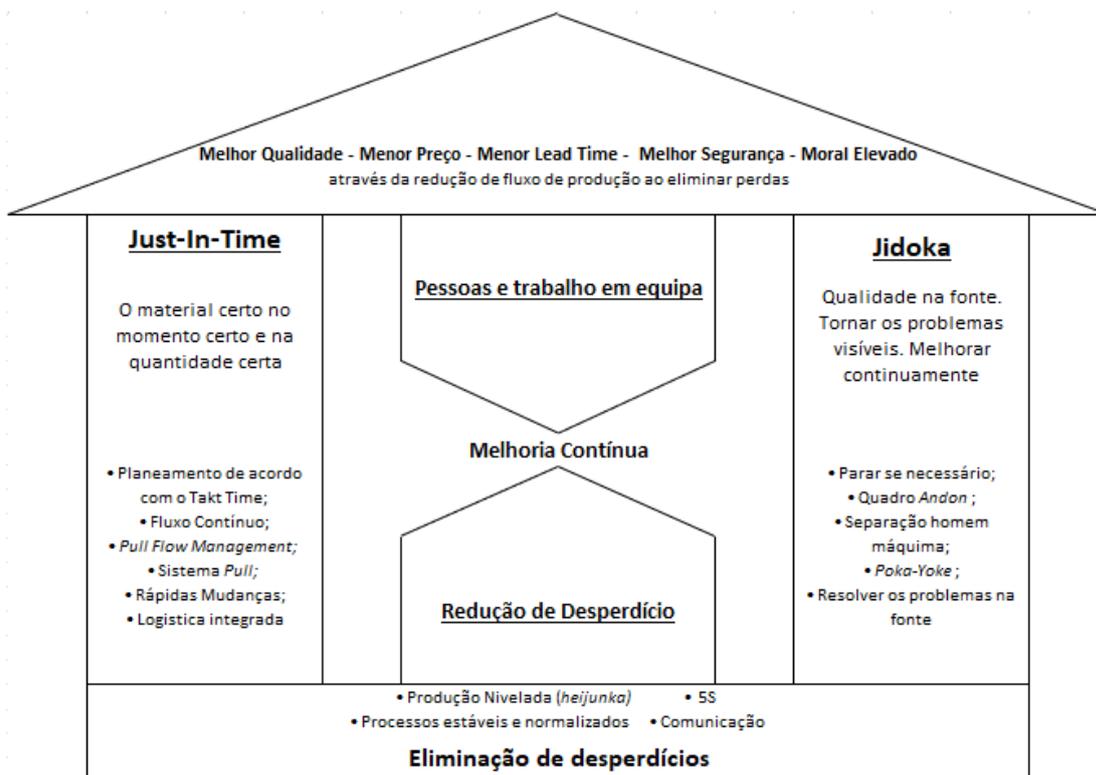
O conceito foi introduzido no Japão, após a Segunda Guerra Mundial, com o sistema de produção da empresa *Toyota Motor Company*, também designado como *Toyota Production System* (TPS). O ambiente de escassez de recursos e mão de obra levou os fabricantes a produzir automóveis com um menor inventário, esforço humano, investimento e defeitos, permitindo ainda a crescente variedade de produtos (Bhamu & Sangwan, 2014).

Enquanto o conceito de produção tradicional tinha foco no inventário do sistema, o *Lean Manufacturing* opõe-se a este, considerando o inventário como um dos tipos de desperdício dentro da organização, reforçando a ideia que os consumidores irão pagar pelo valor do serviço que recebem e não pelos erros cometidos decorrentes dos processos (Rawabdeh, 2005). Ohno notou que muitas das etapas do processo de produção não acrescentavam valor ao produto final e, em vez disso, estavam a causar atrasos e a aumentar os custos. A partir daí começou a desenvolver o novo sistema de produção que se concentrava na eliminação de desperdícios, na melhoria da eficiência e satisfação do cliente.

No início dos anos 90, o conceito *Lean Manufacturing*, foi visto como uma alternativa contraintuitiva ao tradicional sistema de produção Fordismo (Womack et al., 1990), mas atraiu o interesse de cientistas e praticantes desde 1990, quando o livro *The Machine That Changed the World* popularizou o método de fabrico japonês. Ao longo dos últimos anos, o conceito *Lean* evoluiu, tornando-se um paradigma de gestão aplicável a diferentes setores, como nos cuidados de saúde, construção, financeiro ou processamento de

comida e com resultados impressionantes. A heterogeneidade das suas implementações e configurações faz com que a mais recente literatura de *Lean Management* seja diversa e fragmentada (Danese et. al., 2018). Apesar da heterogeneidade, vários estudos propõem modelos para a avaliação e implementação da metodologia *Lean* apenas no contexto fabril e poucos ainda propõem o mesmo no contexto dos serviços, representando assim uma área de interesse para futuras pesquisas.

Ao longo dos anos, o *Lean Management* evoluiu para incluir um leque mais alargado de ferramentas. Mas, uma vez que teve origem no TPS, faz sentido analisar o sistema esboçado em forma de casa por Fujio Cho, tal como representado na Figura 1.



**Figura 2.1** - Casa TPS (adaptado de J.K. Liker & Morgan, 2006).

A base da casa necessita de fornecer estabilidade global sobre a qual os sistemas *Just-in-Time* podem ser construídos e constantemente ajustados, ao parar para resolver o problema (Liker & Morgan, 2006). *Standard Work* entende-se como a uniformização e padronização dos processos produtivos, com o intuito de reduzir variabilidade, tornar mais fácil toda a sua gestão e alcançar previsões mais fidedignas. *Heijunka* diz respeito ao nivelamento da produção para ir ao encontro da procura do consumidor. O objetivo é criar

então um fluxo nivelado de encomendas e nível de carga de trabalho, dando mais oportunidades à padronização dos processos.

Para suportar o TPS, dois pilares são necessários: *Just-in-Time* e o *Jidoka*. *Just-in-Time* é talvez o aspeto mais conhecido da casa. A sua implementação acarreta vários benefícios, como melhoria na qualidade, tempo-base de resposta, flexibilidade de funcionários, simplificação contabilística, rentabilidade da firma, reduções de níveis de inventário e do lead time. Entende-se pelo fazer os produtos fluírem pelos processos a uma rápida cadência, produzindo apenas o necessário, na quantidade mínima e apenas no momento certo (Sugimori, et.al, 1977). No segundo pilar, *Jidoka*, verifica-se um conceito mais complexo e remonta para uma máquina com inteligência humana. O objetivo está relacionado com a capacidade da máquina parar por si, assim que se detete um desvio fora do desvio padrão, evitando assim uma produção defeituosa e procedendo de imediato à sua manutenção. Sendo que os problemas estão constantemente a ser analisados, este pilar promove a melhoria contínua (Liker & Morgan, 2006).

O centro da casa apresenta os aspetos humanos, “pessoas e trabalho de equipa” e a redução de desperdícios. Aqui encontra-se o cerne da questão, visto que as pessoas são elementos fulcrais por reconhecer os desperdícios, identificar as suas causas e desenvolver soluções, pelo que todos os funcionários individualmente precisam de obter os conhecimentos e formações necessárias (Dombrowski & Mielke, 2014).

Já no telhado da casa, encontram-se expostos o propósito do TPS: melhor qualidade, menor custo, menor tempo, maior segurança e maior moral, através da aplicação dos conceitos mencionados acima.

Com a evolução da metodologia *Lean Manufacturing*, os seus princípios agora são muitas vezes integrados com outros sistemas como o *Six Sigma*, TOC e TQM em muitas indústrias para alcançar ainda melhores resultados e criar uma abordagem mais abrangente para melhoria empresarial.

Nos anos mais recentes, com o advento da Indústria 4.0, uma fábrica torna-se “inteligente” ao aplicar sistemas de informação e comunicação e tecnologias orientadas para o futuro. Muitos dos problemas para a implementação do *Lean manufacturing* sob a perspetiva de integração têm uma solução nas tecnologias associadas à indústria 4.0. A inclusão da digitalização e análise de dados na melhoria da eficácia e eficiência dos processos e tecnologias como Iot (*Internet of Things*), Inteligência Artificial e aprendizagem

das máquinas promoveu melhores resultados na automatização e otimização dos processos. Com tudo isto, conseguem-se ultrapassar barreiras em fatores como: fornecedor, cliente, processo, controlo e o fator humano, permitindo às indústrias a capacidade de se tornarem *lean*, sem a persistência e esforço de antigamente (Sanders et. al., 2016).

## 2.2. Tipos de desperdício

Como já mencionado, no centro da casa TPS, o *Lean Manufacturing* está relacionado com a eliminação de desperdícios (Muda em Japonês). Para tal, Ohno (1988) identificou os denominados “7 desperdícios”, sendo eles:

- Produção em excesso: Quando a produção é acima do necessário ou é feita antecipadamente, tendo como consequência a utilização dos recursos sem retorno financeiro, inventário e a necessidade de aumento do armazém, sendo que o planeamento de produção se torna menos flexível (Lacerda et. al., 2016).
- Tempos de espera: tempo de inatividade de pessoal ou máquinas. Pode derivar de avarias de equipamentos, atrasos por parte dos fornecedores ou não balanceamento dos processos de produção (Lacerda et. al, 2016).
- Transporte: Perda causada pelo transporte de material ou pessoal, realizado de forma desnecessária, requerendo muitas vezes sistemas de transporte dispendiosos.
- Processamento excessivo ou incorreto: Uso de recursos e processos não necessários que podem ser eliminados, pois não afetam as características e funções do produto e não acrescentam valor para o cliente.
- Inventário: Matéria-prima, *Work-In-Progress* (WIP) ou mesmo produtos acabados armazenados, devido ao excesso de compras e produção em excesso, podendo causar aumento do lead time, custos de obsolescência e custos de armazenamento. O excesso de inventario esconde ainda problemas, tais como, entregas tardias dos fornecedores, defeitos, tempos de paragem de equipamentos e longos tempos de *setup* (Liker, 2021)
- Movimentações: Movimentos desnecessários dos funcionários durante a execução das suas atividades, por má ergonomia e desorganização do local de trabalho.

---

- Defeitos: Produção de partes ou produtos com defeitos. Habitualmente estão relacionados à falta de *standard work* e de sistemas de controlo de qualidade ou erro humano, perdendo-se tempo e esforço em reparações, produção de substituição e inspeção (Lacerda et al., 2016; Liker, 2021).

Segundo Liker & Meier (2006), um oitavo desperdício deve ser considerado nesta lista, o talento: o não aproveitamento do potencial e criatividade dos colaboradores.

### 2.3. Princípios *Lean Thinking*

James Womack e Daniel Jones (2003), no seu livro “Lean Thinking – Banish Waste and Create Wealth In Your Corporation “ definem os cinco princípios que orientam as empresas quanto à eliminação dos desperdícios na cadeia de valor, sendo eles: 1) especificação do valor – definido pelo cliente de maneira a compreender o que o cliente quer e o que está disposto a pagar; 2) Identificação da Cadeia de Valor – identificação das ações específicas a desenvolver que acrescentem valor ao produto/serviço de acordo com o que o cliente está disposto a pagar; 3) Fluxo de Valor – eliminação de *bottlenecks* e atrasos no processo de produção para criar um fluxo suave de trabalho; 4) Produção Pull - Permitir ao cliente “puxar” o produto ou serviço através do processo de produção, em vez de o “empurrar” através dele. Isto é, começar a produção apenas quando é solicitada pelo cliente. Aqui verifica-se o conceito JIT, já mencionado acima, que dá luz à produção apenas do necessário, evitando acumulação de inventário e potencialidade de obsolescência (Womack & Jones, 2003); 5) Busca da perfeição: Se as organizações conseguem executar os quatro primeiros princípios, todas as atividades se tornam mais transparentes. Isto permite o aperfeiçoamento das atividades e produtos pela melhoria contínua, através da identificação e eliminação de atividades que não acrescentam valor para o cliente (Emiliani, 1998).

Para se conseguir estabelecer produção Pull, utiliza-se o valor de *Takt Time* para determinar o ritmo de produção necessário para satisfazer a procura dos clientes. É calculado como o tempo de produção disponível dividido pela procura do cliente e é utilizado para sincronizar o ritmo de trabalho com a taxa de procura do cliente. Se o tempo de ciclo for maior que o *Takt Time*, a taxa de procura do cliente não será correspondida (Black & Hunter, 2003).

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tempo de produção disponível no período } p}{\text{Número de produtos pedidos no período } p} \quad (1)$$

Já o cálculo para o tempo de ciclo de cada etapa, pode ser dado por

$$\text{Tempo de Ciclo} = \frac{\text{Tempo de processamento de etapa}}{\text{Capacidade}} \quad (2)$$

## 2.4. Ferramentas e técnicas *Lean*

De modo a implementar a metodologia *Lean*, são necessárias algumas ferramentas e técnicas relacionadas com o *Lean Thinking*, nomeadamente, *Line balancing*.

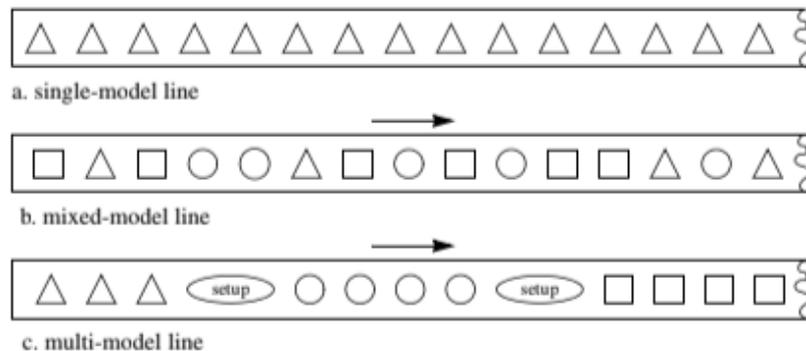
### 2.4.1. *Line Balancing*

Henry Ford no início do século XX foi quem introduziu o conceito de linha de montagem, no entanto, o primeiro problema de balanceamento de linha foi proposto por Bryton em 1954 (Li et al., 2019) e a primeira formulação matemática conhecida foi feita por Salveson em 1955 e apelidada de SALB (*Simple Assembly Line Balancing*) (Battaia & Dolgui, 2013).

De acordo com Becker & Scholl (2006), ALBP refere-se ao processo de distribuição de tarefas entre postos de trabalho numa linha de produção, a fim de alcançar um nível desejado de eficiência e produtividade. O objetivo do balanceamento de linha é minimizar o tempo ocioso dos trabalhadores e das máquinas, garantindo ao mesmo tempo que a carga de trabalho seja distribuída uniformemente entre todos os postos de trabalho e encontrar um tempo de ciclo  $c$  e um número  $m$  de postos de trabalho. Existem ainda, as seguintes variantes de SALBP:

- SALBP-1: Dado o tempo de ciclo  $c$ ; minimizar o número de postos de trabalho  $m$ ;
- SALBP-2: Dado o número de postos de trabalho  $m$ ; minimizar o tempo de ciclo  $c$ ;

- SALBP-F: Procura encontrar uma solução exequível, para o caso em que o tempo de ciclo  $c$  e número de postos de trabalho  $m$  é fixo;
- SALBP-E: Maximizar a eficiência da linha para o tempo de ciclo  $c$  e número de postos de trabalho  $m$  variáveis.



**Figura 2.2** - Tipos de linha de montagem (Becker & Scholl, 2006).

Em relação ao estabelecimento de um período para a realização das tarefas em cada posto de trabalho, as linhas de montagem podem ser divididas em dois grupos (Simaria, 2001):

- Linhas Síncronas – linhas onde existe um tempo pré-determinado, denominado tempo de ciclo, associado aos postos de trabalho para completar o conjunto de operações que foi atribuído a cada um.
- Linhas Assíncronas – linhas onde não existe um período fixo para cada posto de trabalho completar o conjunto de tarefas. Nestes casos, são necessários armazéns intermédios entre os postos de trabalho, onde o operário do posto anterior coloca o produto montado, que será mais tarde encaminhado para o posto seguinte.

Outro fator agravante da complexidade do balanceamento é a natureza dos tempos de processamento das tarefas, podendo os tempos ser (Simaria, 2001):

- Tempos determinísticos – quando a variabilidade esperada dos tempos de processamento é pequena e a utilização de valores fixos é justificada. Isto acontece nas operações efetuadas por operadores humanos, onde o número de tarefas é, normalmente, simples. A variabilidade associada à utilização dos operadores humanos existe, porém, é pouco significativa.

- Tempos estocásticos – quando a variabilidade dos tempos de processamento é considerada, por ser significativa e podendo afetar consideravelmente o desempenho do sistema. Isto acontece tanto em operações longas ou complexas efetuadas manualmente como em operações automatizadas, onde podem ocorrer avarias nas máquinas, sendo que essas probabilidades devem ser incorporadas nos modelos de balanceamento.

O número mínimo de postos de trabalho para corresponder à procura do cliente é conhecido fazendo o quociente da soma de todas as tarefas individuais, sendo que  $T_j$  se refere ao tempo da tarefa  $j$ , pelo *Takt Time* (Peinado & Graeml, 2007).

$$\text{Nº Postos de trabalho} = \frac{\sum T_j}{\text{Takt Time}} \quad (3)$$

A capacidade da linha de produção é também um indicador considerável. Para se calcular é preciso identificar o(s) processo(s) gargalo, sendo que é baseado nele que a capacidade de produção se limita.

$$\text{Capacidade de produção} = \frac{\text{Tempo de produção disponível no período } p}{\text{Tempo do(s) processo(s) gargalo}} \quad (4)$$

A gama operatória é uma sequência de atividades necessárias para produzir um produto final. Esta inclui a especificação de cada atividade e o tempo necessário para executá-la, bem como a ordem em que devem ser realizadas, ou seja, a sua relação de prioridade. Os elementos no balanceamento da linha podem ser resumidos e visualizados por um gráfico de precedência. Este gráfico contém um nó referente a cada tarefa, pesos dos nós para os tempos da sua tarefa correspondente e setas indicando a relação de precedência. (Boysen et al., 2008).

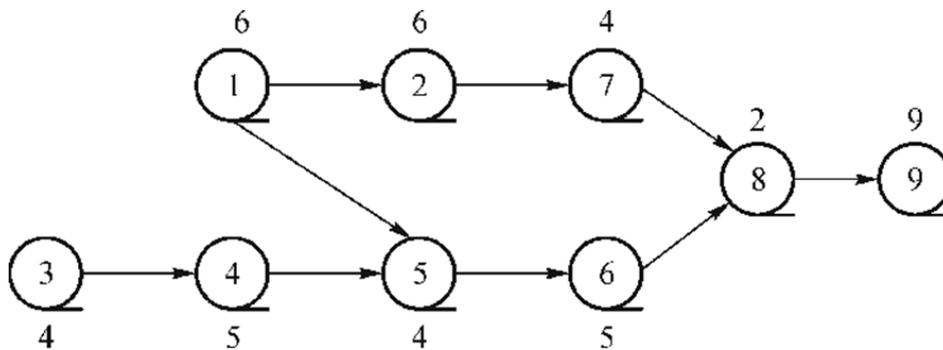


Figura 2.3 - Exemplo de diagrama de precedência (Boysen et al., 2008).

Dois indicadores de qualidade do balanceamento de uma linha de produção verificam-se na literatura de balanceamento de linha, sendo os mesmos, *Balance Delay* e *Smoothness Index*. No entanto, as duas medidas apresentam alguns inconvenientes. *Balance Delay* (Kilbridge & Wester, 1961) representa a ineficiência da linha e não tem qualquer ligação matemática com o "equilíbrio" ou a uniformidade da atribuição de trabalho. Já o *Smoothness Index* é calculado como a diferença média entre o tempo padrão para cada tarefa e o tempo efetivo necessário para a conclusão da tarefa e sofre com a utilização do *Takt Time* como base para medir a variância. Quando todas as estações são equilibradas a menor tempo que o *Takt Time*, surge uma falha lógica na equação. Assim, mais tarde, foram introduzidos novos indicadores adimensionais e representados por meio de uma escala de 0% a 100%, Eficiência da linha (*Line Efficiency*) e Eficiência do Balanceamento (*Balance Efficiency*) (Driscoll & Thilakawardanna, 2001). A eficiência da linha refere-se, em termos percentuais, à utilização da linha de produção, incluindo aspetos de avaliação económica e é dada pela seguinte fórmula:

$$\text{Eficiência da Linha} = \frac{\sum T_j}{m * TC} \quad (5)$$

Pela fórmula, é visível que quanto menor for o número de postos de trabalho, maior é a eficiência e menor é a exigência de recursos, como operadores (Sivasankaran & Shahabudeen, 2014). A eficiência do balanceamento diz respeito à distribuição de trabalho

pelos vários postos de trabalho. Como base do seu cálculo serve a soma dos desvios do tempo de cada posto de trabalho em relação à média do tempo de todos os postos de trabalho.

$$\text{Eficiência de balanceamento} = \left(1 - \frac{\sum |T_j - T_{avg}|}{m \cdot T_{avg}}\right) * 100 \quad (6)$$

Contudo, vários fatores podem afetar a linha de produção mesmo com uma linha de produção bem balanceada, como indisponibilidade de máquinas e problemas de manutenção, absentismo do operador ou turnover, problemas de qualidade, perturbações na cadeia de abastecimento e materiais, entre outros.

Como procedimento ao balanceamento da linha de montagem Oliveira et al. (2017) descrevem a seguinte forma:

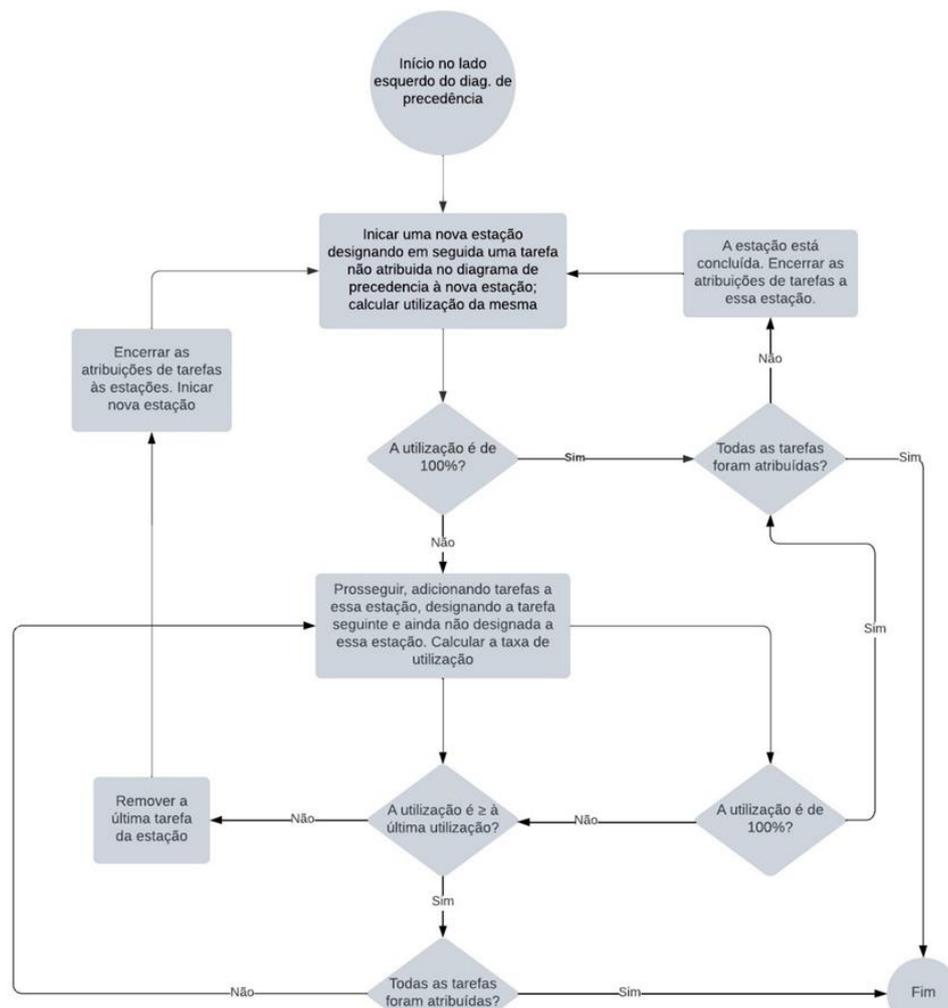
1. Determinar as tarefas elementares para concluir uma unidade de produto;
2. Determinar a ordem das tarefas;
3. Elaborar o fluxograma das tarefas;
4. Estimar a duração de tempo de ciclo (operações devem ser divididas o mais curtas possíveis, de maneira que possam ser cronometradas);
5. Calcular *Takt Time*;
6. Calcular o número mínimo teórico de postos de trabalho;
7. Usar uma regra heurística para atribuir tarefas a postos de trabalho de forma que a linha de produção seja balanceada.

As regras heurísticas são mais baseadas em lógica e senso comum do que propriamente modelos matemáticos. Nenhuma destas regras garante uma solução ótima, mas são propensas a dar origem a boas soluções que se aproximam do ótimo (Ponnambalam et al., 1999).

Portanto, com o balanceamento é pretendido distribuir uniformemente as tarefas pelos diferentes postos de trabalho, com o objetivo de minimizar os tempos de paragem e equilibrar as capacidades de produção de cada posto (Kumar & Mahto, 2013), maximizando o lucro e eficiência da linha.

### 2.4.1.1. Heurística da Utilização Incremental

Desenvolvida por Gaither em 1996, a Heurística de Utilização Incremental (IUH) possibilita a existência de estações paralelas e consequentemente o aumento de taxa de utilização dos PT's (McMullen & Frazier, 1997). Segundo Gaither e Frazier (2012), a vantagem da regra heurística incremental é a capacidade deste procedimento resolver problemas de balanceamento de linha, independentemente do tempo de duração das tarefas em relação ao tempo de ciclo. Diferente de outras regras, como a regra heurística da mais longa duração, onde as tarefas podem ter um tempo superior ao tempo de ciclo. Funciona ao acrescentar tarefas a uma estação de trabalho em ordem de precedência de tarefa, uma de cada vez, até que a utilização seja de 100% ou se observe que tal utilização diminua. Este procedimento é repetido na estação seguinte para as restantes tarefas (Leite et al., 2017; Oliveira et al., 2017).



**Figura 2.4** - Algoritmo da heurística da utilização incremental (adaptado de Leite et al., 2017).

O algoritmo da IUH é apresentado na figura acima. Assim, depois de definido o volume de produção, pode ser calculado o *Takt Time*, visto que condiciona os outros parâmetros utilizados pelas regras heurísticas de balanceamento de linha e que estabelece o número de estações de trabalho necessário (Gaither & Frazier, 2012).

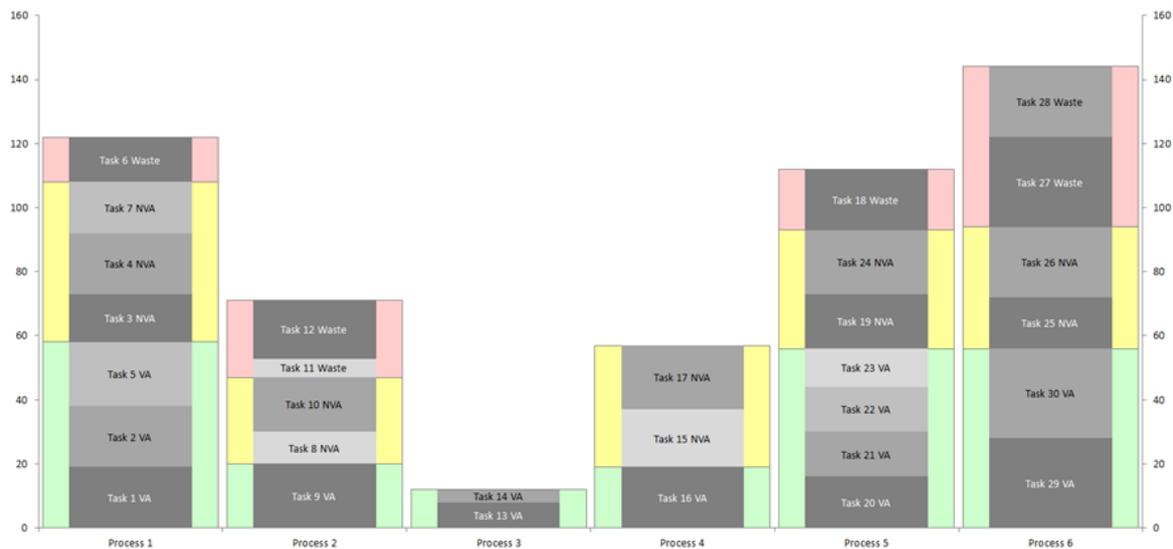
Através de vários estudos, foi comprovado que esta heurística aplicada a balanceamentos de linhas, embora não conduza a soluções ideais, desenvolve soluções muito boas (McMullen & Frazier, 1997).

Breginski et al., (2013) compararam os resultados do balanceamento de uma linha de produção de indústria automível recorrendo a oito regras heurísticas diferentes e concluiu que, a IUH se encontrava entre as três que permitiram alcançar uma maior taxa de utilização. Leite et al., (2017) realizaram o balanceamento de uma linha através da IUH e através de programação linear, na qual chegaram ao mesmo resultado e concluíram que a IUH se revela eficaz para aumentar a eficiência de uma linha de produção.

#### **2.4.2. Gráfico Yamazumi**

O gráfico *Yamazumi* é uma ferramenta utilizada para o balanceamento da linha, que envolve as componentes homem-máquina e representa o tempo de ciclo de cada operação (Naufal et al., 2013). O eixo vertical diz respeito ao tempo gasto e o eixo horizontal ao posto de trabalho. Cada tarefa pode ser diferenciada em três categorias (Sabadka et al., 2017):

- Tarefas que acrescentam valor (*Value Added Activities*)
- Tarefas que não acrescentam valor, mas são necessárias (*Non-Value Added Activities*)
- Desperdícios (*Waste*)



**Figura 2.5** - Exemplo de Gráfico de Yamazumi (Alesandra Blakeston. (2015, 28 de julho). *Yamazumi Charts*. <https://alesandrab.wordpress.com/2015/07/28/yamazumi-charts/>).

Assim, para cada posto de trabalho na linha de balanceamento são vistas as diferentes etapas realizadas e separadas de acordo com o seu valor para o processo. O objetivo é: a) eliminar as tarefas que são desperdício, reduzir ou simplificar ao tornar *lean* as tarefas que não acrescentam valor e otimizar as tarefas que acrescentam valor. O gráfico *Yamazumi* torna-se um importante elemento visual, simples, público e que aponta as oportunidades vitais que podem mudar tudo (Freitas, 2011).

## 2.5. Barreiras no balanceamento e implementação do *Lean* na reconfiguração da linha

Encontrar uma solução de balanceamento de linha de montagem e implementar metodologias *Lean* pode apresentar desafios e obstáculos que precisam de ser considerados pelos gestores e equipas envolvidas no processo. Alguns dos principais obstáculos incluem:

- Dificuldade em lidar com a variabilidade: a variabilidade pode levar a diferenças significativas no tempo de ciclo entre as tarefas, o que pode levar a congestionamentos ou ociosidade na linha. Também pode aumentar a probabilidade de retrabalho, erros e desperdícios, sendo difícil determinar a confiabilidade do processo.

Essa variabilidade pode ser causada por uma série de fatores, entre a qualidade do material, habilidade dos trabalhadores e o desgaste das ferramentas. É importante entender a natureza da variabilidade e implementar estratégias para minimizá-la (Womack et al., 1990);

- Falta de comunicação e coordenação: Pode dificultar a implementação de mudanças eficazes e sustentáveis. Quando a equipa não está alinhada sobre as responsabilidades e o papel de cada um, é mais difícil implementar essas mudanças de maneira eficaz e obter resultados positivos. Pode levar a atrasos na produção, erros e retrabalho (Liker, 2021);

- Falta de treinamento: Para a correta implementação da metodologia Lean e o balanceamento da linha são necessárias habilidades e conhecimentos específicos que podem ser adquiridos através de treinamento (Shah & Ward, 2003);

- Resistência à mudança: Sendo que tudo isto envolve um processo de mudança organizacional, a resistência à mudança é um desafio a ter em conta. É importante envolver os trabalhadores no processo de mudança e fornecer suporte e treino adequado para ajudá-los na adaptação às novas práticas.

### 3. METODOLOGIA DE ESTUDO

Este capítulo surge, uma vez que estruturar uma metodologia específica adequada ao caso de estudo, com base na literatura estudada, é crucial, sendo que a presente dissertação foi desenvolvida de forma a dar resposta à seguinte questão de investigação:

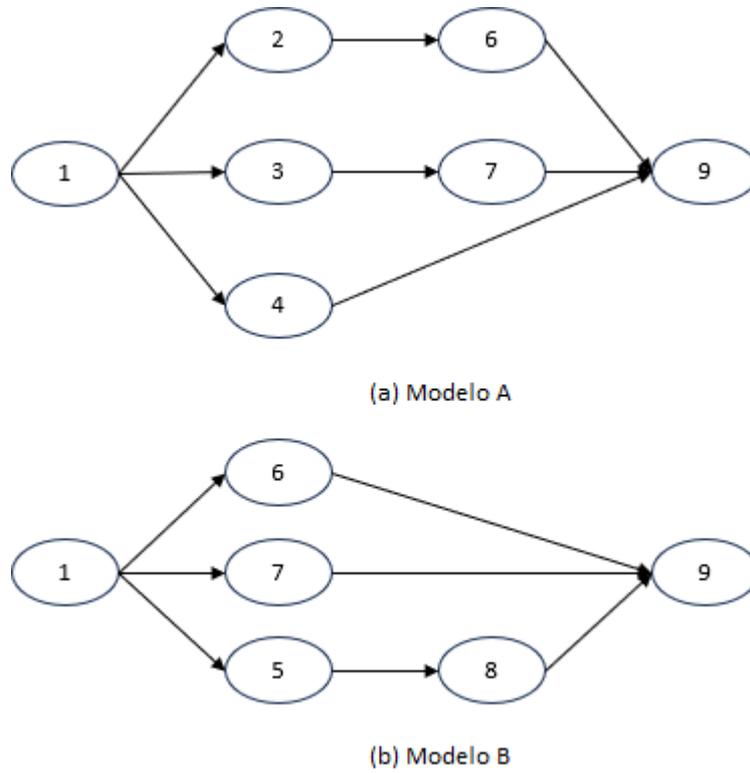
- Como balancear uma linha de produção com atividades dependentes e independentes ao operador e com tempos de processamento superiores ao *takt time*?

#### 3.1. Proposta metodológica de estudo

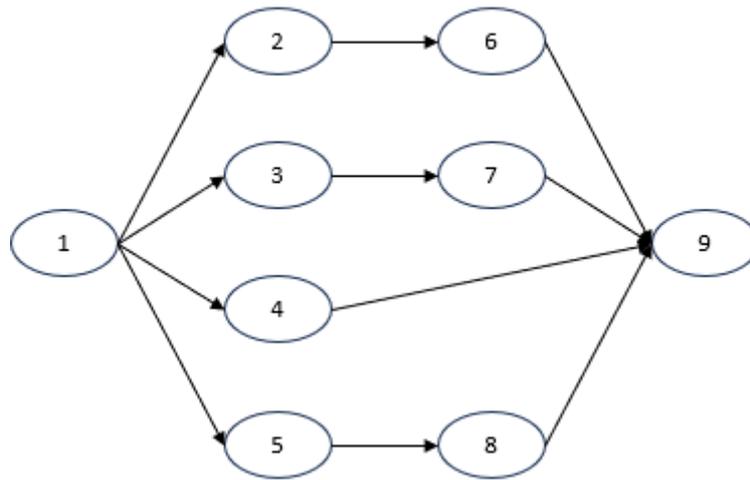
O caso de estudo é uma linha de montagem mista com várias gamas do mesmo produto, no entanto, a empresa estabeleceu um TRF padrão representativo para cada um dos três principais grupos: Holandeses, Ingleses e Outros. Estes variam em componentes básicos e algumas etapas do processo produtivo. Por conseguinte, o estudo será feito com base nestes três TRF padrão. Dado que as cubas dos grupos dos Holandeses e Outros apresentam sensivelmente os mesmos tempos de processamento e etapas ao longo de todo o processo produtivo, são considerados os dois num só grupo, havendo apenas distinção nos Ingleses.

Tratando-se de uma linha de montagem mista, onde dois grupos de produtos seguem diferentes diagramas de precedência, o modelo proposto foca-se no balanceamento da linha de montagem, transformando o problema em uma linha de uni modelo, onde dois métodos são utilizados: a) diagrama de precedência equivalente; b) ajuste no tempo de processamento das tarefas (Gerhardt, 2005; Fokkert & de Kok, 1997).

- a) Método do diagrama de precedência equivalente



**Figura 3.1** - Diagrama de Precedência para modelo A (a) e modelo B (b) (Adaptado de Gerhardt, 2005).



**Figura 3.2** - Diagrama de precedência equivalente dos modelos A e B (Adaptado de Gerhardt, 2005).

- b) Método do ajuste no tempo de processamento das tarefas: Neste método, o tempo de processamento é determinado pela média ponderada da  $k$ -ésima tarefa comum aos diferentes modelos, conforme a equação 7.

$$Tp_k = \sum_{n=1}^N pd_n * tk_n \quad (7)$$

Em que  $pd_n$  representa a percentagem do modelo  $n$  relativamente aos demais modelos produzidos na linha e  $tk_n$  representa o tempo de processamento para  $k$ -ésima tarefa do modelo  $n$ .

Na figura 3.3 está representada a metodologia para o desenvolvimento do caso de estudo proposto na presente dissertação:

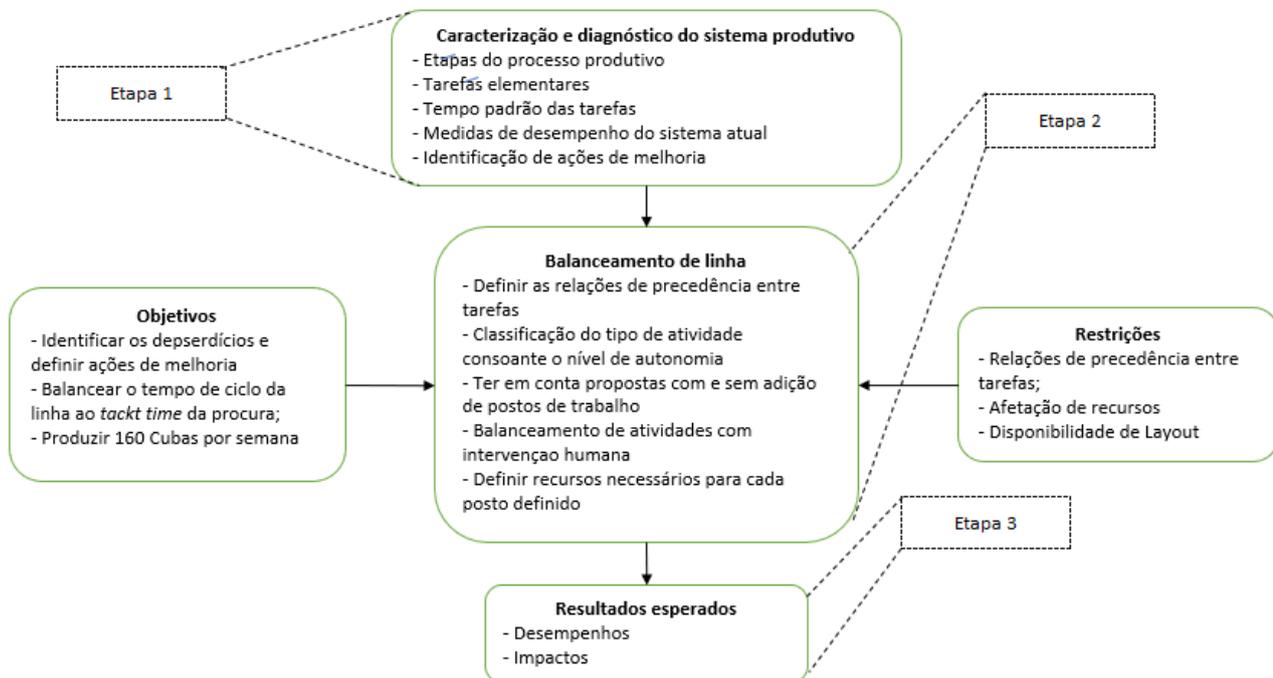
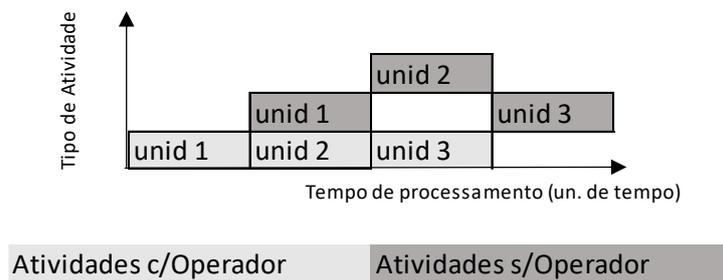


Figura 3.3 - Esquema macro da metodologia do caso de estudo proposto.

A linha em estudo é composta por operações manuais e automáticas, como descrito na secção. Portanto, o problema pode ser descrito como um conjunto de atividades dividido em dois conjuntos diferentes: dependente do operador e não dependente. Portanto, se o conjunto de atividades sem operador for executado exclusivamente por máquinas, o balanceamento da carga de trabalho dos postos da linha e alocação dos recursos da mesma máquina podem ser considerados em paralelo. Como tal, para o modelo proposto, o balanceamento é feito para as atividades dependentes do operador. Os postos de trabalho e os tempos de ciclo são calculados por meio do balanceamento das atividades no modelo sugerido. Para um melhor entendimento do paralelismo entre atividades, veja-se o exemplo esquemático da figura 3.4.



**Figura 3.4** - Exemplo de paralelismo entre atividades.

Uma vez classificadas as atividades, aplica-se a IUH, que permite o balanceamento de atividades com tempos superiores ao tempo de ciclo, acrescentando postos de trabalho paralelos. São realizadas iterações em conjunto com o desenvolvimento da heurística de forma a obter o número de turnos que permite maximizar a utilização dos postos, neste caso, a taxa de ocupação dos operadores (equação 8).

$$\text{Ocupação}_k = \frac{\sum T_i}{T_{disp} \times TT \times t} \quad (8)$$

Com,

$i = 1, \dots, I$ : Tarefa  $i$

$k = 1, \dots, K$ : Posto  $k$

$T_i$  – Duração da atividade  $i$

$t$  – Número de turnos

Com as iterações pretende-se determinar o conjunto de tarefas alocadas a cada posto, que em função de um número de turnos diários, permite uma taxa de ocupação por operador próxima dos 100%.

Após a aplicação da heurística, será possível obter os postos de trabalho determinados juntamente com as respetivas taxas de ocupação e tempos de ciclo. Em seguida, determina-se o número de recursos necessários para realizar as atividades independentes dos postos de trabalho, definidos na etapa anterior.



## **4. CASO DE ESTUDO**

O presente capítulo tem como objetivo apresentar uma breve introdução da empresa, uma vez que a dissertação foi desenvolvida nas instalações da mesma. De seguida, são apresentados os principais produtos, o processo de produção dos mesmos e respetivas características.

### **4.1. Apresentação da empresa**

A dissertação foi realizada no âmbito de estágio curricular com início em fevereiro de 2023 e com duração de cinco meses, na empresa Efacec Energia, Máquinas e Equipamentos Elétricos, S.A, sediada no Parque Empresarial Arroteia Poente, Porto.

A Efacec tem cerca de 70 anos de marca, mas a sua história remonta há mais de 100 anos. Teve início em 1905, como uma sociedade de serração mecânica “A Moderna”. Posteriormente, em 1921, surgiu a Eletro-Moderna, Lda, que se dedicava à produção de motores, transformadores, geradores e acessórios elétricos, e onde foram desenvolvidas as habilidades que sustentam as atividades do conjunto de empresas que atualmente se constituem como a Efacec Power Solutions (EPS). O grupo Efacec tem como visão antecipar soluções sustentáveis para o mundo na nova era energética e como missão criar valor através de soluções de energia, ambiente e transporte, integrando diferentes tecnologias inovadoras.

A EPS encontra-se distribuída por três polos industriais em Portugal, o polo da Maia, da Arroteia e o de Lagoas Parque. Relativamente à organização, a EPS é constituída por três empresas e engloba oito UN: Produtos de Energia, com as UN transformadores (TRF), Aparelhagem (AMT), Service (SRV) e Automação (ASE); Engenharia e Sistemas que incluem Energia (ENE), Ambiente e Indústria (AMB) e Transportes (TRP); e na área da Mobilidade (EEM). Na tabela X encontra-se de forma sucinta as UN pertencentes a cada empresa. Na tabela 1 encontra-se de forma sucinta as UN pertencentes a cada empresa.

Efacec Energia, SA	Efacec Energia e Sistemas, SA	Efacec Eletrical Mobility, SA
Transformadores	Energia	Mobilidade Elétrica
Aparelhagem	Ambiente e Indústria	
Service	Transportes	
Automação		

Tabela 4.1 - Unidades de Negócio pertencentes a cada empresa Efacec.

## 4.1. Caracterização do estado atual (AS-IS)

Como mencionado no capítulo 3 na metodologia, o caso de estudo iniciou-se com a caracterização da situação atual da linha de montagem de cubas para OI DT (*Oil Immersed Distribution Transformer*). Procedeu-se a um estudo detalhado dos principais processos na linha de montagem das cubas, realizando-se o mapeamento através de BPMN, a caracterização de cada posto de trabalho e as tarefas alocadas, levantamento de tempos e, por último, cálculo dos indicadores atuais.

### 4.1.1. Produto

O estágio decorreu na UN de transformadores que, por sua vez, está distribuída em três segmentos, representados na figura 7.

A linha de montagem de cubas sobre a qual a dissertação foi desenvolvida serve como *feeder line* para a linha de produção de transformadores OI DT. Sendo o foco os OI DT, ainda existem três grandes grupos: Ingleses, Holandeses e Outros. Diferentes cubas são produzidas de acordo com o grupo a que pertencem, tratando-se por isso, de um modelo de linha de montagem mista.

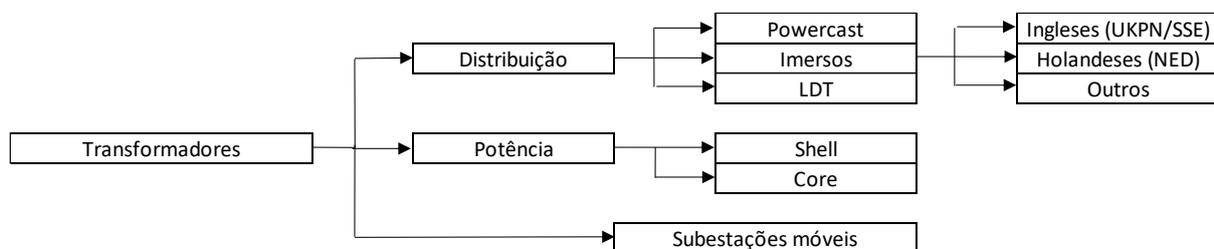


Figura 4.1 - Tipos de transformadores produzidos na empresa.

A cuba do transformador tem como função o suporte e proteção mecânica dos diversos componentes do transformador. Além disso, garante a ligação à terra do circuito magnético e das várias partes metálicas do transformador. O depósito é cheio com óleo mineral que tem como função o isolamento elétrico e refrigeração, no qual se submergem os bobinados e núcleo metálico do transformador.

Normalmente, as cubas utilizadas em transformadores são construídas com chapa de aço soldada, seguindo um projeto meticuloso que considera a distribuição interna de massa e os reforços necessários nos pontos considerados críticos. Algumas das características fundamentais a serem garantidas no fabrico das cubas e respetivos componentes incluem estanquicidade, resistência à corrosão, resistência estrutural e resistência ao vácuo, visando garantir um bom desempenho ao longo da vida útil do transformador e reduzir as necessidades de manutenção.

A falta de estanquidade, que pode levar a vazamentos de óleo isolante, representa um grave problema técnico e ambiental. Resolver esse problema na instalação pode ser difícil e pode exigir o manuseio de grandes quantidades de óleo isolante. Por isso, é crucial que haja um controlo de qualidade eficiente na escolha dos materiais usados no fabrico e que sejam realizados ensaios para garantir o desempenho adequado do equipamento. Além dos vazamentos de óleo, a falta de estanquicidade pode permitir a entrada de humidade para o interior do transformador.

#### **4.1.2. Descrição do Sistema Produtivo**

A empresa tem como objetivo reconfigurar a linha de montagem de cubas que alimenta a linha de produção de OI DT, com o objetivo de aumentar a sua capacidade de produção semanal para 160 cubas.

Neste subcapítulo será descrito o fluxo do processo produtivo e das etapas pelas quais o produto passa até estar finalizado.

A linha de montagem pode ser dividida em duas grandes secções: Zona de Construção Soldada e Zona de Pintura. Já as cubas pertencentes ao grupo dos Ingleses passam ainda por uma etapa subcontratada, a galvanização.

Depois de definir o produto, foi criado um mapeamento de processo que representa o fluxo de produção de cubas. Esse mapeamento é um modelo simplificado que mostra visualmente o processo da linha, desde a visão geral até aos detalhes de cada atividade.

Nos Apêndices A, B e C, é possível visualizar a parte 1,2 e 3 do mapeamento do processo em estudo. A piscina representa o processo de produção de uma Cuba e as raias representam os postos responsáveis pelas atividades correspondentes.

## **4.2. Análise crítica do sistema atual**

Este subcapítulo está ligado às fases da Etapa 1, que consiste em descrever e diagnosticar o estado atual do sistema de produção em estudo. É visto ao detalhe a sequência de atividades, que incluem a organização dos dados, a caracterização dos postos de trabalho e a análise do desempenho do sistema, através de indicadores já mencionados.

Tratando-se de uma *feeder line* que fornece cubas para um leque variado de transformadores, foi realizada uma análise ABC aos artigos produzidos em 2019, com o intuito de obter um grupo representativo para avaliar o estado atual da linha e utilizar esse mesmo grupo para realizar o balanceamento da linha de montagem. Resultaram três grandes grupos correspondentes a 65% do volume: transformadores do tipo inglês, do tipo holandês e outros. Cada um destes três grupos abrange diferentes produtos, que não diferem entre si no processo produtivo, mas em especificações de tamanho ou alguns componentes, por exemplo. Para efeitos de balanceamento, foram utilizados os tempos de tarefas dos artigos pai de cada grupo, sendo estes os mais representativos de cada um dos três grupos, e as percentagens relativas à produção de artigos do tipo inglês, holandês e outros, sendo de 40,79%, 42,23% e 16,98%, respetivamente.

O sistema atual opera em ritmo síncrono, o que significa que a velocidade da linha de produção é determinada pela estação de trabalho com o tempo de ciclo mais longo, que se torna a restrição ou “gargalo” do processo. Essa estação dita o ritmo de produção (TC) para a linha.

A organização forneceu os tempos de processamento padrão, posteriormente discutidos com os chefes de cada equipa e colaboradores, que foram utilizados em todo o estudo. Inicialmente, os dados foram analisados e organizados, sendo elaborada a tabela 2 para listar as tarefas elementares e os respetivos tempos de duração para cada grupo. Como já mencionado, uma vez que os Holandeses (NED) e os Outros apresentam sensivelmente os mesmos tempos de processamento e as mesmas tarefas ao longo do processo produtivo, consideram-se como se fosse só um grande grupo.

Inicialmente, foram analisados e organizados os dados, tendo sido criada a tabela 3.3 para esse propósito. Nessa etapa, as tarefas e os respetivos tempos de duração foram registados. Além disso, as tarefas foram classificadas com base na sua contribuição para a cadeia de valor e, para melhor gestão visual, foram classificadas da seguinte maneira:

**VA** – Valor acrescentado

**NNVA** – Valor não acrescentado, mas necessário

**NVA** – Valor não acrescentado

Tarefa	Descrição	Tempo processamento (min) NED/Outros	Tempo processamento (min) UKPN/SSE
A	Embutir Alhetas	30	45
B	Soldar Painéis e Verguinha	35	50
C	Montar+Soldar Fundo e Bordo	55	385
D	Arrefecer	20	20
E	Ensaiar Fundo e Bordo	15	15
F	Soldar Cuba	90	60
G	Arrefecer	20	20
H	Ensaio final	30	40
I	Montar+Soldar Tampa	90	60
J	Desempenar	60	-
K	Preparar para Decapar Fundo e Bordo	5	-
L	Decapar Fundo e Bordo	15	-
K	Preparar para Decapar Tampa	5	-
D	Decapar Tampa	15	-
M	Montar Painéis de Alhetas	30	30
N	Galvanizar*	-	10080
O	Limpar Galvanizado	-	60
P	Desengordurar Tampa	-	15
Q	Pintar à Pistola Tampa ("Primário")	30	30
R	Secar Tampa (Exterior)	240	240
S	Pintar à Pistola Tampa ("Esmalte")	30	30
T	Pré-Secagem	30	30
U	Colocar Tampa em Estufa	5	5
V	Secar Tampa (Estufa)	90	90
W	Carga p/Comboio de Pintura	20	20
Y	Túnel de Tratamento de Superfícies	180	180
Z	Pintar por Rega "Primário"	20	20
AA	Pré-Secagem	20	20
AB	Túnel de Secagem "Primário"	80	80
Z	Pintar por Rega "Esmalte"	20	20
AD	Túnel de Polimerização	100	100
AE	Descarga/ Transporte para Zona de Carga	20	20
AF	Acabamentos	15	45

**Tabela 4.2** - Tarefas elementares e tempos de processamento.

Sendo que, são distinguidos os tempos de operário (a preto) dos restantes (a vermelho), como tempos de máquina ou de espera. Uma das tarefas é ainda subcontratada, a galvanização, demorando cerca de 1 semana entre a entrega e recolha do produto. Esta tarefa é exclusiva das cubas do tipo inglesas, já as cubas dos outros dois tipos passam antes pela etapa de decapagem.

Todos os postos de trabalho da linha operam a 2 turnos por dia atualmente, onde o primeiro turno é das 6 às 15, já o segundo turno opera das 15 às 23. Considerando as pausas durante o dia, o primeiro turno tem disponível para produção 460 minutos e o segundo turno 415 minutos, igualando a 875 minutos diários disponíveis para produção. A duração das tarefas pode ser expressa em dias a partir da equação (9), onde  $T_p$  representa o tempo de processamento e  $T_{disp}$  o tempo disponível.

$$Tp(dias) = \frac{Tp(min)}{Tdisp(min/dia)} \quad (9)$$

Na tabela seguinte estão representados os postos de trabalho atuais, número de colaboradores por turno, tarefas alocadas a cada um e os respetivos tempos de processamento em dias, novamente para cada grupo.

Posto	Postos de Trabalho	Tarefas Alocadas	Duração NED (dias)	Duração UKPN (dias)
1	1	Embutir Alhetas	0,034	0,051
2	1	Soldar Painéis de Alhetas e Verguinha	0,040	0,057
3	1	Montar+Soldar Fundo e Bordo ( <i>Full Time</i> )	0,103	0,480
		Arrefecimento	0,014	0,014
4	3	Ensaiair Fundo e Bordo ( <i>Full Time</i> )	0,017	0,017
		Montar+Soldar Fundo e Bordo	0,103	0,480
		Arrefecimento	0,014	0,014
		Ensaiair Fundo e Bordo	0,017	0,017
		Soldar Cuba	0,080	0,069
5	2	Arrefecimento	0,014	0,014
		Ensaiair Cuba	0,034	0,046
		Montar+Soldar Tampa	0,103	0,069
		Desempenar Tampa	0,069	-
6	1	Decapar Fundo e Bordo	0,023	-
		Decapar Tampa	0,023	-
7	1	Montar Painéis de Alhetas	0,034	0,034
Subcontratado	-	Galvanizar*	-	7,000
8	1	Limpar Galvanizado	-	0,069
9	2	Desengordurar Tampa	-	0,017
		Pintar à Pistola Tampa ("Primário")	0,034	0,034
		Secar Tampa (Exterior)	0,167	0,167
		Pintar à Pistola Tampa ("Esmalte")	0,034	0,034
		Pré-Secagem	0,021	0,021
10	1	Secar Tampa (Estufa)	0,109	0,109
		Preparar Cuba para Comboio de Pintura	0,023	0,023
		Túnel de Tratamento de Superfícies	0,206	0,206
11	1	Pintar por Rega "Primário"	0,023	0,023
		Pré-Secagem	0,014	0,014
12	1	Túnel de Secagem "Primário"	0,091	0,091
		Pintar por Rega "Esmalte"	0,023	0,023
		Pré-Secagem	0,028	0,028
13	1	Túnel de Polimerização	0,114	0,114
14	1	Descarga/Transporte para Zona de Carga	0,023	0,023
14	1	Acabamentos	0,017	0,051
Colaboradores/turno	18			

Tabela 4.3 - Postos de Trabalho atuais.

No Apêndice D é possível visualizar o layout atual da linha de montagem, que engloba as zonas de Construção Soldada e Pintura e onde se encontram representados os vários postos de trabalho. Posteriormente, foram identificados os diferentes postos de trabalho, de acordo com a numeração da tabela anterior.

Para facilitar a compreensão, foi criado um diagrama de *Gantt* do Lead Time atual para cada grupo (representados nas figuras 8 e 9), que representam o progresso da montagem de uma unidade do produto através das diferentes tarefas ao longo do tempo. Para não tornar o diagrama extenso, as tarefas dedicadas à pintura da tampa foram somadas (efetuadas no Posto de Trabalho 8), assim como as de pintura da cuba. Estas últimas são realizadas no designado “Comboio de Pintura”, sendo que todas as cubas que ele “carrega” avançam em ritmo igual ao longo das diferentes etapas incluídas no mesmo. As cubas

necessitam de uma segunda ou terceira (no caso de cubas do tipo NED/Outros) camada de pintura de “esmalte” e posterior passagem no túnel de polimerização. Para tal, as cubas voltam ao início do comboio de pintura, passando pelos diferentes túneis e local de pintura do “primário” novamente para poderem chegar ao final do comboio e levar a segunda ou terceira camada. Toda esta passagem pelo comboio sem realização de tarefas revela-se NVA.

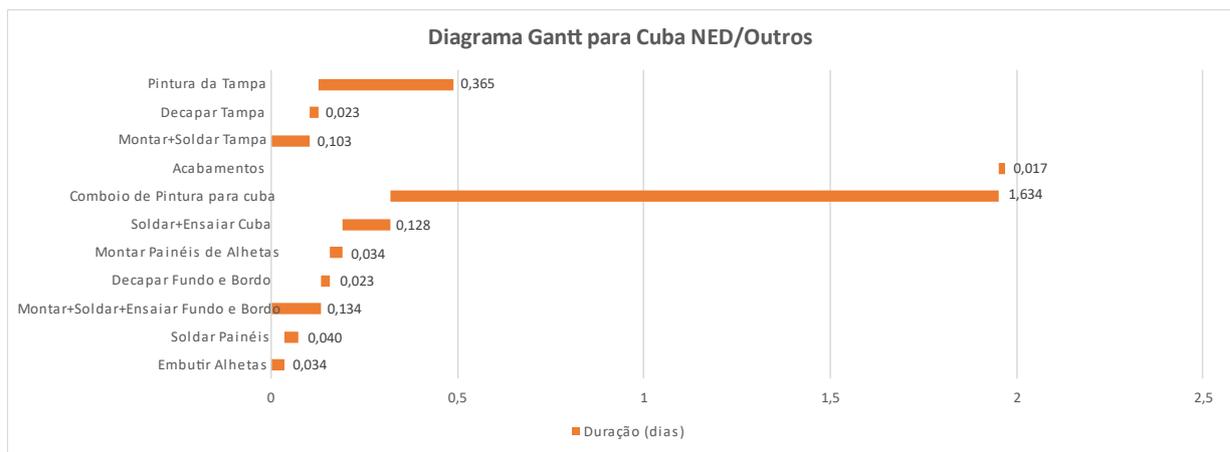


Figura 4.2 - Gantt da produção de cuba do tipo NED/Outros.

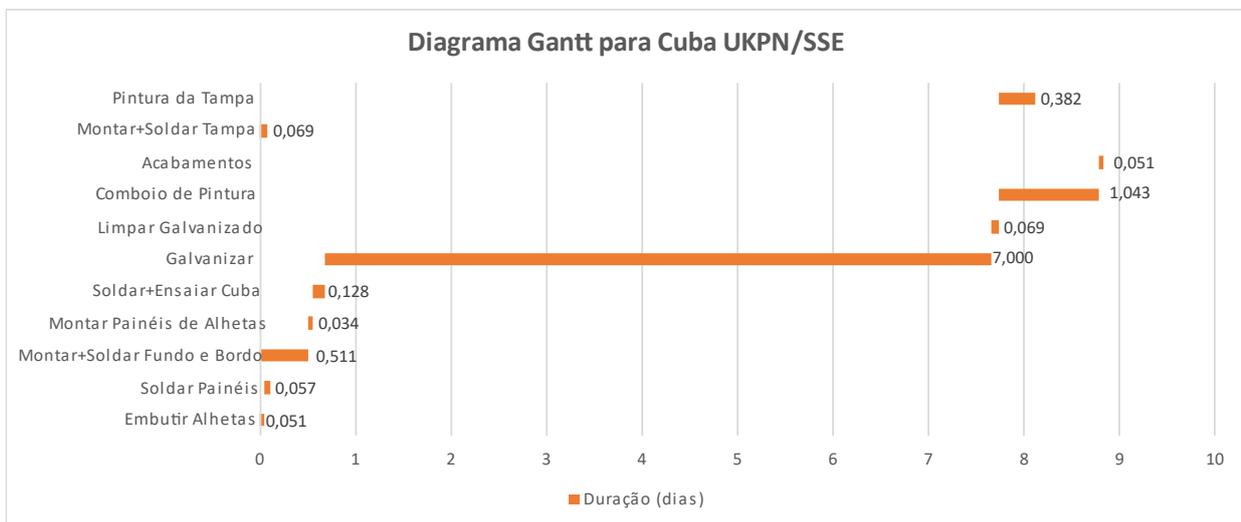


Figura 4.3 - Gantt da produção de cuba do tipo UKPN/SSE.

É possível calcular o lead time da produção atual, sendo que este traduz o tempo de montagem de uma unidade de produto, desde o início até ao fim. Verifica-se que grande parte de lead time se deve ao tempo de comboio de pintura dada as posteriores camadas.

Para cubas do tipo NED ou Outros é de aproximadamente 1,97 dias, já para cubas do tipo UKPN/SSE verifica-se um tempo muito mais elevado dada a tarefa subcontratada, sendo o lead time cerca de 8,84 dias.

O atual ritmo da linha é determinado pela limitação imposta pelo posto com menor capacidade, também conhecido como "estrangulamento da linha". Esse posto é aquele com o tempo de ciclo mais longo, ou seja, com a menor capacidade de produção em comparação aos demais postos de trabalho. Para determinar os tempos de ciclo, foi utilizada a equação que relaciona o tempo de processamento com a capacidade de cada posto de trabalho. Como mencionado no capítulo 3, é aplicado o método de ajuste no tempo de processamento de tarefas, onde o tempo de processamento de cada tarefa é determinado pela média ponderada da k-ésima tarefa comum aos diferentes modelos, conforme a equação 7 (Fokkert & Kok, 1997).

Os tempos de ciclo de cada posto podem ser encontrados na tabela 3.5.

Posto	Tarefas Alocadas	Tck Mixed (dias)
1	Embutir Alhetas	0,041
2	Soldar Painéis e Verguinha	0,047
3	Montar+Soldar Fundo e Bordo ( <i>Full Time</i> ) Ensaiar Fundo e Bordo ( <i>Full Time</i> )	0,100
4	Montar+Soldar Fundo e Bordo Ensaiar Fundo e Bordo Soldar Cuba Ensaiar Cuba	
5	Montar+Soldar Tampa	0,044
6	Decapar Fundo e Bordo Decapar Tampa	0,027
7	Montar Painéis de Alhetas	0,034
Subcontratado	Galvanizar*	7,000
8	Limpar Galvanizado	0,028
9	Desengordurar Tampa Pintar à Pistola Tampa ("Primário") Secar Tampa (Exterior) Pintar à Pistola Tampa ("Esmalte") Pré-Secagem Secar Tampa (Estufa)	0,044
10	Elevação Túnel de Tratamento de Superfícies Túnel de Secagem "T.T.S"	
11	Pintar por Rega "Primário" Pré-Secagem Túnel de Secagem "Primário"	0,056
12	Pintar por Rega "Esmalte" Pré-Secagem Túnel de Polimerização	
13	Descarga/Transporte	0,026
14	Acabamentos	

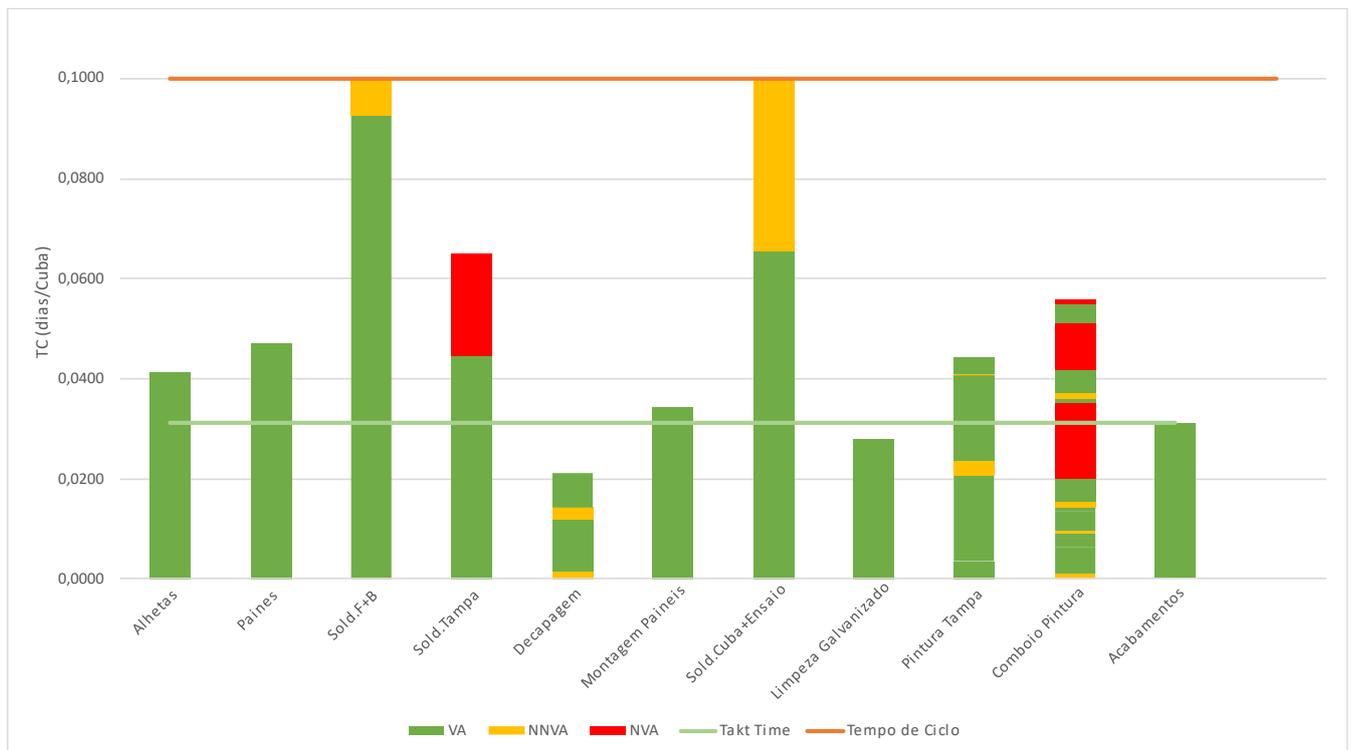
**Tabela 4.4** - Tempos de ciclo atuais.

É possível observar, ao se considerar a montagem dos dois grandes grupos, que os postos de trabalho de estrangulamentos são os postos que envolvem ambas as tarefas de montar e soldar fundo e bordo, como soldadura final da cuba e ensaio da mesma. De salientar que, um posto de trabalho é exclusivo a montar e soldar fundo e bordo e os restantes partilham ambas as tarefas. Assim, derivado da disponibilidade do posto para efetuar uma ou outra tarefa, estimou-se uma distribuição de disponibilidade do mesmo para cada tarefa de maneira a igualar o número de fundos e bordos que saem soldados e ensaiados das posteriores cubas que sofrem soldadura final e ensaio diariamente, dado que a etapa seguinte só pode ser realizada com a anterior concluída. O tempo de ciclo (TC) da linha de montagem em estudo atualmente é de 0,100 dias por unidade de cuba. No entanto, o *takt time* objetivo terá de responder a 160 cubas por semana.

Considerando os 5 dias por semana, tem-se:

$$Takt\ Time\ (TT) = \frac{5}{160} = 0,031\ dias/cuba \quad (10)$$

Para melhor visualizar o equilíbrio de cargas, o desempenho de cada posto e a comparação dos tempos de ciclo atuais com o *takt time* objetivo, foi elaborado um gráfico *Yamazumi* (figura 3.5), de maneira a perceber o tempo que está a ser potencialmente desperdiçado e quais os postos com mais atividades de valor não acrescentado.



**Figura 4.4 - Yamazumi Atual.**

Através do gráfico é possível concluir que os postos atualmente definidos e as respectivas cargas não têm capacidade para produzir segundo o *takt time* desejado, sendo que existe um grande tempo de inatividade em cada posto, devido à falta de balanceamento. Além do mais, atividades como desempenar tampas, realizar o transporte de cubas do fim do comboio até ao início e todo o percurso do comboio efetuado sem realizar as tarefas consideram-se como NVA. Já atividades como pré-secagens, cargas e descargas e ensaios consideram-se como NNVA. Verificou-se então que a tarefa de desempenar tampas ocupa cerca de 31% do tempo de ciclo do posto, ensaio de cuba 34% e 44% do tempo de ciclo para as cubas ficarem completas no comboio de pintura é gasto em voltas desnecessárias.

Como métricas utilizadas para avaliar a situação atual da linha, utilizaram-se primeiramente as fórmulas de eficiência da linha e eficiência de balanceamento segundo Driscoll & Thilakawardanna (2001). Na tabela 4.5 estão representadas as folgas dos postos.

PT	Tck	Folga	%Ocupação Op.	Folga (horas/Cuba)	Custos/Cuba (MUDA)
1	0,041	0,059	41,28%	0,856	10,70 €
2	0,047	0,053	46,99%	0,773	9,66 €
3	0,099	0,001	100,00%	0,019	-
4	0,099	0,001	100,00%	0,013	-
5	0,060	0,040	59,66%	0,588	7,35 €
6	0,007	0,093	6,77%	1,360	17,00 €
7	0,034	0,066	34,29%	0,958	11,98 €
8	0,028	0,072	11,19%	1,050	13,13 €
9	0,043	0,056	44,39%	0,811	10,137
10	0,056	0,044	56,46%	0,635	7,94 €
11	0,046	0,054	45,71%	0,792	9,90 €
12	0,056	0,044	56,46%	0,635	7,94 €
13	0,056	0,044	56,46%	0,635	7,94 €
14	0,031	0,069	80,23%	1,008	12,60 €
<b>SOMATÓRIO</b>					126,44 €

**Tabela 4.5** - Folgas dos Postos Atuais.

Foram ainda utilizados outros indicadores, o de ocupação de operador e percentagem de custo de inatividade por semana, tendo em conta que algumas tarefas representam tempos de máquina, onde o custo de inatividade é dado por,

$$\text{Custos inatividade} = \sum (\text{Folga} \left( \frac{\text{horas}}{\text{cuba}} \right) * \text{FTE}(\text{€}) * 50 \left( \frac{\text{Cubas}}{\text{semana}} \right)) \quad (11)$$

onde FTE (*Full Time Equivallent*) representa o custo por hora (indicado como 12,50€) e a capacidade de produção média semanal que é de cerca de 50 cubas. Para tal, foram separados os tempos de operador dos tempos de máquina.

Para concluir a primeira etapa da metodologia, elaborou-se uma tabela resumo com os valores dos indicadores de desempenho do estado atual do sistema, representados na tabela 4.6.

Postos de trabalho	LT NED/Outros (dias)	LT UKPN/SSE (dias)	TC (dia/cuba)	Capacidade/sem(5dias)	Custo/Cuba (MUDA)	Eficiência Linha	Eficiência de Balanceamento	% Média Ocupação Máquina
18	1,97	8,84	0,100	50	126,44 €	52,70%	64,39%	38,54%

**Tabela 4.6** - Resumo da situação atual da linha.

### 4.3. Identificação de ações de melhoria

Esta secção está relacionada com a terceira fase da metodologia e diz respeito ao desenvolvimento de ações, onde são selecionados os métodos e ferramentas para o mesmo.

Durante o diagnóstico do sistema atual concluiu-se que o principal problema da linha é a sua baixa eficiência. Assim, para identificar os efeitos indesejáveis presentes que podem ter impacto na baixa eficiência da linha, o diagrama *Ishikawa* foi usado. Vários membros da equipa, incluindo os chefes de linha e operadores, participaram num brainstorming a fim de identificar possíveis causas desses efeitos indesejáveis.

Este diagrama é uma forma de relembrar a organização dos efeitos indesejáveis efetivamente presentes e permite focar em ações que devem ser postas em prática para melhorar o processo. O mesmo encontra-se no Apêndice E.

Desta forma, como proposto para o estágio curricular, as ações a tomar definiram-se como:

- Balanceamento da linha de acordo com os recursos atuais e sem reestruturação de layout com intuito de otimizar a situação atual
- Balanceamento da linha de forma a permitir a produção segundo o *takt time* desejado, envolvendo o mínimo de investimento possível com a reestruturação de layout e recursos.

## 5. AÇÕES DE MELHORIA

Neste capítulo, será desenvolvida a etapa 2 do modelo metodológico através de ações de melhoria no sistema de produção, onde duas propostas diferentes de balanceamento de linha serão realizadas.

### 5.1. Balanceamento da linha (Sem Reestruturação de Layout)

A linha de montagem em estudo é uma linha síncrona, de modelo misto de dois principais tipos de produtos, com atividades manuais e puramente automáticas. O objetivo desta primeira fase de balanceamento é nivelar a carga de trabalho ao ritmo possível dado os postos gargalo já mencionados, com os recursos atuais e sem reestruturação de layout.

Primeiramente, elaborou-se o diagrama de precedências (Apêndice F), onde é possível visualizar as relações de precedência entre as atividades. Este diagrama é uma técnica eficiente para representar todas as ligações existentes entre as diferentes atividades do processo produtivo.

Como já mencionado, uma particularidade é de a linha em estudo ser composta por tanto operações manuais como automáticas. Por conseguinte, o problema pode ser declarado como um conjunto de atividades dividido em dois conjuntos distintos: conjunto de atividades com intervenção humana e outro conjunto de atividades sem intervenção humana, sendo necessário separar as mesmas.

Embora atividades como secagens ao ar livre não envolvam uma máquina, ocupam espaço. Desta forma, para efeitos de cálculo para balanceamento, considera-se o espaço físico ocupado por uma unidade como sendo uma máquina/equipamento de secagem.

Na tabela 5.1 estão representadas as atividades com a respetiva classificação de acordo com a necessidade de operador.

Tipo de Operação	Descrição	Duração (dias)
Homem-Máquina	Embutir Alhetas	0,031
Homem	Soldar Painéis e Verguinha	0,035
Homem	Montar+Soldar Fundo e Bordo	0,194
Máquina	Arrefecimento	0,014
Homem	Ensaiar Fundo e Bordo	0,013
Homem	Montar+Soldar Tampa	0,067
Homem	Desempenar Tampa	0,052
Homem	Preparar material para Decapar	0,004
Máquina	Decapar Fundo e Bordo	0,013
Máquina	Decapar Tampa	0,013
Homem	Montar Painéis de Alhetas	0,026
Homem	Soldar Cuba	0,057
Máquina	Arrefecimento	0,014
Homem	Ensaiar Cuba	0,029
Homem	Limpar Galvanizado	0,052
Homem	Desengordurar Tampa	0,013
Homem	Pintar à Pistola Tampa ("Primário")	0,026
Máquina	Secar Tampa (Exterior)	0,167
Homem	Pintar à Pistola Tampa ("Esmalte")	0,026
Máquina	Pré-Secagem	0,021
Homem	Colocar Tampa na estufa	0,004
Máquina	Secar Tampa (estufa)	0,078
Homem	Carga de Cuba para Comboio de Pintura	0,017
Máquina	Túnel de Tratamento de Superfícies	0,156
Homem	Pintar por Rega "Primário"	0,017
Máquina	Pré-Secagem	0,014
Máquina	Túnel de Secagem "Primário"	0,052
Homem	Pintar por Rega "Esmalte"	0,017
Máquina	Túnel de Polimerização	0,087
Homem-Máquina	Transporte p/Zona de Carga	0,017
Homem-Máquina	Descarga	0,023
Máquina	Acabamentos	0,260

**Tabela 5.1** - Classificação das atividades.

Verifica-se que 60% das atividades são efetuadas na presença de um operador e 40% são realizadas exclusivamente por máquina.

Pode-se concluir que é possível considerar o balanceamento dos postos de trabalho e a distribuição de recursos de máquinas independentes ao operador em paralelo, utilizando apenas operações dependentes do operador para equilibrar a carga dos mesmos e estabelecer assim os postos de trabalho. Posteriormente, calcula-se o número de recursos necessários em função dos postos definidos resultantes do balanceamento.

### 5.1.1. Definição dos postos de trabalho

Primeiramente, foi identificado um posto de trabalho não aproveitado dado o seu espaço “extra” que apenas servia para arrumos ou armazenamento de material aleatório que não fazia sentido dado o pouco fluxo verificado.

Assim, para todo o efeito, considera-se um posto extra nessa zona dada a possibilidade e já anterior existência desse mesmo posto.

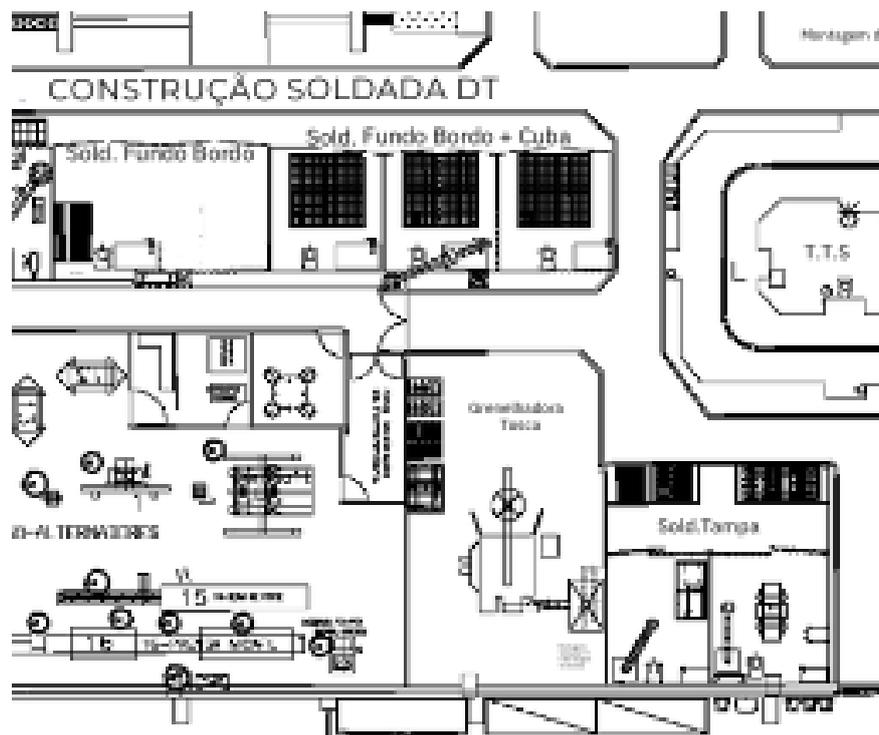


Figura 5.1 - Postos de soldadura atuais.



ensaio final só podem ser realizados num dos três postos com grelha por baixo, dado o uso de líquidos em ensaio.

4. Possibilidade de 3 turnos diários em vez de 2 como estabelecidos atualmente com 7,5 horas cada um, onde posteriormente são descontados os tempos de pausas, igualando a 385 minutos disponíveis por turno (5 dias por semana).

Chegou-se a uma estimativa como base para o nosso balanceamento de tempo de ciclo do posto gargalo igual a 0,059 dias/cuba, correspondente à montagem de aproximadamente 17 cubas diárias possíveis, dada a quantidade de postos disponíveis.

Sendo que existem tarefas cujo tempo de processamento excede o tempo de ciclo de 0,059 dias/cuba, recorreu-se à Heurística da Utilização Incremental (IUH), onde por ordem de precedência, vão sendo alocadas tarefas ao posto de trabalho, até que a sua percentagem de utilização não exceda os 100% ou até que essa percentagem diminua. De seguida o processo repete-se para o posto seguinte, até que todas as tarefas estejam alocadas a um posto.

Este balanceamento será efetuado para as atividades dependentes de operadores, logo as percentagens obtidas com a IUH serão equivalentes à taxa de ocupação dos mesmos.

O máximo de turnos diários possíveis para realizar o balanceamento da linha de montagem são três, no entanto, para acompanhar o ritmo de produção dos postos gargalo, determinados postos provavelmente não apresentam a necessidade de realizar as suas atividades durante o dia completo. Posto isto, várias iterações foram feitas ao longo do desenvolvimento da heurística, com o objetivo de obter o número de turnos e postos que maximizem a ocupação dos operadores em cada posto (Apêndices H e I).

De salientar algumas restrições da linha de montagem para o balanceamento. Primeiramente, a tarefa de embutir alhetas envolve a máquina a trabalhar a par com o operador, sendo que não seria possível alocar a tarefa seguinte de soldar painéis e verguinha, porque seriam necessários quatro turnos diários, ou seja, dois postos paralelamente a realizar as tarefas em dois turnos e mais uma máquina como investimento, que envolveria reestruturação de layout dada a sua dimensão. Assim, esta tarefa é alocada ao próximo posto. Outra restrição é o facto do desempenho da tampa ter de ser feito ainda a quente, ou seja, a par com a soldadura da mesma, não podendo ser agregada a outro posto. Já para a tarefa de

ensaiar cuba são necessários apenas dois turnos diários, pelo que pode ser reaproveitado um posto de montar e soldar fundo e bordo, uma vez que é previsto apenas operar um turno. Concluindo, os postos disponíveis para soldadura e ensaio de cubas ficariam distribuídos como representado na tabela 5.2.

op/turno	1	2	3	4	5	6	7
1	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	+	+	+
3	+	+	+	+	+	+	+

**Tabela 5.2** - Turnos para cada tarefa alocada aos postos de soldadura e ensaio.

Em laranja estão representados os turnos ocupados pela tarefa de montar e soldar fundo e bordo, a amarelo a tarefa de ensaiar cuba, a azul montar, soldar e desempenar tampa e a verde a tarefa de soldar a cuba. Como resultado, ficam ocupados todos os sete postos disponíveis para soldadura e ensaio.

As tarefas que envolvem a limpeza de galvanizado e pintura de tampas são realizadas por dois colaboradores paralelamente, sendo possível graças às duas cabines presentes de pintura e o tamanho da cabine de tratamento de materiais zincados (limpar galvanizado). Após o uso da IUH verificou-se que os postos com maior taxa de ocupação seriam estes dois, assim alterou-se o valor de tempo de ciclo máximo resultante da estimativa para 0,058 dias.

Como o comboio de pintura avança todo em conjunto, todas as etapas devem apresentar o mesmo número de turnos, exceto a pintura de “primário”, dado que todas as cubas apenas precisam de uma camada de pintura de “primário”. Deste modo, a maximizar a eficiência dos operadores, o comboio funcionará por três turnos com as tarefas de carga de cubas para o comboio, descarga das mesmas e pintura de esmalte.

Na tabela 5.3 estão representados os resultados obtidos através da heurística, onde são visíveis os postos de trabalho e respectivas tarefas alocadas, assim como a percentagem de ocupação dos operadores e tempo de ciclo do posto.

Posto	Tarefa	Colaboradores/Turno	Turnos	Ocupação Op.	TC (dias/Cuba)
1	Embutir Alhetas	1	2	80,00%	0,047
2	Soldar Painéis de Alhetas e Verguinha	1	2	91,11%	0,053
3	Montar/Soldar Fundo e Bordo	4	3*	99,83%	0,058
4	Montar/Soldar+Desempenar+ Colocar a Decapar Tampa + Ensaiar Fundo e Bordo	2	3	97,60%	0,057
5	Colocar Fundo e Bordo a Decapar + Montar Painéis de Alhetas	1	2	73,33%	0,043
6	Soldar Cuba	1	3	97,78%	0,057
7	Ensaiar Cuba	1	2	75,56%	0,044
8	Limpar Galvanizado + Desengordurar + Pintar à Pistola "Primário" + "Esmalte"	2	2	100,00%	0,058
9	Colocar Tampa em Estufa + Preparar Cuba para Comboio	1	3	84,44%	0,049
10	Pintar por Rega "Primário"	1	1	88,89%	0,052
11	Pintar por Rega "Esmalte"	1	3	77,04%	0,045
12	Descarga/ Transporte	1	3	77,04%	0,045
13	Acabamentos	1	2	60,00%	0,035

\* um dos postos não apresenta três turnos dispostos a essa tarefa

**Tabela 5.3** - Resumo dos resultados da heurística.

Em resumo, o balanceamento da carga de trabalho dos operadores resultou na definição de um total de 16 postos de trabalho por turno, onde 4 postos operam a dois turnos e os restantes a três turnos, dado que o posto de ensaiar cuba vai fazer parte de um posto de montar e soldar fundo e bordo e o posto de acabamentos vai operar os últimos dois turnos, enquanto o posto de pintar por rega “primário” vai operar no primeiro turno apenas. Através do balanceamento foi possível eliminar dois postos de trabalho por turno.

### 5.1.2. Alocação de recursos

Uma vez que a linha contém restrições de afetação relacionadas com equipamentos, pois têm de estar obrigatoriamente no posto, calculou-se o número de recursos necessários a cada posto para garantir o tempo de ciclo resultante da heurística. Embora as tarefas de arrefecimento ao ar livre de fundo, bordo e cuba não impliquem a utilização de um equipamento, ocupam espaço e assim considera-se para fins de balanceamento o espaço ocupado. O resultado do número de recursos a alocar a cada posto está representado na tabela 5.4.

Posto	Recurso	Tarefa	Duração (dias)	Nº Máquinas	Nº Máquinas Reais	Ocupação máq.	Capacidade	TC (dias/Cuba)
9	Estufa (Tampa)	Secar Tampa (estufa)	0,078	0,08	1	8,33%	16	0,005
9	Túnel Tratamento de Superfícies	Fosfatação,desengo,lavagem...	0,139	0,30	1	29,63%	8	0,045
10	Túnel de Secagem "Primário"	Secagem do "Primário"	0,052	0,30	1	29,63%	3	0,045
11	Túnel de Polimerização	Polimerização	0,180	0,77	1	76,80%	4	0,045
8		Secar Tampa (exterior)	0,208	0,44				0,026
8	Estante	Secar Tampa (Estufa)	0,078	0,17	1	61,11%	8	0,010
4		Decapar Tampa	0,008	0,13				0,008
5	Grenelhadora	Decapar Fundo e Bordo	0,008	0,13	1	26,67%	1	0,008
3		Soldar Fundo e Bordo	0,194	3,33	4	83,19%	1	0,049
4		Soldar Tampa	0,067	1,15	2	57,60%	1	0,034
2	Máquina de Soldadura	Soldar Painéis e Verguinha	0,035	0,61	1	60,74%	1	0,035
6		Soldar Cuba	0,057	0,98	1	97,78%	1	0,057
1	Máquina Georg	Embutir Alhetas	0,031	0,53	1	53,33%	1	0,031
3		Arrefecimento Fundo e Bordo	0,017	1,19	2	59,26%	1	0,009
7	Espaço	Arrefecimento Cuba	0,017	0,30	1	29,63%	1	0,017

**Tabela 5.4-** Recursos necessários aos postos definidos pelo balanceamento.

Em comparação com o diagnóstico da situação atual, é necessária apenas mais uma máquina de soldadura, resultante da possibilidade do posto de soldadura extra mencionado anteriormente. No entanto, depois de comunicado o resultado com o chefe de linha, o mesmo afirmou haver um total de dez máquinas disponíveis, com algumas a precisar de manutenção. Assim, não há necessidade de investimento, uma vez que todos os recursos existentes são suficientes.

### 5.1.3. Resultados esperados

Durante o balanceamento, foram determinados os postos necessários, a ocupação dos operadores, os tempos de ciclo e o número de recursos de máquinas e equipamentos necessários para responder à procura nos postos. Todavia, devido ao facto de

ser necessário informar acerca das alterações da linha e esperar pela sua validação, não foi possível implementar as propostas sugeridas no horizonte temporal do estágio curricular".

Posto isto, podem-se calcular os custos de inatividade para o balanceamento desenvolvido, assim como a eficiência de linha e do balanceamento.

TEMPO DE HOMEM					
PT	Tarefa	TC	Folga	Folga (horas/Cuba)	Custos (MUDA)
1	Embutir Alhetas	0,047	0,012	0,225	2,81 €
2	Soldar Painéis de Alhetas	0,053	0,005	0,100	1,25 €
3	Montar/Soldar Fundo e Bordo	0,058	0,000	0,002	0,02 €
4	Montar/Soldar+Desempenar+Decapar Tampa + Ensaiar Fundo e Bordo	0,057	0,001	0,027	0,34 €
5	Decapar Fundo e Bordo + Montar Painéis de Alhetas	0,043	0,016	0,300	3,75 €
6	Soldar Cuba	0,057	0,001	0,025	0,31 €
7	Ensaiar Cuba	0,044	0,014	0,275	3,44 €
8	Limpar Galvanizado + Desengordurar + Pintar à Pistola "Primário" + "Esmalte"	0,058	0,000	0,000	-
9	Colocar Tampa em Estufa + Preparar Cuba para Comboio	0,049	0,009	0,175	2,19 €
10	Pintar por Rega "Primário"	0,052	0,006	0,125	1,56 €
11	Pintar por Rega "Esmalte"	0,045	0,013	0,258	3,23 €
12	Descarga / Transporte	0,045	0,013	0,258	3,23 €
13	Acabamentos	0,035	0,023	0,450	5,62 €
<b>SOMATÓRIO</b>					<b>27,76 €</b>

**Tabela 5.6** - Custos de inatividade resultantes do balanceamento sem reestruturação.

Para melhor percepção do equilíbrio de cargas de trabalho esperados pelo balanceamento, elaborou-se o gráfico *yamazumi* futuro, representado na figura X.

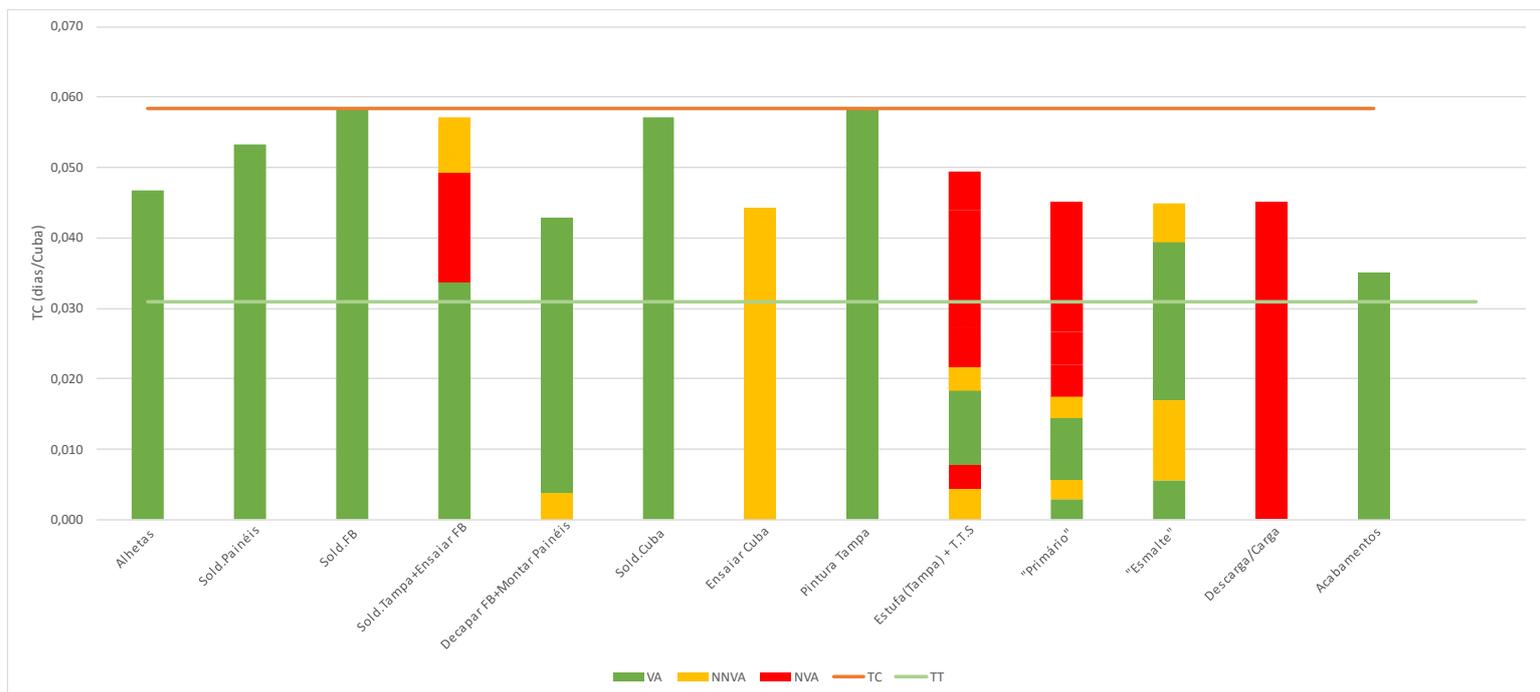


Figura 5.3 - Yamazumi do balanceamento sem reestruturação de layout.

Deste gráfico retira-se ainda a informação de quais postos de trabalho apresentam maior percentagem de NVA. Dada a não reestruturação do comboio de pintura para esta proposta de balanceamento, continuam a verificar-se as passagens pelos postos de T.T.S e de pintura de “primário” sem efetivamente realizar as tarefas nos mesmos. Adicionalmente, um posto que apenas realiza NVA, o posto que ou realiza descarga para a zona final de acabamentos ou transporte para a zona de carga de cubas no início do comboio. Este último, porque o comboio de pintura apesar de apresentar estrutura, ainda do comboio anterior, que faria com que a cuba conseguisse voltar ao início de comboio sem recorrer ao operador (visível em anexo de layout), este fato não se consegue, dado o espaçamento disponível do cruzamento de caminhos entre o T.T.S e a cabine de pintura por rega do “primário”. Por conseguinte, este fator vai ser tido em conta na próxima proposta de balanceamento.

Concluindo a primeira proposta de balanceamento, um resumo dos resultados esperados com a sua implementação.

Postos de trabalho	LT NED/Outros (dias)	LT UKPN/SSE (dias)	TC (dia/cuba)	Capacidade/sem(5dias)	Custo/Cuba (MUDA)	Eficiência Linha	Eficiência de Balanceamento	% Média Ocupação Máquina
18	1,97	8,84	0,100	50	126,28 €	52,76%	68,55%	38,54%

Tabela 5.7 - Resumo do balanceamento sem reestruturação.

## 5.2. Balanceamento da linha (Com Reestruturação de Layout)

A segunda proposta consiste no balanceamento da linha de produção, tendo em consideração uma possível alteração de layout, dada a necessidade de aumento do número de postos com o fim de atender à procura por parte do cliente.

Novamente, considera-se para efeitos de balanceamento dos postos de trabalho apenas as operações dependentes do operador e estabelecer assim os postos de trabalho. Posteriormente, calcula-se o número de recursos necessários em função dos postos definidos resultantes do balanceamento.

### 5.2.1. Definição dos postos de trabalho

Em primeiro lugar foram realizados cálculos na tentativa de perceber se o comboio de pintura atual conseguiria dar resposta ao *takt time* desejado e chegou-se à conclusão de que não seria possível. Ou seja, o aumento de capacidade do comboio de pintura também é fulcral para o alcance de ritmo de produção desejado.

Foi discutida uma possível solução para a localização do mesmo, pois acabaria por ocupar sempre espaço de outras zonas da fábrica fora do campo da linha de montagem de cubas OI DT. Concordou-se para a proposta do balanceamento, que a realocação do início de comboio, nomeadamente o T.T.S, passaria para a zona de montagem e desmontagem de alternadores do *Service*. Com isto, seria possível a existência de outra cabine de pintura por rega de “esmalte”, benéfico para as várias camadas precisas. O comboio passaria a ser constituído por uma cabine de “primário” e duas cabines de “esmalte”. Isto permite reduzir NVA decorrentes das voltas desnecessárias que as cubas têm de realizar para a segunda camada de pintura. Contudo, cubas do tipo NED/Outros ainda necessitam de uma terceira

camada. Foi então sugerida uma ligação de parte do caminho já existente com a segunda cabine de pintura de “esmalte”. Como resultado, a tarefa de transporte de cuba do fim até ao início do comboio passaria a não existir. Seria necessária a descarga para a zona de acabamentos (Apêndice J) e carga de cubas para a nova linha, porque não seria possível “armazenar” na mesma todas as cubas do tipo NED/Outros e, caso avançassem de imediato, entrariam em colisão com cubas presentes ainda na linha principal. Portanto, seria ainda necessária a carga de cubas do tipo NED/Outros para esta nova linha.

Novamente, recorreu-se à IUH para realizar o balanceamento da linha para responder ao *takt time* de 0,031 dias e será efetuado para as atividades dependentes de operadores, logo as percentagens obtidas com a IUH serão equivalentes à taxa de ocupação dos mesmos (Apêndices K, L e M).

Como o comboio de pintura avança em conjunto, as etapas de carga inicial de cubas no comboio de pintura, pintar por rega “primário” e pintar por rega a primeira camada de “esmalte” devem apresentar o mesmo número de turnos. Já na última parte do comboio onde na segunda cabine se realizam a segunda e terceira camada de pintura são necessários três turnos, pelo que, as etapas seguintes de descarga, carga de cubas do tipo NED e Outros para a nova linha e os acabamentos, devem apresentar pelo menos um colaborador a três turnos. O que se verifica pela heurística, é que, de maneira a maximizar o rendimento dos colaboradores, um posto funcionaria a dois turnos e outro a três turnos, perfazendo cinco turnos.

Na tabela 5.10 estão representados os resultados obtidos através da heurística, onde são visíveis os postos de trabalho e respetivas tarefas alocadas, assim como a percentagem de ocupação dos operadores e tempo de ciclo do posto.

Posto	Tarefa	Colaboradores/Turno	Turnos	Ocupação Op. TC (dias/Cuba)	TC (dias/Cuba)
1	Embutir Alhetas	1	3	100,00%	0,031
2	Soldar Painéis de Alhetas	2	2	85,42%	0,027
3	Montar/Soldar Fundo e Bordo	7	3*	98,51%	0,031
4	Montar/Soldar+Desempenar Tampa	4	3*	94,80%	0,030
5	Ensaiai Fundo e Bordo + Colocar a Decapar Fundo e Bordo + Tampa	1	2	87,50%	0,027
6	Montar Painéis na Cuba	1	3	83,33%	0,026
7	Soldar Cuba	2	3	91,67%	0,029
8	Ensaiai Cuba	1	2	94,44%	0,029
9	Limpar Galvanizado	1	2	100,00%	0,031
10	Desengordurar Tampa + Pintar Tampa "Primário"	1	3	100,00%	0,031
11	Pintar Tampa "Esmalte" + Colocar em Estufa	1	3	97,22%	0,030
12	Preparar Cuba para Comboio de Pintura	1	2	83,33%	0,026
13	Pintar por Rega "Primário"	1	2	83,33%	0,026
14	Pintar por Rega 1º"Esmalte"	1	2	83,33%	0,026
15	Pintar por Rega 2º"Esmalte" + 3º NED/Outros	1	3	88,89%	0,028
16	Descarga + Carga p/Nova Linha + Acabamentos	2	3*	98,33%	0,031

\* um dos postos não apresenta três turnos dispostos a essa tarefa

**Tabela 5.8-** Resumo dos Resultados da heurística para balanceamento com reestruturação.

## 5.2.2. Alocação de Recursos

Para este balanceamento é possível a partilha da máquina de soldadura de um posto de soldar fundo e bordo e outra de um posto de soldar tampa, visto que ambos apenas necessitam de operar um turno, enquanto nos dois seguintes a máquina pode servir para soldar painéis de alhetas e verguinhas. Assim, na contabilização de recursos necessários, ter-se-á em conta a partilha de máquina entre tarefas, sabendo ainda que serão necessárias onze para corresponder aos onze postos definidos pelo balanceamento. O resultado do número de recursos a alocar a cada posto está representado na tabela 5.

Posto	Recurso	Tarefa	Duração (dias)	Nº Máquinas	Nº Máquinas Reais	Ocupação máq.	Capacidade	TC (dias/Cuba)
11	Estufa (Tampa)	Secar Tampa (estufa)	0,078	0,16	1	15,63%	16	0,005
12	Túnel Tratamento de Superfícies	Fosfatação, desengo, lavagem...	0,139	0,56	1	55,56%	8	0,017
13	Túnel de Secagem "Primário"	Secagem do "Primário"	0,052	0,56	1	55,56%	3	0,017
14	Túnel de Polimerização	1ª Polim.	0,069	0,56	1	55,56%	4	0,017
15		2ª Polim.+3ª Polim.NED/Outros	0,069	0,88	1	88,45%	4	0,017
10	Estante	Secar Tampa (exterior)	0,208	0,83	1	83,33%	8	0,026
11		Secar Tampa (Estufa)	0,078	0,31	1	31,25%	8	0,010
5	Grenelhadora	Decapar Tampa	0,008	0,25	1	50,00%	1	0,008
5		Decapar Fundo e Bordo	0,008	0,25				
3	Máquina de Soldadura	Soldar Fundo e Bordo	0,194	9,54	11	86,71%	1	0,018
4		Soldar Tampa	0,067					
2		Soldar Painéis e Verguinha	0,035					
7		Soldar Cuba	0,057					
1	Máquina Georg	Embutir Alhetas	0,031	1,00	1	100,00%	1	0,031
3	Espaço	Arrefecimento Fundo e Bordo	0,017	3,89	4	97,22%	1	0,004
7		Arrefecimento Cuba	0,017	1,11	2	55,56%	1	0,009

**Tabela 5.9** - Alocação de recursos aos postos definidos pelo balanceamento com reestruturação.

Apesar de serem necessárias apenas necessárias teoricamente dez máquinas de soldadura para as tarefas previamente mencionadas em conjunto, a tarefa de desempenar a tampa “ocupa” espaço nos turnos em que é feita a soldadura da tampa, daí no balanceamento serem necessários onze postos de trabalho e, por conseguinte, onze máquinas de soldadura para realizar estas tarefas.

Seriam necessários grandes investimentos para alcançar o *output* pretendido, nomeadamente a realocação do T.T.S e túnel de secagem do “primário”, uma máquina de soldadura (existem dez disponíveis, como já referido), um túnel de polimerização e uma cabine de pintura de “esmalte”.

### 5.2.3. Resultados esperados

Mais uma vez, ao longo do balanceamento, foram determinados os postos necessários, a ocupação dos operadores, os tempos de ciclo e o número de recursos de máquinas e equipamentos necessários para responder à procura nos postos. Pode-se calcular os custos de inatividade para o balanceamento desenvolvido, assim como eficiência de linha e do balanceamento.

PT	Tarefa	TC	Folga	%Ocupação Op.	Folga (horas/Cuba)	Custos (MUDA)
1	Embutir Alhetas	0,031	0,000	100,00%	0,000	-
2	Soldar Painéis de Alhetas	0,027	0,005	85,42%	0,088	1,09 €
3	Montar/Soldar Fundo e Bordo	0,031	0,000	98,51%	0,009	0,11 €
4	Montar/Soldar+Desempenar Tampa	0,030	0,002	94,80%	0,031	0,39 €
5	Ensaiair Fundo e Bordo + Colocar a Decapar Fundo e Bordo + Tampa	0,027	0,004	87,50%	0,075	0,94 €
6	Montar Painéis na Cuba	0,026	0,005	83,33%	0,100	1,25 €
7	Soldar Cuba	0,029	0,003	91,67%	0,050	0,63 €
8	Ensaiair Cuba	0,029	0,002	94,44%	0,033	0,42 €
9	Limpar Galvanizado	0,031	0,000	100,00%	0,000	-
10	Desengordurar Tampa + Pintar Tampa "Primário"	0,031	0,000	100,00%	0,000	-
11	Pintar Tampa "Esmalte" + Colocar em Estufa	0,030	0,001	97,22%	0,017	0,21 €
12	Preparar Cuba para Comboio de Pintura	0,026	0,005	83,33%	0,100	1,25 €
13	Pintar por Rega "Primário"	0,026	0,005	83,33%	0,100	1,25 €
14	Pintar por Rega 1º"Esmalte"	0,026	0,005	83,33%	0,100	1,25 €
15	Pintar por Rega 2º"Esmalte" + 3º NED/Outros	0,028	0,003	88,89%	0,067	0,83 €
16	Descarga + Carga p/Nova Linha + Acabamentos	0,031	0,001	98,33%	0,010	0,12 €
<b>SOMATÓRIO</b>						<b>9,62 €</b>

**Tabela 5.10 - Custos de inatividade do balanceamento com reestruturação.**

Para melhor percepção do equilíbrio de cargas de trabalho esperados pelo balanceamento, elaborou-se o gráfico *yamazumi* futuro, representado na figura 5.6.

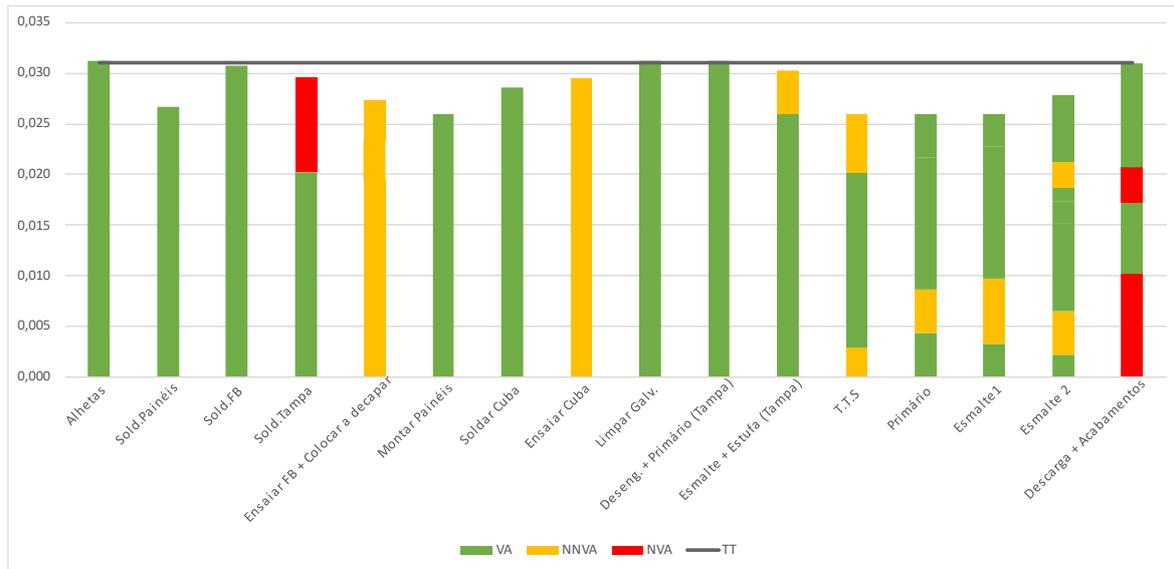


Figura 5.4 - Yamazumi do Balanceamento com reestruturação.

Com a reestruturação do comboio de pintura para esta proposta de balanceamento, já não se verificam as passagens pelos postos de T.T.S e de pintura de “primário” sem realizar as tarefas nos mesmos. A juntar, um posto que apenas realizava NVA, o posto que ou realiza descarga para a zona final de acabamentos ou transporte para a zona de carga de cubas no início do comboio, agora passaria a fazer apenas para além da descarga, a carga de cubas do tipo NED/Outros para a nova linha.

Concluindo a segunda proposta de balanceamento, um resumo dos resultados esperados com a sua implementação.

Postos de Trabalho	LT NED/Outros (dias)	LT UKPN/SSE (dias)	TC (dia/cuba)	Capacidade/sem(5dias)	Custo/Cuba (MUDA)	Eficiência Linha	Eficiência do Balanceamento	% Média Ocupação Máquina
26	1,05	8,16	0,031	160	9,62 €	91,88%	93,87%	65,01%

Tabela 5.11 - Resumo do balanceamento com reestruturação.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1. Conclusão

Como objetivos principais desta dissertação, pretendia-se primeiramente calcular o *output* atual do sistema produtivo, melhorar o mesmo com os recursos atuais e fornecer uma solução onde a linha consiga passar a uma capacidade de produção de 160 cubas por semana, para alimentar a linha de produção principal de transformadores de distribuição imersos.

De forma alcançar esses objetivos, iniciou-se o diagnóstico do sistema produtivo existente utilizando ferramentas como o mapeamento do fluxo, para melhor percepção de todo o processo, o diagrama de *Ishikawa* para entender as origens do problema de baixa eficiência da linha e respectivas ações de melhoria e ainda se recorreu ao gráfico *Yamazumi* para identificar o valor de cada atividade em cada etapa e visualizar qualquer desequilíbrio de cargas na linha.

Constatou-se o desequilíbrio de cargas de trabalho da linha, o que foi comprovado pela sua baixa eficiência de 52,70% e baixa eficiência do balanceamento de 69%, como ainda pelos tempos de inatividade por posto elevados, que resultam em custos por *MUDA* de cerca de 126,28€ por cuba e capacidade produtiva de 50 cubas por semana. De forma a resolver esse problema, realizou-se o primeiro balanceamento com recurso à *IUH*, tendo em conta os recursos atuais e capacidade atual máxima possível de atingir na linha com o balanceamento. Seria mantido o número de postos definidos, mas com aumento de output para 86 cubas por semana, com seis postos em funcionamento a dois turnos por dia, um posto em funcionamento a apenas um turno por dia e um posto a operar um turno em soldaduras de fundos e bordos e os restantes dois turnos a realizar ensaios de cubas. Com este balanceamento seria ainda de esperar redução de *LT* para cubas do tipo *NED/Outros* de 23,24% e de 4,54% para cubas do tipo *UKPN/SSE*. Quanto à eficiência da linha e eficiência do balanceamento, ganhos de 32,05% e 19,42%, respetivamente. Os custos resultantes de tempos de inatividade diminuiriam 78%, para um custo de 27,76€ por cuba.

Como objetivo final de fornecer uma solução que permita o output final da linha de 160 cubas por semana, procedeu-se ao balanceamento da linha utilizando a mesma heurística, que resultou numa redução de LT de cerca de 46,63% para cubas do tipo NED/Outros e de 7,63% para cubas do tipo UKPN/SSE. Já na eficiência da linha espera-se um ganho de 39,12% e na eficiência do balanceamento um ganho de 25,32%. Para alcançar este output seriam necessários mais dez postos de trabalho na linha comparado com a situação atual, em que nove dos postos de trabalho apenas se encontrariam em funcionamento durante dois turnos, dois postos a um turno e os restantes a três turnos por dia. Com a reestruturação de layout que permita a implementação da proposta de balanceamento é possível diminuir o tempo de inatividade e consequentemente os custos associados, reduzindo de 126,28€ por cuba para 9,62€ por cuba, o que corresponde a uma redução de 92,4%.

## 6.2. Limitações

Durante o desenvolvimento deste trabalho, a principal dificuldade encontrada foi compreender como realizar o balanceamento da linha quando existem atividades dependentes e independentes do operador. Por outro lado, foi necessário considerar o balanceamento de atividades com tempos de processamento superior ao *takt time* estabelecido e, neste contexto, poucos trabalhos na literatura referentes a balanceamento de linhas apresentavam estas características específicas. Assim, o modelo desenvolvido tem em consideração a distinção entre atividades e a possibilidade de as tornar paralelas. no comboio de pintura foi necessário conciliar os turnos nos postos, pois os postos a jusante não funcionam sem a continuação dos anteriores em paralelo. Por fim, existiram dificuldades quanto à possível reestruturação de layout e impedimentos recorrentes da mesma, no entanto, a reestruturação é imprescindível para realizar a proposta do balanceamento com output final de 160 cubas por semana.

## 6.3. Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros propõe-se primeiramente testar se os investimentos necessários com a reestruturação de layout e adição de postos de trabalho necessários para o

aumento de *output* compensam os ganhos a médio/longo prazo, caso contrário talvez seja melhor optar pela primeira proposta de balanceamento. Posteriormente, testar a implementação e desenvolvimento das ações de melhoria apresentadas que não puderam ser realizadas durante o desenvolvimento da dissertação. Sugere-se ainda a aplicação da ferramenta 5S para a organização dos postos e melhoria das condições de trabalho. Para terminar, focar na revisão das instruções operacionais, essenciais para garantir a consistência na prática de melhores métodos de execução e contínua redução de defeitos e retrabalho, nomeadamente nos postos gargalos de soldadura. Posto isto, poderiam ser recalculados os postos de trabalho necessários.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

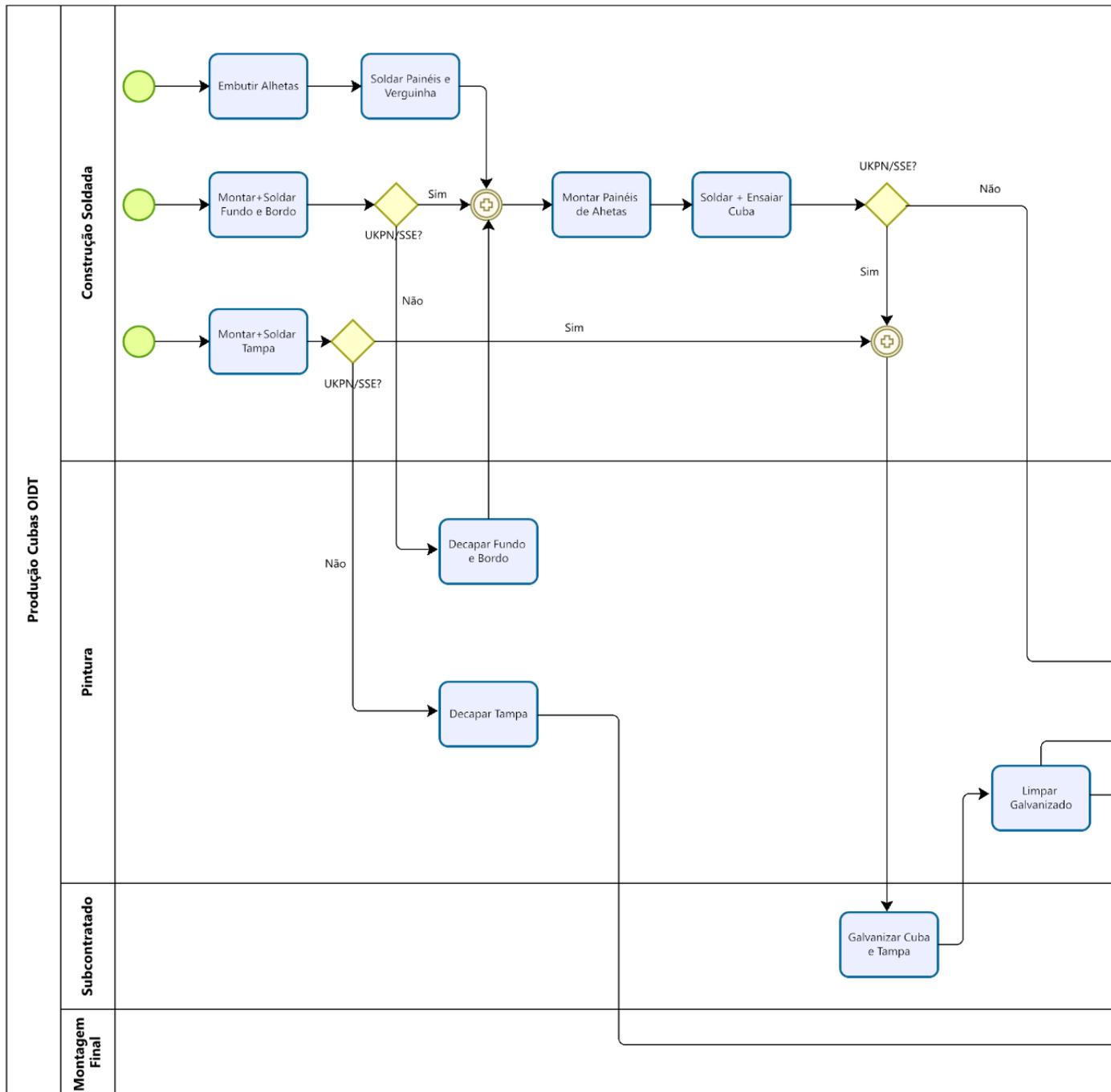
- Alves, A. C., Moreira, F., Sousa, R. M., & Lima, R. M. (2009). Projectos para a aprendizagem na Engenharia e Gestão Industrial. *Actas Do X Congresso Internacional Galego-Português de Psicopedagogia*, 3360–3375.
- Battaia, O., & Dolgui, A. (2013). A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *International journal of production economics*, 142(2), 259-277.
- Becker, Christian & Scholl, Armin. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*. 168. 694-715. 10.1016/j.ejor.2004.07.023.
- Belekoukias, I., Garza-Reyes, J. A., & Kumar, V. (2014). The impact of lean methods and tools on the operational performance of manufacturing organisations. *International Journal of production research*, 52(18), 5346-5366.
- Black, J. T., & Hunter, S. L. (2003). *Lean manufacturing systems and cell design*. Society of Manufacturing Engineers.
- Bhamu, J., & Singh Sangwan, K. (2014). Lean manufacturing: literature review and research issues. *International Journal of Operations & Production Management*, 34(7), 876-940.
- Boysen, N., Flidner, M., & Scholl, A. (2008). Assembly line balancing: Which model to use when?. *International journal of production economics*, 111(2), 509-528.
- Breginski, R. B., Cleto, M., & Junior, J. S. (2013). Assembly line balancing using eight heuristics. In *22nd International Conference on Production Research* (pp. 1-7).
- Danese, P., Manfè, V. and Romano, P. (2018), A Systematic Literature Review on Recent Lean Research: State-of-the-art and Future Directions. *International Journal of Management Reviews*, 20: 579-605. <https://doi.org/10.1111/ijmr.12156>
- Dombrowski, U., & Mielke, T. (2014). Lean leadership—15 rules for a sustainable lean implementation. *Procedia CIRP*, 17, 565-570.

- Driscoll, J., & Thilakawardana, D. (2001). The definition of assembly line balancing difficulty and evaluation of balance solution quality. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 17(1-2), 81-86.
- Emiliani, M. L. (1998). Lean behaviors. *Management decision*, 36(9), 615-631.
- Farooq, S., & O'Brien, C. (2015). An action research methodology for manufacturing technology selection: a supply chain perspective. *Production Planning & Control*, 26(6), 467-488.
- Van Zante-de Fokkert, J. I., & de Kok, T. G. (1997). The mixed and multi model line balancing problem: a comparison. *European Journal of Operational Research*, 100(3), 399-412.
- Freitas, E. B. (2011). Metodologia Yamazumi. Retrieved March 25, 2023, from <http://engenhariadeproducaoindustrial.blogspot.pt/2011/02/escultura-casal-de-trabalhadores-foto.html>.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. Administração da produção e operações. 8. ed. São Paulo: Cengage, 2012.
- Gerhardt, M. P. (2005). Sistemática para aplicação de procedimento de balanceamento em linhas de montagem multi-modelos (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Banish waste and create wealth in your corporation. Recuperado de [http://www.kvimis.co.in/sites/kvimis.co.in/files/ebook\\_attachments/James](http://www.kvimis.co.in/sites/kvimis.co.in/files/ebook_attachments/James), 56.
- Kilbridge, M., & Wester, L. (1961). The balance delay problem. *Management science*, 8(1), 69-84.
- Kumar, N., & Mahto, D. (2013). Assembly line balancing: a review of developments and trends in approach to industrial application. *Global Journal of Researches in Engineering Industrial Engineering*, 13(2), 29-50.
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Avelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer

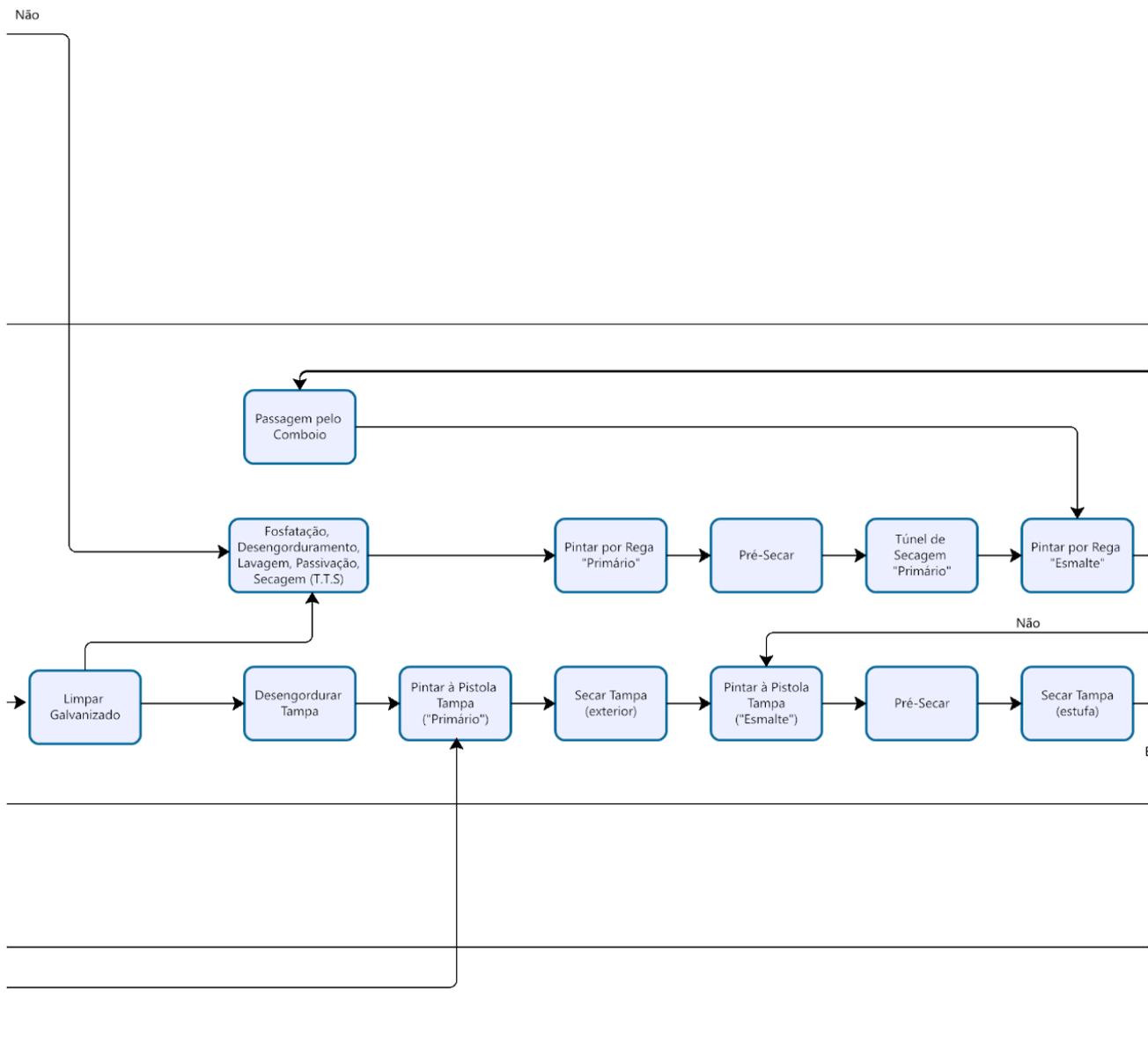
- for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708-1720.
- Liker, J. K. (2021). *Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. McGraw-Hill Education.
- Liker, J. K., & Meier, D. (2006). *Toyota way fieldbook*. McGraw-Hill Education.
- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The Toyota way in services: the case of lean product development. *Academy of management perspectives*, 20(2), 5-20.
- Li, Y., Hu, X., Tang, X., & Kucukkoc, I. (2019). Type-1 U-shaped Assembly Line Balancing under uncertain task time. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 992-997.
- McMullen, P. R., & Frazier, G. V. (1997). A heuristic for solving mixed-model line balancing problems with stochastic task durations and parallel stations. *International Journal of Production Economics*, 51(3), 177-190.
- Naufal, A. A., Jaffar, A., Noriah, Y., & Halim, N. H. A. (2013). Implementation of Continuous Flow System in manufacturing operation. *Applied Mechanics and Materials*, 393, 9-14.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production* (1st ed.). Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9780429273018>
- Oliveira, I. M. D., Da Paz, C. C., Da Silva, A. M., & Ferreira, W. D. P. (2017). Balanceamento de linha e arranjo físico: estudo de caso em uma linha de produção de cabines para máquinas de construção. *Exacta*, 15(1), 101–110. <https://doi.org/10.5585/exactaep.v15n1.6697>
- Peinado, J., & Graeml, A. R. (2007). Administração da produção. Operações industriais e de serviços. *Unicenp*, 201-202.
- Ponnambalam, S. G., Aravindan, P., & Naidu, G. M. (1999). A comparative evaluation of assembly line balancing heuristics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15, 577-586.
- Rawabdeh, I. A. (2005). A model for the assessment of waste in job shop environments. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(8), 800-822.

- Sabadka, D., Molnár, V., Fedorko, G., & Jachowicz, T. (2017). Optimization of production processes using the Yamazumi method. *Advances in Science and Technology. Research Journal*, 11(4), 175-182.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. P. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)*, 9(3), 811-833.
- Shah, R., & Ward, P. T. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of operations management*, 21(2), 129-149.
- Sivasankaran, P., & Shahabudeen, P. (2014). Literature review of assembly line balancing problems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73, 1665-1694.
- Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., & UCHIKAWA, S. (1977). Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system. *The international journal of production research*, 15(6), 553-564.
- Simaria, A. S. D. A. (2001). Uma metodologia para o balanceamento de linhas de montagem.
- Tenera, A., & Pinto, L. C. (2014). A Lean Six Sigma (LSS) project management improvement model. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119, 912-920.
- Womack, J., Jones, D. and Roos, D. (1990) *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production, Toyota's Secret Weapon in the Global Car Wars That Is Now Revolutionizing World Industry*. Free Press, New York.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Banish waste and create wealth in your corporation. Recuperado de [http://www.kvimis.co.in/sites/kvimis.co.in/files/ebook\\_attachments/James](http://www.kvimis.co.in/sites/kvimis.co.in/files/ebook_attachments/James), 56.

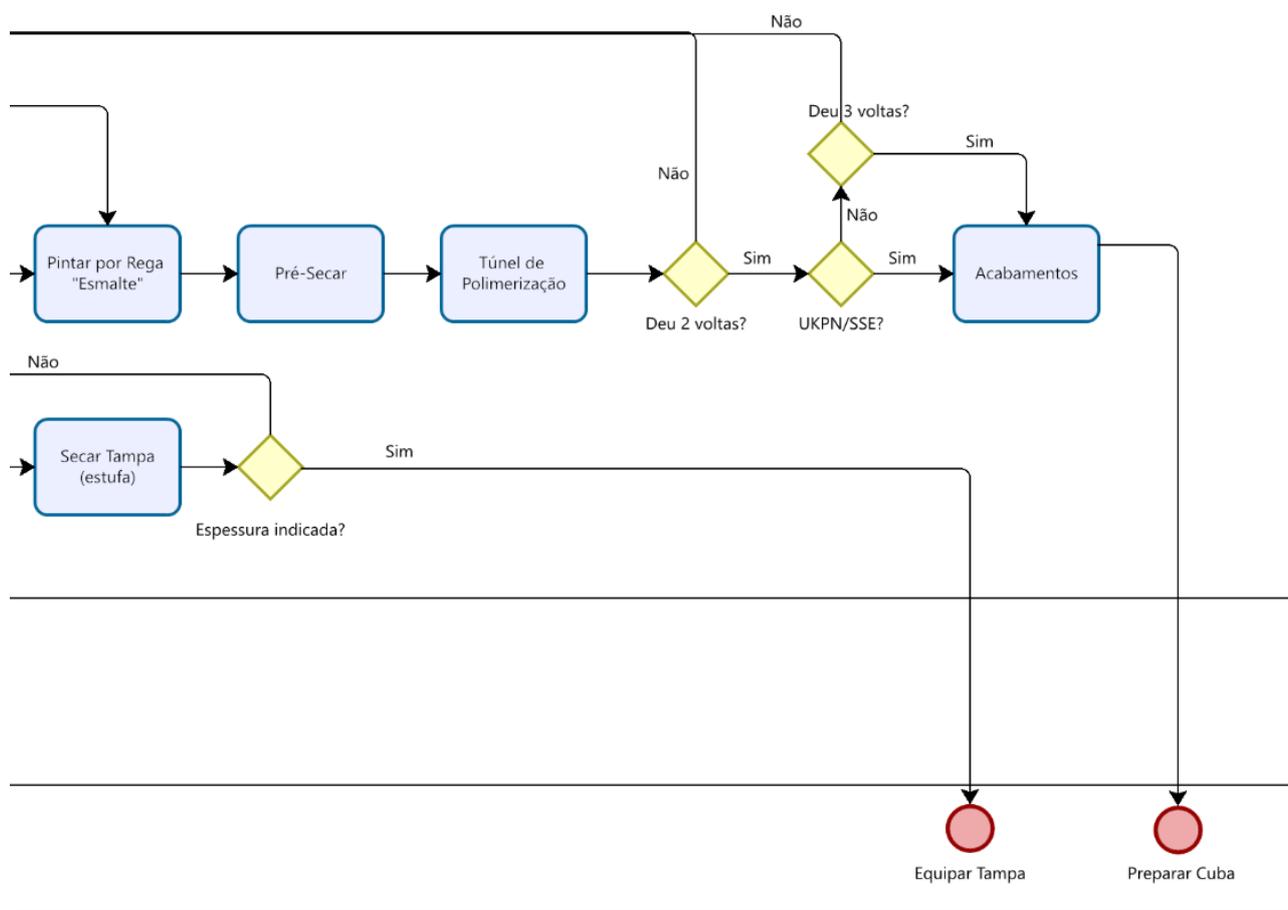
# APÊNDICE A



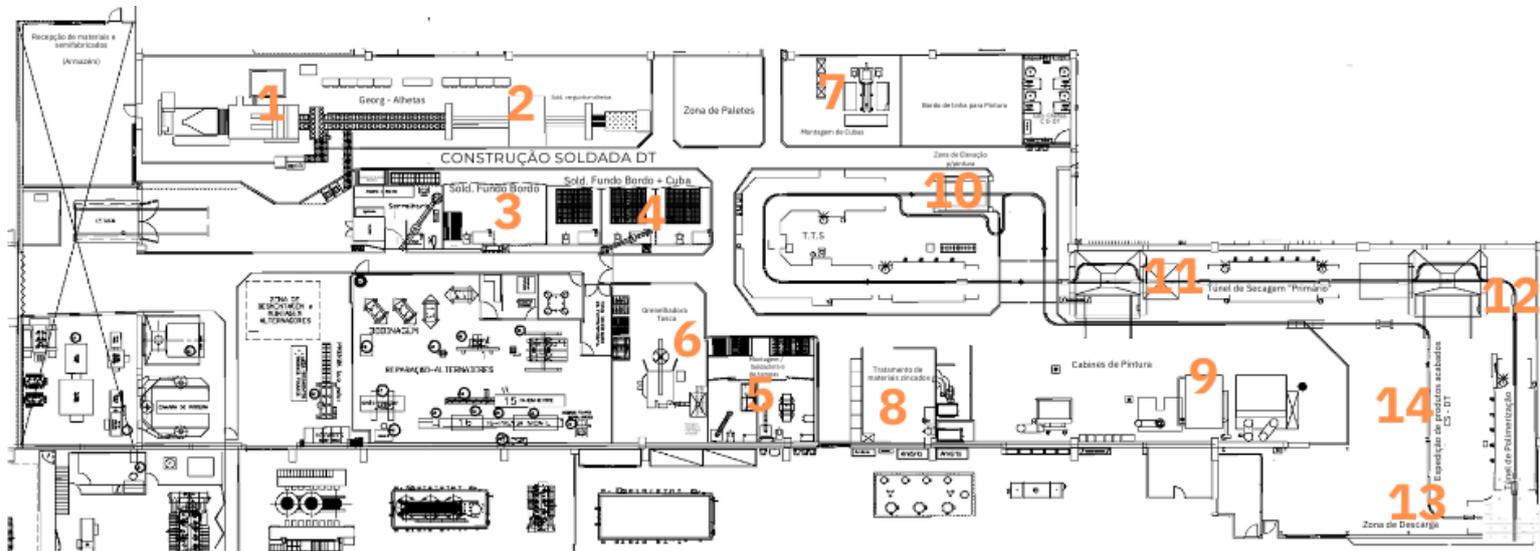
## APÊNDICE B



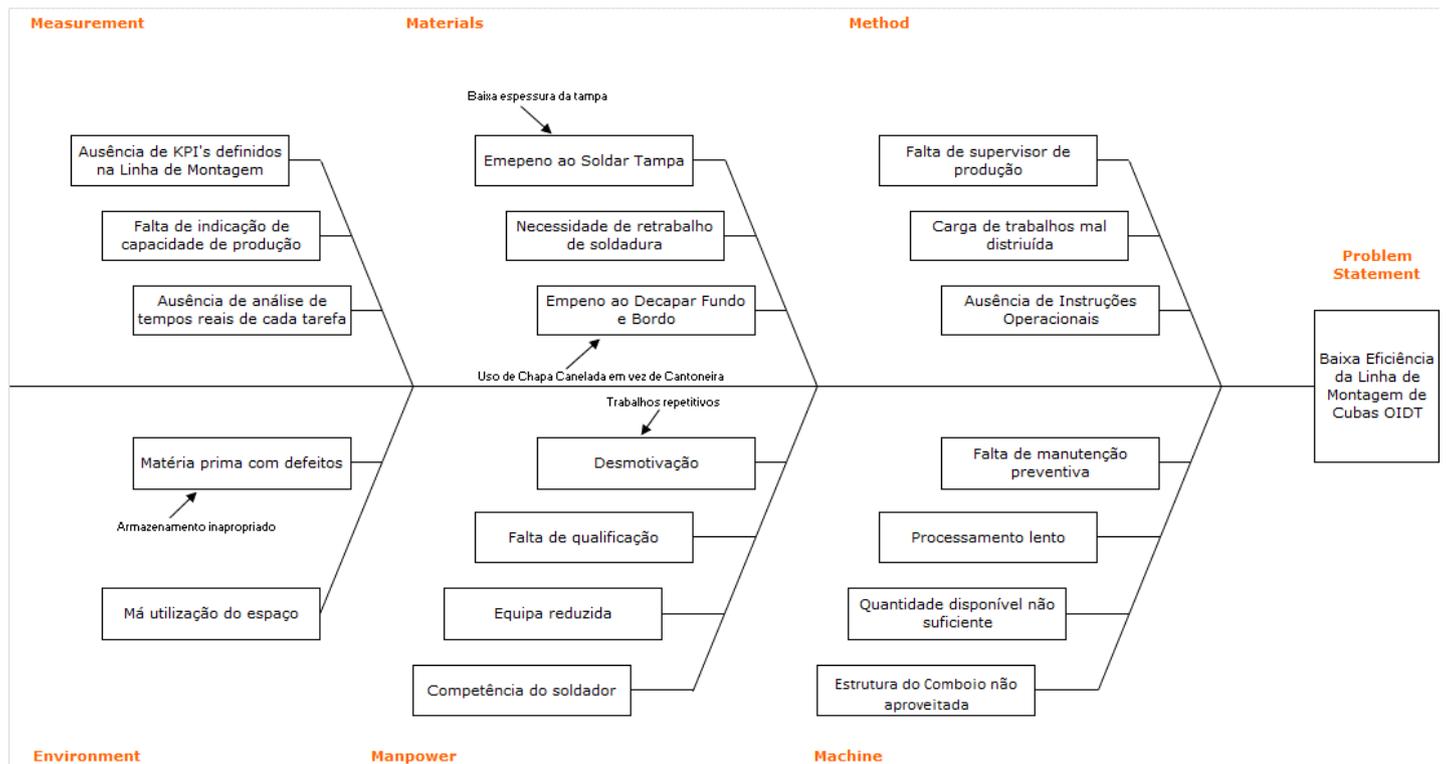
# APÊNDICE C



## APÊNDICE D



## APÊNDICE E





## APÊNDICE G

	Duração	Tdisp	%disp	TC	C.auxiliares	Produção/dia	Tciclo
M+S Fundo Bordo	224,610	669,9	58,00%	0,084	10,315	17	0,059
Arrefecimento	20,000	1440	-	0,003			
Ensaiair Fundo Bordo	15,000	388,542	58%	0,010			
M+S Fundo Bordo *	224,610	543	47,00%	0,138	6,589	17	0,059
Arrefecimento*	20,000	1440	-	0,005			
Ensaiair Fundo Bordo*	15,000	543	47,00%	0,009			
Soldar Cuba*	65,921	612	53,00%	0,036	16,925	17	0,059
Arrefecimento*	20,000	1440	-	0,005			
Ensaiair Cuba*	34,079	612	53,00%	0,019			
M+S Tampa	77,763	485	42,00%	0,040	17,128	17	0,058
Desmpenar Tampa	35,525	485	42,00%	0,018			
					<b>Média</b>	<b>17</b>	<b>0,059</b>

\*postos de ensaio de cuba

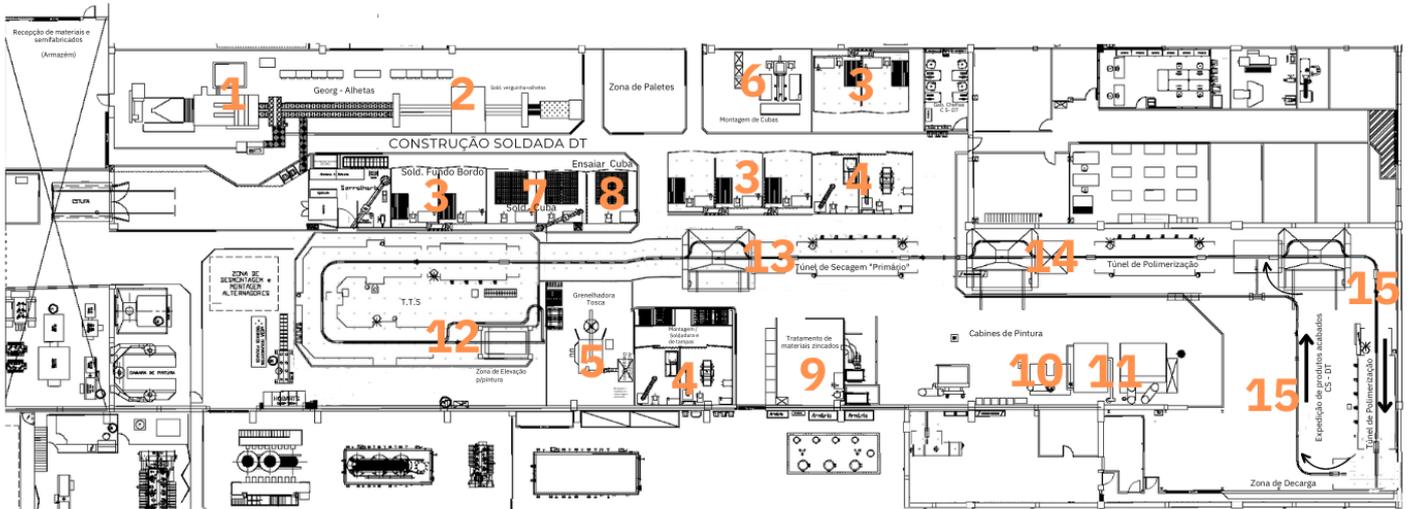
## APÊNDICE H

Iteração	Tarefa	ΣTk	Nº Turnos (t)	Ocupação operário	Nº Colaboradores	
1ª	Embutir alhetas	36	1	-	1	
		36	2	80,00%		
		36	3	53,33%		
2ª	Embutir alhetas + Soldar Painéis e Verguinha	77	1	-		
		77	2	-		
		77	3	-		
		77	4	85,56%		
		77	5	68,44%		
1ª	Soldar Painéis e Verguinha	41	1	-		1
		41	2	91,11%		
		41	3	60,74%		
		41	4	45,56%		
1ª	Montar/Soldar Fundo e Bordo	225	1	-		4*
		225	2	-		
		225	3	-		
		225	4	-		
		225	5	-		
		225	6	-		
		225	7	-		
		225	8	-		
		225	9	-		
		225	10	99,83%		
		225	11	90,75%		
		225	12	83,19%		
		225	13	76,79%		
1ª	Montar/Soldar + Desempenar Tampa	114	1	-	2	
		114	2	-		
		114	3	-		
		114	4	-		
		114	5	-		
		114	6	84,27%		
		114	7	72,23%		
2ª	Montar/Soldar + Desempenar + Colocar a Decapar Tampa	117	1	-	2	
		117	2	-		
		117	3	-		
		117	4	-		
		117	6	86,49%		
3ª	Montar/Soldar + Desempenar + Colocar a Decapar Tampa + Ensaiar Fundo e Bordo	132	1	-	2	
		132	2	-		
		132	3	-		
		132	4	-		
		132	5	-		
		132	6	97,60%		
		132	7	83,66%		
1ª	Colocar a Decapar Fundo e Bordo	3	1	13,33%	1	
		3	2	6,67%		
		3	3	4,44%		
2ª	Decapar Fundo e Bordo + Montar Painéis de alhetas	33	1	-	1	
		33	2	73,33%		
		33	3	48,89%		
1ª	Soldar Cuba	66	1	-	1	
		66	2	-		
		66	3	97,78%		
		66	4	73,33%		
1ª	Ensaia Cuba	34	1	-	1*	
		34	2	75,56%		
		34	3	50,37%		

## APÊNDICE I

1ª	Limpar Galvanizado	24	1	-	2
		24	2	53,33%	
		24	3	35,56%	
2ª	Limpar Galvanizado + Desengordurar Tampa	30	1	-	
		30	2	66,67%	
		30	3	44,44%	
3ª	Limpar Galvanizado + Desengordurar Tampa + Pintar Tampa "Primário"	60	1	-	
		60	2	-	
		60	3	88,89%	
		60	4	66,67%	
4ª	Limpar Galvanizado + Desengordurar Tampa + Pintar Tampa "Primário" + Pintar Tampa "Esmalte"	90	1	-	
		90	2	-	
		90	3	-	
		90	4	100,00%	
		90	5	80,00%	
1ª	Colocar Tampa na Estufa	5	1	22,22%	1
		5	2	11,11%	
2ª	Colocar Tampa na Estufa + Carga p/Comboio de Pintura	57	1	-	
		57	2	-	
		57	3	84,44%	
		57	4	63,33%	
1ª	Pintar por Rega "Primário"	20	1	88,89%	
		20	2	44,44%	
1ª	Pintar por Rega "Esmalte"	52	1	-	
		52	2	-	
		52	3	77,04%	
		52	4	57,78%	
1ª	Descarga/Transporte	52	1	-	
		52	2	-	
		52	3	77,04%	
		52	4	57,78%	
1ª	Acabamentos	27	1	-	
		27	2	60,00%	
		27	3	40,00%	

# APÊNDICE J



## APÊNDICE K

Iteração	Tarefa	ΣTk	Nº Turnos (t)	Ocupação operário	Nº Colaboradores
1ª	Embutir alhetas	36	1	-	1
		36	2	-	
		36	3	99,74%	
		36	4	74,81%	
1ª	Montar/Soldar Fundo e Bordo	225	1	-	7*
		225	2	-	
		225	3	-	
		225	4	-	
		225	5	-	
		225	6	-	
		225	7	-	
		225	8	-	
		225	9	-	
		225	10	-	
		225	11	-	
		225	12	-	
		225	13	-	
		225	14	-	
		225	15	-	
		225	16	-	
		225	17	-	
		225	18	-	
		225	19	98,26%	
		225	20	93,34%	
1ª	Montar/Soldar + Desempenar Tampa	114	1	-	4*
		114	2	-	
		114	3	-	
		114	4	-	
		114	5	-	
		114	6	-	
		114	7	-	
		114	8	-	
		114	9	-	
		114	10	94,56%	
		114	11	85,96%	
1ª	Soldar Painéis de Alhetas e Verguinha	41	1	-	2
		41	2	-	
		41	3	-	
		41	4	85,19%	
		41	5	68,16%	
1ª	Ensaiai Fundo e Bordo	15	1	-	2
		15	2	62,34%	
2ª	Ensaiai Fundo e Bordo + Colocar a Decapar Fundo e Bordo	18	1	-	2
		18	2	74,81%	
		18	3	49,87%	
3ª	Ensaiai Fundo e Bordo + Colocar a Decapar Fundo e Bordo + Colocar a Decapar Tampa	21	1	-	2
		21	2	87,27%	
		21	3	58,18%	
1ª	Montar painéis de alhetas	30	1	-	3
		30	2	-	
		30	3	83,12%	
		30	4	62,34%	

## APÊNDICE L

1ª	Soldar Cuba	66	1	-	1
		66	2	-	
		66	3	-	
		66	4	-	
		66	5	-	
		66	6	91,43%	
		66	7	78,37%	
1ª	Ensaiair Cuba	34	1	-	1
		34	2	-	
		34	3	94,20%	
		34	4	70,65%	
1ª	Limpar Galvanizado	24	1	-	
		24	2	99,74%	
		24	3	66,49%	
2ª	Limpar Galvanizado + Desengordurar Tampa	30	1	-	
		30	2	-	
		30	3	83,12%	
		30	4	62,34%	
3ª	Limpar Galvanizado + Desengordurar Tampa + Pintar Tampa "Primário"	60	1	-	1
		60	2	-	
		60	3	-	
		60	4	-	
		60	5	99,74%	
		60	6	83,12%	
4ª	Limpar Galvanizado + Desengordurar Tampa + Pintar Tampa "Primário" + Pintar Tampa "Esmalte"	90	1	-	
		90	2	-	
		90	3	-	
		90	4	-	
		90	5	-	
		90	6	-	
		90	7	-	
		90	8	93,51%	
1ª	Desengordurar Tampa	6	1	49,87%	1
		6	2	24,94%	
2ª	Desengordurar Tampa + Pintar Tampa "Primário"	36	1	-	1
		36	2	-	
		36	3	99,74%	
		36	4	74,81%	
1ª	Pintar Tampa "Esmalte"	30	1	-	1
		30	2	-	
		30	3	83,12%	
		30	4	62,34%	
2ª	Pintar Tampa "Esmalte" + Colocar Tampa em estufa	35	1	-	
		35	2	-	
		35	3	96,97%	
		35	4	72,73%	
1ª	Carga para Comboio de Pintura	20	1	-	1
		20	2	83,12%	
		20	3	55,41%	
		20	4	41,56%	
1ª	Pintar por Rega "Primário"	20	1	-	1
		20	2	83,12%	
		20	3	55,41%	

## APÊNDICE M

1ª	Pintar por Rega 1º "Esmalte"	20	1	-	1
		20	2	83,12%	
		20	3	55,41%	
1ª	Pintar por Rega 2º "Esmalte" + 3º "Esmalte" NED/Outros	32	1	-	1
		32	2	-	
		32	3	88,66%	
		32	4	66,49%	
1ª	Descarga	20	1	-	2
		20	2	83,12%	
		20	3	55,41%	
2ª	Descarga + Carga de NED/Outros	32	1	-	
		32	2	-	
		32	3	88,66%	
		32	4	66,49%	
3ª	Descarga + Carga de NED/Outros + Acabamentos	59	1	-	
		59	2	-	
		59	3	-	
		59	4	-	
		59	5	98,08%	
		59	6	81,73%	