



André da Silva Lourenço Cunha

Estudo de Melhoria do Processo Produtivo de uma Empresa Metalomecânica

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Orientador: Professora Doutora Helena Victorovna Guitiss Navas, Professora
Auxiliar, FCT-UNL

Co-orientador: Engenheiro Pedro Miguel Melo e Castro da Silva Pinheiro, A.
Silva Matos – Energia S.A.



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Junho 2013

Copyright

Copyright em nome de André da Silva Lourenço Cunha, FCT/UNL e UNL.

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

Agradecimentos

A realização desta dissertação só foi possível pela oportunidade oferecida pelos meus orientadores, a Professora Helena V. G. Navas e o Engenheiro Pedro M. Melo e Castro da Silva Pinheiro, cuja concretização viu no seu inesgotável apoio um fator indispensável. Aos dois, um agradecimento muito especial.

Por todos os incentivos, carinho, dedicação e apoio incondicional, um agradecimento especial aos meus pais. Sem a sua confiança e os valores que sempre me transmitiram, seria muito mais difícil chegar às metas de todos os caminhos.

Ao Engenheiro José Clara, por todo o apoio prestado, e por toda a dedicação que demonstrou durante a realização deste trabalho. Os seus conhecimentos, sugestões e acompanhamento foram imprescindíveis para o estudo aqui apresentado.

A todos aqueles que constituem a A. S. Matos – Energia S.A.. Pela oportunidade de realizar este trabalho, pela forma como sempre me receberam e pelo apoio que sempre demonstraram, assim como a paciência para responder às minhas perguntas e colaborar em algumas atividades. Este trabalho não seria o mesmo sem o contributo de todos eles. Um agradecimento especial aos encarregados, o Sr. Marcelino, Matinho, Rui Costa, Fernando e José Luís, assim como ao Engenheiro Sérgio Rodrigues.

À Susana, pelo apoio e carinho que sempre me deu. Sem a sua paciência e dedicação teria sido mais complicado realizar este trabalho.

Aos meus amigos Gonçalo Pimpão e Pedro Varela por todo o apoio e amizade que sempre demonstraram desde que iniciámos os nossos percursos académicos, e que se mantém. Ao Miguel Carvalho e ao João Faria por toda a amizade de largos anos e pelo apoio que sempre demonstram. Ao Diogo Manata, pelo apoio prestado para a realização desta dissertação.

À minha família e a todos os meus amigos por todo o apoio e carinho prestados.

Resumo

A produtividade, competitividade e a constante busca pela excelência obrigam a uma avaliação permanente que permita uma redução dos desperdícios inerentes à atividade de uma empresa. Sendo este um estudo que visa a melhoria contínua e a eliminação de desperdício, o *Lean Thinking* surge como uma importante linha condutora. Fazer mais, com menos desperdício e mais qualidade são os objetivos principais do “emagrecimento” de um processo, direcionando os recursos para a criação de valor.

O trabalho aqui apresentado surge de uma colaboração entre a empresa A.S. Matos Energia - S.A. e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCTUNL). O processo produtivo analisado respeita ao fabrico de torres metálicas que suportam aerogeradores e em conjunto formam torres eólicas. Os objetivos do estudo centram-se na análise crítica do processo produtivo e na elaboração de propostas que visam agilizar algumas das suas etapas.

A análise das etapas da produção incluiu uma recolha de dados que permitem um conhecimento e caracterização aprofundados das especificidades do processo, e a identificação das oportunidades de melhoria.

As várias alterações propostas abrangem diferentes temáticas: a redução do tempo de operação e de transporte de material, melhor organização do *layout* e aquisição de novos equipamentos. Nem sempre a mais dispendiosa ou complexa modificação leva ao maior ganho, por isso são analisadas propostas com diferentes graus de urgência e de complexidade de aplicação. A oportunidade de testar a implementação de algumas propostas de modificação permitiu a obtenção de dados importantes que sustentam a sua viabilidade.

A melhoria de um processo produtivo, com uma metodologia *Lean* adjacente é um caminho que conhece apenas o início, sendo a meta um estado de perfeição onde nunca se chega, mas que várias vezes deve ser estabelecido de novo.

Palavras-chave: processo produtivo, propostas de melhoria, melhoria contínua, *Lean Thinking*, ferramentas *Lean*, *layout* industrial.

Abstract

Productivity, competitiveness and the constant pursuit of excellence require an ongoing evaluation that allows a reduction of waste inherent in the activities of any company. Since this is a study that seeks continuous improvement and elimination of waste, Lean Thinking emerges as an important guiding principle. Doing more, with less waste and higher quality are the main objectives of the "slimming" of a process, directing resources to create value.

The work presented here stems from a collaboration between the company Matos Energia AS - SA and the Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCTUNL). The production process analyzed concerning the manufacture of steel towers that support wind turbines and together form wind towers. The objectives of the study focus on the critical analysis of the production process and the drafting of proposals to streamline some of its steps.

The analysis of the production steps included data collection to allow for thorough understanding and characterization of the specifics of the process, and the identification of opportunities for improvement.

The proposed changes include several different themes: reducing the operation time and material transport, better organization and layout of the acquisition of new equipment. Not always the most expensive or complex modification leads to higher gain, so proposals are analyzed with different degrees of urgency and complexity of application. The opportunity to test the implementation of some proposed modifications allowed obtaining important data supporting its viability.

The improvement of a production process with an adjacent Lean is a journey that knows only the beginning, the goal being a state of perfection which never arrives, but often must be established again.

Keywords: production process, improvement proposals, ongoing improvement, Lean Thinking, Lean tools.

Índice de Matérias

1.	Introdução	1
1.1.	Enquadramento e âmbito da dissertação	1
1.2.	Objetivos da dissertação.....	2
1.3.	Apresentação do Grupo A. Silva Matos	3
1.3.1.	Missão.....	4
1.3.2.	Visão.....	4
1.3.3.	Valores.....	4
1.3.4.	A A. Silva Matos – Energia S.A.	4
1.4.	Estrutura da dissertação.....	5
2.	O pensamento <i>Lean</i> e as suas ferramentas	7
2.1.	A génese de uma filosofia	7
2.2.	Os Princípios do pensamento <i>Lean</i>	9
2.3.	Valor e desperdício	11
2.3.1.	Valor	11
2.3.2.	Desperdício	11
2.4.	Ferramentas <i>Lean</i>	14
2.4.1.	<i>Value Stream Mapping</i> (VSM)	14
2.4.2.	<i>Heijunka</i>	16
2.4.3.	<i>Kanban</i>	17
2.4.4.	5 S.....	17

2.4.5. <i>Kaizen</i>	19
2.5. Outras ferramentas e metodologias	20
2.5.1. <i>Total Productive Maintenance</i> (TPM)	20
2.5.2. <i>Total Quality Management</i> (TQM)	20
2.5.3. <i>6 Sigma</i>	21
3. Estado atual do processo produtivo das torres metálicas	23
3.1. O Produto	23
3.2. Etapas do processo produtivo.....	24
3.3. Preparação e Planeamento de trabalho	26
3.4. Pavilhão 1	29
3.4.1. Armazém de matéria-prima.....	30
3.4.2. Decapagem automática	30
3.4.3. Oxicorte	31
3.5. Pavilhão 2	32
3.5.1. Calandragem	33
3.5.2. Soldadura longitudinal	33
3.5.3. Carro transportador de chapa	34
3.6. Pavilhão 3	35
3.6.1. Acoplamento	36
3.6.2. Soldadura multifunção	37
3.6.3. Soldadura circular exterior	37
3.6.4. Soldadura circular interior.....	38

3.6.5. Montagem de clips	38
3.6.6. Marcação e montagem da porta e aro de ventilação	39
3.6.7. Soldadura da porta e aro de ventilação	39
3.7. Pavilhão da pintura	39
3.8. Pavilhão 5	41
4. Informações resultantes da observação ativa do processo	43
4.1. Tempos de operação.....	43
4.1.1. Comparação com dados da empresa.....	50
4.2. Constrangimentos ao fluxo	51
4.3. Tempo de transporte de materiais para alimentação dos postos de trabalho	52
4.4. <i>Layout</i>	53
4.5. Levantamento de custos de produção.....	57
5. Propostas de melhoria	59
5.1. Alimentação das mesas de oxicorte.....	59
5.2. Alteração de <i>layout</i> e criação de zonas de arrumação	60
5.2.1. Zonas específicas de arrumação	61
5.2.2. Alteração da localização da calandra 2.....	63
5.3. Operador dedicado	65
5.3.1. O teste	66
5.3.2. Os resultados do teste.....	67
5.4. Carro transportador de chapa	68
5.4.1. As modificações.....	69

5.5. Identificação das virolas.....	70
5.5.1. As etiquetas.....	71
5.6. Quadro informativo.....	74
5.7. Novas máquinas.....	76
5.7.1. Nova calandra.....	77
5.7.2. Máquina de soldadura longitudinal.....	79
5.7.3. Calandra e máquina de soldadura longitudinal.....	80
5.7.4. Soldadura circular interior no acoplamento.....	81
5.7.5. Instalação da porta e aro de ventilação.....	82
5.7.6. Combinação de melhorias para Pavilhão 3.....	83
5.7.7. Alteração conjunta de quatro equipamentos.....	84
5.8. Análise de propostas de melhoria.....	85
5.8.1. Armazenamento de produto semi-acabado.....	85
5.8.2. Balanceamento do Pavilhão 2.....	87
5.8.3. Balanceamento do Pavilhão 3.....	89
5.9. Propostas para futuros melhoramentos.....	90
5.9.1. Medidor de perímetro nas calandras.....	91
5.9.2. Identificação de material com código de barras.....	92
5.9.3. Uniformização de instrumentos para transporte.....	92
5.9.4. Carro transportador de chapas e virolas.....	93
6. Conclusões e sugestões de futuros desenvolvimentos.....	95
6.1. Conclusão e análise do trabalho efetuado.....	95

6.2. Desenvolvimentos futuros.....	97
Bibliografia	99
Bibliografia adicional.....	101
Anexos	103
Anexo I – Folha para recolha de tempos de operação	103
Anexo II – Tempos máximos, médios e mínimos de todas as operações	104
Anexo III – Escalonamento das operações nos pavilhões 1 e 2.....	105

Índice de Figuras

Figura 2.1 Casa TPS (Adaptado de [2] e [3])	8
Figura 2.2 Os Sete Novos Princípios do Pensamento Lean (Adaptado de [5])	9
Figura 2.3 Metodologia 5 S (Adaptado de [3]).....	18
Figura 3.1 – Torres eólicas (Adaptado de [25]).....	23
Figura 3.2 - Etapas do Processo Produtivo	25
Figura 3.3 - Pavilhão 1	29
Figura 3.4 - Pavilhão 2	32
Figura 3.5 - Carro transportador de chapa	35
Figura 3.6 - Pavilhão 3	36
Figura 3.7 - Pavilhão da Pintura.....	40
Figura 3.8 - Pavilhão 5	42
Figura 4.1 - Folha para registo de tempo de operação	44
Figura 4.2 - Escalonamento das operações realizadas nos pavilhões 1 e 2	46
Figura 4.3 - Escalonamento atual de todas as operações de fabrico de uma torre metálica	49
Figura 4.4 – Duração total do fabrico de uma torre metálica.....	49
Figura 4.5 - Esquematização do layout da fábrica	54
Figura 4.6 - Layout atual dos pavilhões 1 e 2.....	55
Figura 4.7 - Arrumação de virolas no Pavilhão 2	56
Figura 5.1 – Esquematização das diferentes zonas de arrumação específicas	61
Figura 5.2 – Virolas no armazém 3	63

Figura 5.3 – Arrumação de virolas no armazém 5	63
Figura 5.4 - Proposta de alteração de localização da calandra 2	64
Figura 5.5 – Estrutura atual do carro transportador de chapa	69
Figura 5.6 – Controlador atual do carro transportador de chapa.....	70
Figura 5.7 - Etiqueta 1	72
Figura 5.8 - Etiqueta 2.....	73
Figura 5.9 - Etiqueta 3.....	73
Figura 5.10 - Possíveis localizações do quadro informativo.....	75
Figura 5.11 - Esquema de organização do quadro informativo	76
Figura 5.12 - Alteração de layout para nova calandra 2	78
Figura 5.13 - Árvore de objetivos para armazenamento de produto semi-acabado.....	86
Figura 5.14 - Árvore de objetivos para o balanceamento do Pavilhão 2.....	88
Figura 5.15 - Árvore de objetivos para o balanceamento do Pavilhão 3.....	89
Figura AI.1 – Exemplo de folha para registo do tempo de uma operação	103
Figura AIII.1 – Escalonamento das operações com nova calandra.....	105
Figura AIII.2 – Escalonamento de operações com nova máquina de soldadura longitudinal	106
Figura AIII.3 – Escalonamento de operações com substituição da calandra e máquina de soldadura longitudinal	107

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 – Operadores e equipamentos do Pavilhão 1	29
Tabela 3.2 - Operadores e equipamentos do Pavilhão 2	32
Tabela 3.3 - Operadores e equipamentos do Pavilhão 3	36
Tabela 3.4 - Operadores do Pavilhão da Pintura.....	40
Tabela 4.1 - Duração média das operações do Pavilhão 1	45
Tabela 4.2 - Duração média das operações do Pavilhão 2	45
Tabela 4.3 - Duração média das operações do Pavilhão 3	47
Tabela 4.4 - Duração média das operações do Pavilhão da Pintura.....	47
Tabela 4.5 - Duração média das operações do Pavilhão 5	48
Tabela 4.6 - Duração total das operações de fabrico de uma torre	48
Tabela 4.7 - Comparação entre os dados obtidos e os dados da empresa	50
Tabela 4.8 – Data da conclusão das operações de fabrico de cada troço	52
Tabela 4.9 – Tempo de alimentação dos postos de trabalho analisados.....	53
Tabela 4.10 – Composição de custos do processo de fabrico de uma torre metálica	57
Tabela 5.1 - Legenda do esquema de arrumação da figura 5.1	62
Tabela 5.2 – Duração das operações de alimentação dos postos de trabalho	67
Tabela 5.3 – Estado atual do processo.....	77
Tabela 5.4 – Conclusão de operações com nova calandra	79
Tabela 5.5 - Conclusão de operações com nova máquina de soldadura longitudinal.....	80
Tabela 5.6 – Conclusão das operações estimada com novos equipamentos no Pavilhão 2	81

Tabela 5.7 – Conclusão de operações para soldadura interior realizada no acoplamento	82
Tabela 5.8 - Conclusão de operações com alterações na instalação da porta e aro de ventilação	83
Tabela 5.9 – Conclusão das operações estimada com novos equipamentos no Pavilhão 3	84
Tabela 5.10 – Conclusão de operações para a alteração conjunta dos quatro equipamentos	84
Tabela 5.11 – Matriz de decisão ponderada para armazenamento de produto semi-acabado	87
Tabela 5.12 – Matriz de decisão para balanceamento do Pavilhão 2	88
Tabela 5.13 – Matriz de decisão para balanceamento do Pavilhão 3	90
Tabela AII.1 – Tempos de operação.....	104

Abreviaturas

ASM Energia – S.A. – A. Silva Matos Energia – S.A.

CLT – Comunidade *Lean Thinking*

FCT-UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

JIC – *Just-in-case*

JIT – *Just-in-time*

MRP – *Master Research Plan*

TMC – *Toyota Motor Company*

TPM – *Total Productive Maintenance*

TPS – *Toyota Production System*

TQC – *Total Quality Control*

TQM – *Total Quality Management*

TR – Troço de torre

UNIDEMI – Unidade de Investigação e Desenvolvimento da Engenharia Mecânica e Industrial

VSM – *Value Stream Mapping*

1. Introdução

Neste primeiro capítulo é apresentado o âmbito da presente dissertação e o enquadramento em que se insere, tal como a empresa que proporcionou a realização do trabalho aqui apresentado. São revelados os objetivos do estudo e a forma como se encontra estruturado este documento.

1.1. Enquadramento e âmbito da dissertação

O estudo aqui apresentado nasce de uma proposta da empresa A. Silva Matos – Energia S. A., integrada no Grupo A. Silva Matos SGPS, com o intuito de analisar e melhorar o seu processo produtivo de torres metálicas. É uma empresa parceira da Unidade de Investigação e Desenvolvimento da Engenharia Mecânica e Industrial (UNIDEMI) sediada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT-UNL). Em tempos economicamente conturbados, é essencial uma atitude proativa que aponte para tornar mais eficientes os processos de uma organização. Sem a urgência de reformas repentinas com o intuito de obter resultados rápidos e fáceis, é assim possível uma abordagem mais dissecada dos hábitos e métodos utilizados, sempre focada na melhoria da produtividade e competitividade. Estes são conceitos inatos de uma empresa que aponta ao topo dos mercados em que opera.

Analisar as operações principais e também as secundárias é um passo de extrema importância para melhor conhecer a realidade do processo produtivo da empresa, auxiliando com a comparação com os dados existentes. Questionar rotinas há muito implementadas e estudar melhoramentos com diferentes graus de aplicabilidade são alguns dos propósitos deste estudo. A filosofia da empresa e o espírito empreendedor patente nas suas apostas pode encontrar aqui uma ferramenta de auxílio em futuras decisões.

Produzindo com matérias-primas cada vez mais dispendiosas, suportando custos energéticos que inflacionam consideravelmente os gastos de uma empresa a cada ano que passa, é imperativo diminuir outros custos adjacentes à produção, tal como agilizar processos e aproveitar

por completo todas as capacidades da cadeia de recursos de uma empresa, sejam eles humanos ou materiais. Objetivos como eliminar desperdícios, tornar mais fluente a criação de valor e potenciar capacidades cruzam-se com os princípios do *Lean Thinking*. Esta filosofia e estratégia de negócio pretende conferir às organizações maior capacidade de satisfazer os seus interessados, gerando o valor que estes pretendem, utilizando para tal os recursos estritamente necessários. O modelo que serve de base provém da *Toyota Motor Company* (TMC) e poucas empresas até hoje conseguiram aplicá-lo com o mesmo grau de minúcia. Mas quem persegue os seus pressupostos lucra com as modificações operadas, mesmo que o processo de melhoria contínua, outro conceito inerente a esta filosofia, represente ainda um longo caminho a percorrer.

Esta filosofia alberga várias ferramentas que providenciam uma melhor análise dos processos, ao mesmo tempo que ajudam a definir o caminho para um melhoramento válido. A sua aplicabilidade está longe de se restringir ao campo industrial, sendo por isso uma importante arma do conhecimento, podendo, quem a possuir, emprega-la praticamente em todos os desafios profissionais que encontre ao longo da vida.

1.2. Objetivos da dissertação

Melhorar um processo produtivo de qualquer indústria é um trabalho que conhece apenas o início, sendo a meta um estado de perfeição que se procura permanentemente e só se atinge quando é conhecida uma nova necessidade para onde devem confluír as atenções. O objetivo desta dissertação insere-se em cumprir algumas etapas desse caminho.

Conhecer o processo e os seus intervenientes, efetuar um levantamento dos seus hábitos e práticas, mas também de dados efetivos que explicitem os recursos necessários às várias operações, permite criar uma imagem mais real de toda a produção e uma fácil identificação dos pontos a melhorar. A articulação dessa análise com sugestões formuladas permite a elaboração de propostas de melhoria, cuja aplicabilidade possa, sempre que possível, ser testada e analisada.

Promover a criação de valor com menos desperdício são objetivos implícitos a uma análise deste tipo com recurso à filosofia *Lean*. A utilização das ferramentas desta metodologia, tal como outras que se revelem importantes, serão descritas e analisadas. Sendo apenas um dos significados válidos para o termo, e nem sempre aquele que se aplica directamente neste âmbito,

gerar valor com menos recursos exige que os custos envolvidos no processo sejam tidos em conta, e incluídos nesta análise.

1.3. Apresentação do Grupo A. Silva Matos

O Grupo A. Silva Matos nasceu em 1980, ano da criação da A. Silva Matos, Indústria Metalomecânica Lda., iniciando a sua atividade com a produção de reservatórios e outros equipamentos destinados às indústrias química, alimentar e farmacêutica, em aço inoxidável. Uma postura sustentada na qualidade, procura da excelência e um forte carácter empreendedor permitem a criação de outras empresas que hoje constituem a A. Silva Matos SGPS.

Em 1983 é implementado o primeiro manual da qualidade, e em 1990 torna-se a 10ª empresa nacional a ser certificada segundo a norma ISO 9002, a primeira no sector da metalomecânica. Três anos depois surge a certificação segundo a norma ISO 9001, num processo em constante evolução, com sucessivas certificações por entidades internacionais, exemplo da aposta na qualidade em cada processo.

Surgem novas empresas e sucessivas premiações nacionais e internacionais, reconhecendo a postura empreendedora e a aposta na inovação. Torna-se um *case study* a nível europeu. Alarga o espetro de mercado, fabricando reservatórios para diversas aplicações, incluindo reservatórios sob pressão. Em 1998 é seleccionada pelo Centro Europeu de Investigação Nuclear (CERN) para o fornecimento de depósitos de armazenamento de hélio.

As pessoas representam o activo mais importante da empresa, sendo por isso potenciados os resultados individuais e colectivos, apostando na motivação e formação, com o reconhecimento do desempenho de cada um. Os acionistas são uma das partes interessadas, e satisfazê-los passa por rentabilizar os capitais investidos. A sociedade beneficia de várias ações que cruzam o desenvolvimento do Grupo com o caminho da procura de um meio ambiente mais preservado e também de um ambiente social e económico melhor para todos.

Por fim, a higiene, segurança e ambiente são temas caros a todas as empresas do grupo e seus colaboradores, iniciando dentro das suas portas o desenvolvimento sustentável que procura atingir com os seus produtos.

1.3.1. Missão

A A. Silva Matos SGPS tem como missão a gestão activa das participações sociais de todas as empresas que constituem o Grupo.

1.3.2. Visão

A definição de estratégias de desenvolvimento com o foco na satisfação de todos os seus clientes, colaboradores, acionistas e outros interessados é a visão que une todo o Grupo.

1.3.3. Valores

O Grupo A. Silva Matos SGPS elege seis elementos fundamentais na definição das suas ações. Os clientes são um dos focos, tratando-os como gosta de ser tratado quando se encontra na sua posição. Os fornecedores são seleccionados pela sua qualidade.

1.3.4. A A. Silva Matos – Energia S.A.

O estudo apresentado nesta dissertação tem como campo a A. Silva Matos – Energia S. A., que nasce em 2006, integrada como fornecedor no consórcio vencedor da Fase A do concurso público para atribuição de capacidade de injeção de potência na rede eléctrica. Aproveitar o *know-how* adquirido pelo grupo ao longo dos anos no fabrico de elementos metálicos e um mercado em larga expansão representam o mote de uma aposta que permitiu alargar os seus horizontes, albergando uma nova área de negócio, e participando num esforço conjunto de várias entidades rumo a uma sustentabilidade energética real e uma maior conservação do meio ambiente.

Contando com uma unidade de produção munida de tecnologias actuais orientada para o fabrico de torres eólicas, apresenta uma gama de produtos que se estende desde as torres eólicas metálicas, troços de torres híbridas aço/betão e componentes de estruturas para instalações eólicas *off-shore*. O projecto Windfloat é a mais recente aposta da empresa, uma torre eólica assente numa plataforma flutuante que permite a instalação de parques eólicos no mar. O primeiro protótipo encontra-se já em testes, e é mais um exemplo da inovação que tem pautado a estratégia do grupo A. Silva Matos SGPS ao longo dos anos.

Alicerçando as suas práticas na excelência e na qualidade total, todas as empresas do Grupo partilham de uma estratégia que aposta na inovação para diversificar a sua oferta, sem o descuro da satisfação de todos os interessados.

1.4. Estrutura da dissertação

A dissertação apresentada encontra-se apartada em seis capítulos, que se desenvolvem desde a introdução ao estudo realizado até às conclusões obtidas. O primeiro capítulo enquadra o trabalho realizado nos âmbitos e objetivos, adicionando uma apresentação da empresa parceira que proporcionou a realização deste trabalho.

O segundo capítulo expõe metodologias e ferramentas do *Lean Thinking*, que se revelam fios condutores da análise efetuada ao processo. Este é apresentado no capítulo 3, com uma descrição pormenorizada das várias etapas do processo produtivo.

As informações recolhidas que permitem caraterizar o processo e descortinar as oportunidades de melhoria são reunidas no capítulo 4. O quinto capítulo comporta todas as propostas de melhoria formuladas, e a sua análise.

Alguns comentários adicionais ao trabalho e as conclusões compõem o sexto e último capítulo desta dissertação.

2. O pensamento *Lean* e as suas ferramentas

O presente capítulo destina-se a uma sucinta introdução teórica às bases que transversalmente acompanham este estudo, com ênfase na metodologia *Lean* e em algumas das suas ferramentas.

2.1. A génese de uma filosofia

A Revolução Industrial de meados do século XVIII encetou uma época em que o trabalho manual é adjuvado pelo trabalho das máquinas. Mais matérias-primas são transformadas, largos espetros de produtos são concebidos, destinados a uma ainda maior panóplia de clientes. Também marca o início de um tempo em que as transformações económicas e sociais ocorrem espaçadas por intervalos cada vez mais curtos, e cada nova ideia parece romper com o passado, apontando a um futuro que depressa não passa de presente.

As fábricas são um dos frutos dessa revolução, e dentro delas a forma como é mecanizado o trabalho é um espelho do progresso do seu tempo. Abordam-se em seguida os traços gerais de uma filosofia que nasceu nas fábricas de automóveis, evoluindo para um pensamento que se pode traduzir e aplicar às mais variadas atividades desenvolvidas por uma sociedade.

A tradução para a língua portuguesa do termo *lean* em inglês fornece magro como um resultado, que ajuda a perceber um dos seus principais desígnios: reduzir os recursos de um processo aos estritamente necessários. São pioneiros na utilização do termo os autores Womack e Jones, com obras de aclamada importância no estudo desta temática.

A implementação de sistemas de produção em massa, baseados em linhas de montagem, é a verdadeira génese desta metodologia. Quando no início do século XX Henry Ford criou a sua linha de produção do Ford *model T* introduziu métodos que mais tarde amadureceriam sob os nomes de *Just-in-time* (JIT) e *Lean Manufacturing*, pilares fundamentais do *Toyota Production System* (TPS) que surge décadas mais tarde, como caminho traçado por outro fabricante de automóveis para vencer adversidades e destacar-se dos demais concorrentes[1]. A figura seguinte ilustra a filosofia adotada pela *Toyota*:

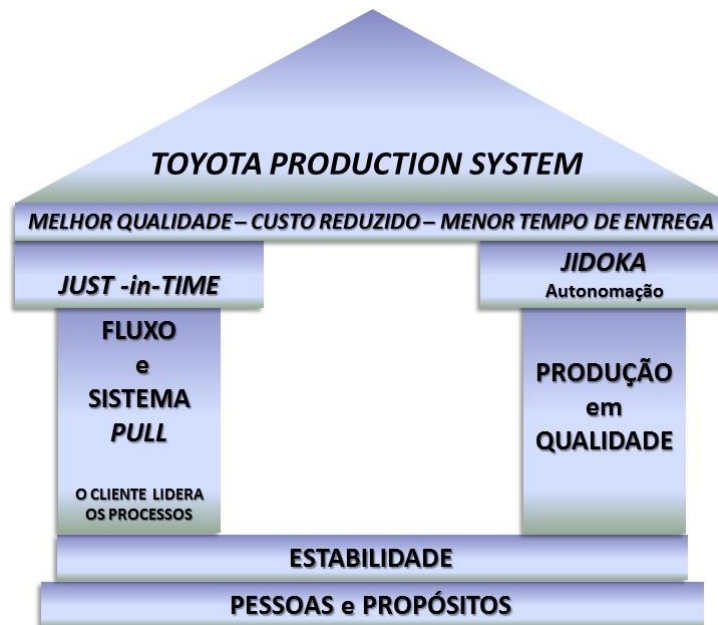


Figura 2.1 Casa TPS (Adaptado de [2] e [3])

A inspiração para ambos os modelos surge de ramos industriais distantes, conjugados na construção de automóveis, um dos símbolos de evolução do século XX. Enquanto Henry Ford concebe o seu modelo com base em métodos utilizados em matadouros e indústrias de carnes, foi o tear automático de Sakichi Toyoda que inspirou a criação do TPS.

A eliminação de todo o tipo de desperdícios, estendendo esse objectivo a todas as etapas do processo produtivo de forma a conseguir uma produção mais eficiente é a génese do TPS que se ramifica em vários desígnios na Produção Magra. Produzir apenas o que o cliente pretende, na quantidade que necessita, com um espectro mais alargado de variedade de produtos, em menos tempo, almejando uma maior competitividade, custos mais baixos, níveis de qualidade mais altos, com tempos de entrega reduzidos e eliminar os desperdícios, representam a ponte entre duas correntes que se inspiram e complementam.

2.2. Os Princípios do pensamento *Lean*

A transposição de uma metodologia nascida na indústria automóvel para outro tipo de organizações, quer sejam industriais ou de serviços, é conseguida pela ampla aplicabilidade dos seus princípios.

Uma lista inicial de cinco princípios que aborda a definição dos valores e consequente elaboração das cadeias que ilustram a sua obtenção, a optimização dos fluxos, o sistema *pull* e a visada perfeição [4] sofre a adição de dois itens, fruto da investigação da Comunidade *Lean Thinking* [5]. O diagrama apresentado mostra a lista de todos os princípios:

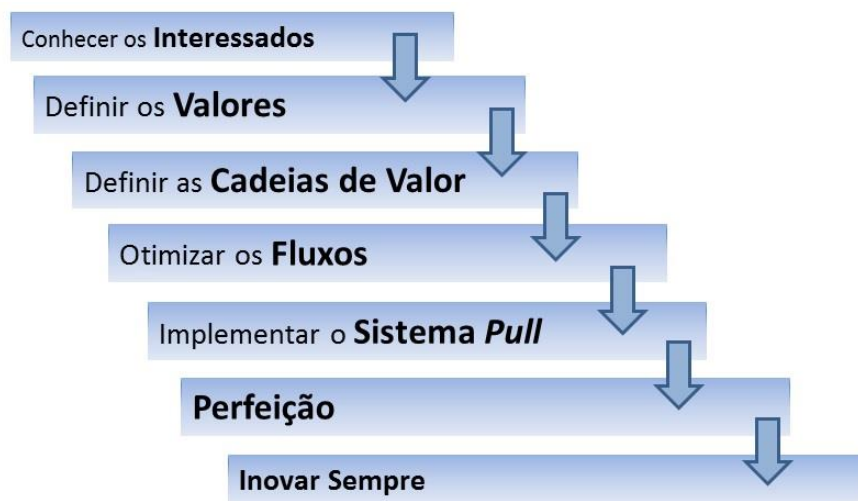


Figura 2.2 Os Sete Novos Princípios do Pensamento *Lean* (Adaptado de [5])

Conhecer os interessados: Uma qualquer organização sustenta um leque de *stakeholders* com diferentes interesses na criação de valor que promove. As partes interessadas dispersam-se desde os acionistas até aos mais variados agentes sociais da comunidade que a acolhe. Se os clientes e os investidores beneficiam de elevado destaque, não devem ser descurados os interesses dos colaboradores, como também as questões ambientais e de cariz social merecem relevo aquando da definição das estratégias de negócio.

Definir os valores: Se existem diferentes partes interessadas é consequência natural a existência de diferentes valores procurados. Representa o singular objetivo de uma empresa ou organização, traduzido num plural de diferentes formas e direcções. Iniciando a cadeia com a

definição do *stakeholder* a satisfazer, é possível a conversão de atividades que anteriormente representavam desperdício em valor que se destina a satisfazer um novo interessado.

Definir as cadeias de valor: A existência de diferentes valores obriga à definição de cadeias para cada um deles. Mapear uma cadeia permite acercar da capacidade de criar valor de cada atividade nela constante, eliminando aquelas que não contribuem para esse fim. As várias cadeias não se devem sobrepor, desejando-se um equilíbrio na satisfação dos interesses.

A adição do princípio descrito como a identificação dos interessados, sugere que aquando do mapeamento de uma cadeia de valor, o cliente final desta seja o foco de todas as atenções na definição de cada atividade. A satisfação de clientes ao longo da cadeia é secundária face ao cliente final, aquele cujo reconhecimento do valor do produto ou serviço é fundamental.

Optimizar os fluxos: Aquando das cadeias definidas, desprovidas das atividades que contribuíam apenas para o desperdício, o foco deve incidir na procura de um fluxo contínuo ao longo de todas as etapas. Esse objectivo comporta, na maioria dos casos, a obrigação de permanentemente distinguir o necessário do acessório em cada atividade, para que seja produzido apenas aquilo que é pretendido.

Implementar o sistema pull: Permitir que seja o cliente final de uma cadeia a desencadear as atividades que levarão até si valor. Ao invés das empresas empurrarem até aos consumidores produtos que estes muitas vezes não desejam, este sistema pretende que seja o cliente a liderar, decidindo como, onde, quando e em que quantidade necessita do produto.

Perfeição: Nenhuma otimização se finda. A perfeição deve ser o objectivo, pois é sempre possível fazer melhor. As reduções de desperdício devem ser permanentes, como também as necessidades e expectativas dos clientes em constante evolução devem ser satisfeitas.

Inovar sempre: Contrariar a estagnação, complementando a busca pela perfeição com a eliminação do desperdício e a criação de novos produtos, serviços ou processos. Para satisfazer novas necessidades e exigências, como também para chegar a mais interessados.

Os princípios originais comportam em si os desígnios fundamentais desta filosofia. O conhecimento das partes interessadas e a inovação representam complementos que auxiliam no caminho a traçar rumo à excelência.

2.3. Valor e desperdício

Qualquer abordagem ao pensamento *Lean* implica a utilização dos conceitos **valor** e **desperdício**. Interessa então uma definição mais precisa de ambas as palavras.

2.3.1. Valor

Pode definir-se como a razão que justifica o interesse e o dispêndio de recursos. A sua criação é o objectivo fundamental de qualquer organização.

É um termo muito associado a questões monetárias, negligenciando outras formas passíveis de se designarem por valor. A percepção que um cliente tem do produto ou serviço traduz-se na valorização que lhe atribui, e conseqüentemente, a sua satisfação traduz-se numa quantia de capital, em troco da satisfação da sua necessidade.

Mas existem outras partes interessadas, cujas necessidades não são satisfeitas através da criação de produtos ou serviços. Os acionistas, os colaboradores e a sociedade esperam também ser recompensados pelo capital, tempo e esforço que dedicam a uma organização.

Produtos adquiridos pelo cliente que respondem às suas necessidades, condições de trabalho que agradam aos colaboradores, resultados económicos que satisfazem os investidores e o respeito pelo ambiente são exemplos da criação de valor por parte de uma empresa, na tentativa de satisfazer todos os seus interessados. [5]

2.3.2. Desperdício

As atividades que consomem recursos e não produzem valor representam os desperdícios. Os japoneses designam essas ações pelo termo *muda*. Contribuem para um encarecimento do produto ou serviço, e quando identificadas apresentam duas hipóteses de melhoria: conseguir entregar o mesmo valor ao cliente por um preço mais baixo ou oferecer mais valor pelo mesmo preço.

Aquando do estudo do TPS foi elaborada uma lista de desperdícios clássicos transversal a vários tipos de empresas: [1], [6]

Excesso de produção: Evento que traduz níveis de produção acima do desejado. A quantidade produzida excede o necessário para a satisfação das encomendas. As quantidades adicionais produzidas comportam outros desperdícios: consumo desnecessário de recursos humanos, materiais, armazenamento e transporte. Alguns dos fenómenos que mais contribuem para este tipo de desperdício são os lotes de fabrico com dimensão desadequada às encomendas e a antecipação da produção. São estratégias delineadas pela empresa para colmatar deficiências conhecidas dos seus processos, como os defeitos e paragens de produção habituais, ou trocas morosas de formatos ou ferramentas. Espelhando uma filosofia *Just-in-case*, que se sustenta em objectivos e princípios inversos aos do pensamento *Lean* e do TPS, com os seus sistemas *pull* e o *Just-in-time*, é um dos desperdícios mais comuns e com maior impacto numa empresa. É fruto de outros desperdícios, fomenta também o acréscimo de outras atividades que não se traduzem na criação de valor, tendo por isso primazia para uma eliminação imediata.

Defeitos: Produtos que apresentam baixos níveis de qualidade, não cumprindo na íntegra os requisitos necessários à aprovação, devendo ser rejeitados. Algumas empresas incrementam a produção para colmatar estes episódios, adicionando mais desperdício. Após a rejeição, seguindo o caminho da eliminação, inflaciona-se a conta do desperdício, com material, tempo e outros recursos gastos que não foram utilizados para criar valor. Se a outra opção consistir no reprocessamento do produto, o resultado é também mais desperdício. Conhecer a causa do defeito, impedindo que seja recorrente, tornar essa identificação o mais precoce possível na cadeia em que se encontra inserido são as primeiras decisões a tomar rumo à eliminação deste tipo de desperdício.

Sobre processamento: Fenómeno também descrito como processos inadequados, motivado por uma incorrecta utilização de equipamentos e ferramentas, especificações de qualidade excessivas, instruções de trabalho imprecisas, e carências de formação e informação. Outra das causas prende-se com uma deficiente articulação entre os requisitos apresentados pelo cliente e as características finais do produto, podendo ocorrer atividades que encarecem o produto, mas não são valorizadas pelo cliente, tendo essa percepção reflexo no valor que este pretende despende. Este fenómeno ocorre também quando se pretendem evitar outro tipo de desperdícios. Para combater os defeitos, implementam-se controlos e inspecções em número desnecessário, muitas vezes fruto de repetição de algumas atividades, controlando-se várias vezes o mesmo parâmetro.

Tempos de espera: São períodos em que um dos intervenientes do processo não realiza a sua tarefa, ou vê insatisfeito o prazo de recepção do produto ou serviço, devido a um constrangimento do fluxo a jusante da sua posição. Paragens não programadas de equipamentos, fornecedores que não cumprem os prazos estabelecidos, material não conforme, nivelamento deficitário da produção, ocupação de postos de trabalho por reprocessamento e um *layout* desadequado são algumas das causas destes episódios, tal como transporte e movimentações desnecessárias.

Transporte: Representa o desperdício motivado por deslocações desnecessárias de materiais ou produtos que desvirtuam uma circulação que se pretende o mais fluida possível. Armazéns intermédios, movimentações complexas dos produtos em direcção ao posto de trabalho seguinte, operações e *layouts* inadaptados são causas comuns de tempo gasto em operações que consomem recursos com o espaço, tempo, energia e mão-de-obra e não adicionam valor.

Movimentações: Pessoas e informações que realizam deslocações alheias à criação de valor e impeditivas de uma maior fluidez do processo. Algumas das causas assentam na inadequação dos postos de trabalho, onde aspectos ergonómicos são negligenciados, fomentando a desorganização e perambulantes práticas e rotinas associadas a tarefas e burocracias.

Stocks: O armazenamento de produto acabado que sobeja face às necessidades despoletadas pelas encomendas dos clientes é outro dos reflexos da aplicação do princípio *Just-in-case*. Carregando o excesso de produção, é considerável o consumo de recursos relacionados com o armazenamento e o transporte que este fenómeno desencadeia. Segundo alguns autores, os *stocks* são uma indicação fundamental aquando do levantamento dos desperdícios ao longo do processo [7]

Esta lista de desperdícios clássicos oriunda da análise ao TPS, e com principal enfoque na indústria foi adaptada e incrementada por alguns autores. Fruto dos estudos direccionados para o aumento do espectro de aplicabilidade desta filosofia a outro tipo de organizações, como os serviços, existem três que acrescentam algumas novidades, e que por isso se destacam: [8]

Não utilização de potencial humano: A automatização de fábricas, armazéns e outros estágios do processo produtivo não contribuiu para uma melhoria contínua. O pensamento humano de todos os envolvidos é gerador de ideias que promovem a eficiência e esse capital é muitas vezes negligenciado em algumas organizações. Um dos objectivos do TPS versava sobre a criação de pessoas pensantes[6]. Fornecendo mais responsabilidade e autonomia, é expectável receber mais

vontade, entrega e empenho, e conseqüentemente melhores resultados, assentes numa melhoria permanente do processo.

Tempo de espera pelo cliente: O cliente é obrigado a esperar pelo produto ou serviço, implicando uma quebra no valor por ele percebido, resultado de burocracias e movimentações desnecessárias para a obtenção do valor que lhe é destinado.

Desperdício nos serviços e escritórios: Associado ao excesso de burocracia e deficiente aproveitamento dos recursos disponíveis, como as tecnologias de informação.

Nos desperdícios listados pontuam em grande parte as referências aos *stocks*, ao tempo e aos recursos materiais, onde se podem incluir as matérias-primas e a energia, por exemplo. São os reflexos mais visíveis das deficiências dos processos produtivos, e muitas vezes a chave para as políticas que permitem a sua eliminação. Desperdício gera mais desperdício e por isso a sua eliminação é fundamental.

Uma grande parte do tempo e das atividades desenvolvidas por uma organização, cerca de 95%, é dedicado a ações que não criam valor. Essa postura comporta custos elevados e representa um pesado lastro rumo à perfeição. É necessário converter esse potencial em oportunidades de criar valor.

2.4. Ferramentas *Lean*

A adequação dos princípios *Lean Thinking* à realidade de uma organização é conseguida com o recurso às ferramentas que esta metodologia disponibiliza. Seguidamente são introduzidos alguns desses instrumentos.

2.4.1. *Value Stream Mapping* (VSM)

O mapeamento do fluxo de valor é a representação gráfica de todas as atividades constituintes de uma cadeia de valor.[9] Recorre a linguagem facilmente assimilada por todos os

intervenientes que serão chamados a discutir as modificações a operar, com o objectivo de atingir um fluxo contínuo ao longo de todo o processo. É uma ferramenta de elevada importância para a implementação de uma metodologia *lean*.

O fluxo mais visível numa fábrica é aquele representa o percurso do material desde a sua entrada até à saída em forma de produto final. Mas existe outro com importância similar: o fluxo de informação. Ambos devem ser contemplados nesta representação gráfica, que permite uma percepção mais cuidada da relação entre os dois fluxos.

Uma esquematização clara de todas as atividades permite identificar os desperdícios e as suas origens, objectivando a análise e facilitando a definição das áreas que necessitam de modificações. Durante o planeamento das ações, é possível adequar as melhores ferramentas *lean* a cada atividade, promover a sua articulação, e visualizar o efeito que operarão na melhoria do fluxo.

A elaboração deste mapeamento deve seguir uma sequência de procedimentos, por forma a obter o resultado pretendido. A primeira decisão a tomar recai na escolha de uma família de produtos a analisar. Segue-se o mapeamento dos seus fluxos actuais, de material e informação, e a identificação das atividades que pontuam no processo mas não acrescentam valor e podem ser eliminadas. A terceira etapa é a mais morosa e consiste na transposição do estado actual para o mapeamento futuro. Implica o envolvimento de todos os sectores numa minuciosa análise e discussão de todos os parâmetros, sendo essencial um acordo acerca das modificações a implementar. Definido o caminho, é necessário mapear o fluxo que se pretende no futuro, e posteriormente planear e implementar as modificações. [10], [11]

Sendo esta uma ferramenta de importância incontestável, não dispensa porém uma análise adicional que a complemente. Embora tente envolver todos os sectores e todas as atividades, carece de instrumentos que permitam analisar detalhadamente questões relacionadas com o *layout*: os transportes, as movimentações e as distâncias não encontram tradução nesta ferramenta. Também os indicadores financeiros e os custos não são incluídos nesta análise, tal como a falta de um método a seguir para a escolha das melhorias a efectuar. [12]

2.4.2. *Heijunka*

O termo japonês *heijunka* traduz o acto de nivelar a produção, com a finalidade de garantir um fluxo contínuo de material e informação [9]. Vários desperdícios já referidos têm origem, entre outras causas, num deficitário nivelamento da produção, sendo esta uma ferramenta importante para eliminá-los.

Os seus principais objectivos são a redução dos níveis de *stock* e o correcto nivelamento da produção entre todas as operações, conseguidos através da adequação da variedade e volume produzidos à especificidade de cada encomenda. [13], [14]

Os requisitos fundamentais para a utilização desta ferramenta centram-se na flexibilidade da produção, no qual os operadores intervenientes devem ser dotados de competências que lhes permitam efectuar grande parte das tarefas constituintes do processo, tal como uma carga de trabalho igualmente distribuída entre todos. Adicionalmente, é essencial a inexistência de defeitos, mudanças rápidas de formatos e ferramentas e a utilização do *Kanban*. Esta ferramenta *Lean* será abordada seguidamente.

Este nivelamento de produção exige a constituição de um *stock* de produto acabado que permita uma satisfação imediata das necessidades do cliente. A sua dimensão deve ser definida de modo a que a variação da procura se reflecta de imediato no volume de produção. Só assim se conseguem níveis de armazenamento restringidos ao necessário e suficiente. Estes pressupostos justificam a flexibilidade exigida. [14]

Um dos acessórios desta ferramenta é a *heijunka box*, um quadro de nivelamento de produção dedicado à hierarquização dos cartões *kanban*. Desenvolvido no seio do TPS, permite que o operador percepcione o estado geral do processo com uma rápida observação do quadro. Nele deve encontrar informação sobre o atraso ou avanço da produção, tal como a prioridade de cada produto nas operações a efectuar. [15]

2.4.3. Kanban

A tradução do termo japonês oferece “cartão” como um dos resultados, tratando-se de um elemento primário do TPS, é dos mais simples sistemas de controlo de operações. Permite coordenar o fluxo de materiais e informação ao longo do processo [9].

Também descrito como ordem de fabrico que movimenta o material, indicando o estágio de produção de onde provém e para onde deve circular. É uma das ferramentas fundamentais para a implementação de um sistema *pull*, tendo sido desenvolvida como principal instrumento de gestão do JIT [16].

Consiste na utilização de dois tipos de cartões: *kanban* de produção, que autoriza e especifica uma operação, e o *kanban* de transporte, que adiciona às informações constantes no anterior as indicações necessárias à movimentação do material. O fluxo de produção torna-se assim comandado pelas operações a jusante. [17]

Algumas das vantagens desta ferramenta traduzem-se na simplicidade que oferece ao controlo dos processos, com baixos custos de implementação, a prevenção do excesso de produção, e a melhoria da comunicação entre os vários intervenientes, ao mesmo tempo que fomenta a maior responsabilidade de cada operador. [18]

2.4.4. 5 S

Conjunto de cinco conceitos traduzidos por cinco palavras japonesas com a primeira letra comum a todas. São auxiliadas na tradução pelo termo “sentido de” precedendo os seus significados. [19]

Aborda ações simples que possibilitam um ambiente de trabalho mais harmonioso e organizado, contribuindo dessa forma para a eliminação de desperdícios e a diminuição de erros, promovendo o aumento da produtividade [3], [20]:



Figura 2.3 Metodologia 5 S (Adaptado de [3])

Seiri – Sentido de eliminar: Consiste na selecção de tudo o que é necessário e na eliminação do restante. Combate os postos de trabalho desarrumados e as fábricas cheias, onde pontuam barreiras constituídas por materiais desnecessários, melhorando a acessibilidade a peças e ferramentas. Ajuda no combate ao acumular de *stocks* e favorece uma movimentação fluída de pessoas e materiais.

Seiton – Sentido de arrumar: Organização de materiais e peças de modo a reduzir movimentações e tempo de procura. Promove a criação de um inventário útil e actualizado, que contenha toda a informação acerca das provisões e necessidades. A arrumação dos postos de trabalho evita falhas de segurança que podem provocar acidentes, motivados pela incorrecta disposição de materiais, peças e produtos.

Seiso – Sentido de limpar: Com a finalidade de melhorar a segurança e higiene, tal como o ambiente de trabalho, torna visíveis alguns problemas que possam estar camuflados. O estado de alguns equipamentos e das próprias instalações torna-se mais facilmente perceptível.

Seiketsu – Sentido de normalizar: Criar hábitos e rotinas que permitam manter os predicados descritos. Promover o reconhecimento e a mostra de resultados para não desvanecer o esforço, principalmente nos tempos iniciais.

Shitsuke – Sentido de respeitar: Os princípios descritos e a sua aplicação devem ser estabelecidos como regras, justificadas e dos quais resultam ganhos visíveis por todos. E as regras devem ser cumpridas, resistindo às perturbações.

A sua aplicação deve seguir a ordem pela qual aqui se apresentam, embora o sentido de respeitar deva ser transversal a todas as etapas da implementação.

2.4.5. *Kaizen*

O principal significado do termo *kaizen* é a melhoria contínua, e o conjunto de todas as ações desenvolvidas no sentido de melhorar um processo ou actividade [9]. Além de uma ferramenta é um conceito nuclear do *Lean Thinking*. Denominador comum de todas as modificações a operar e o guia de uso das ferramentas utilizadas. Partilha com a maioria delas o objectivo da redução de desperdícios. A principal inclusão é a grande importância que o capital humano aqui assume [21].

Quando identificada uma área que pode ser melhorada, é através de um evento *kaizen* que se desenvolve todo o processo que conduzirá às modificações a operar. A lista de etapas é extensa, desde a constituição da equipa multidisciplinar que analisa o estado actual, até à implementação das medidas tomadas. É preferencial a inclusão de pessoas externas, ainda que conhecedoras das especificidades do processo [22].

Kaizen traduz assim a busca contínua da perfeição, envolvendo as pessoas, quer sejam intervenientes directos ou indirectos, que ganham poder para tomar decisões, sendo ainda mais estimuladas as suas capacidades. Factores fundamentais à melhoria contínua.

2.5. Outras ferramentas e metodologias

Existem ferramentas e metodologias que pela sua importância no desenvolvimento do *Lean Thinking* ao longo dos anos, e pela contribuição para o sucesso das suas aplicações, merecem uma referência nesta dissertação. A sua relevância na análise efectuada permite uma abordagem mais concisa às mesmas.

2.5.1. Total Productive Maintenance (TPM)

Criado em 1971 como uma manutenção produtiva da responsabilidade de todos os colaboradores, tem como objectivo maximizar a performance global dos equipamentos através da gestão do seu funcionamento. O registo e tratamento dos dados relativos às operações, reparações e intervenções realizadas aos equipamentos permitem a criação de um histórico do seu funcionamento. Esta acção atalha o caminho da eliminação dos desperdícios desencadeados por este tipo de episódios. Tenta também promover o aumento da responsabilidade dos operadores e outros intervenientes [9][23].

2.5.2. Total Quality Management (TQM)

Mais que uma ferramenta é uma filosofia de gestão que permite eliminar tarefas que não acrescentam valor, envolvendo todos os colaboradores, na procura de resultados positivos, num curto espaço de tempo. A sua génese remonta ao *Total Quality Control* (TQC) cujo objectivo era a satisfação contínua dos clientes, produzindo ao mais baixo custo possível. O TQM persegue a qualidade total, ou seja, satisfação contínua dos clientes ao mais baixo custo, com o envolvimento de todos [24].

A excelência é o objectivo, com enfoque no controlo da qualidade, resolução de problemas, *brainstorming*, definição e mapeamento de processos e indicadores de desempenho [9].

2.5.3. 6 Sigma

Tal como o TQM, também o *6 Sigma* se afigura como uma filosofia de gestão. Desenvolvido pela *Motorola*, pretende reduzir a variação dos processos. O pressuposto nuclear é operar com 3,4 defeitos por cada milhão de oportunidades, traduzindo-se assim a designação 6σ , onde *sigma* representa o desvio padrão. Actualmente é utilizado como forma de perpetuar o trabalho desenvolvido aquando da implementação de uma metodologia *Lean* [9].

3. Estado atual do processo produtivo das torres metálicas

Neste capítulo serão apresentados o processo e o produto que centram este estudo, tal como os departamentos envolvidos e a sua contribuição para as várias atividades.

3.1. O Produto

O estudo apresentado nesta dissertação aborda o fabrico de torres metálicas, construídas em aço, que suportarão aerogeradores, formando torres eólicas. O fabrico destes dois componentes é independente, embora existam especificações no fabrico da torre que interferem diretamente na montagem final, cujo cumprimento é de extrema importância. O aspeto final do conjunto é o apresentado na figura seguinte:



Figura 3.1 – Torres eólicas (Adaptado de [25])

Cada torre metálica é composta por vários troços (TR), que se formam acoplando chapas metálicas, que são calandradas e ganham a forma de cones truncados. A soldadura é uma atividade recorrente nas várias fases do processo. Cada troço recebe flanges na base e topo, permitindo a montagem dos troços adjacentes, que é efectuada no terreno, i.e. aquando da construção do parque eólico. O fabrico da torre é concluído com a pintura e a montagem dos acessórios interiores.

A empresa fabrica vários modelos de torre, diferindo entre si nas dimensões: altura, diâmetros da base e topo, e no número de troços. Esta dissertação aborda a produção do projeto 137, no decorrer do ano 2012, com um total de 30 torres metálicas do modelo E82 E2/S/83/5K/01 HC – 5. Para o estudo das várias atividades considera-se que cada torre é composta por quatro troços.

3.2. Etapas do processo produtivo

O fabrico das torres atravessa diversas fases, desde a chegada de uma encomenda até estar pronta a ser recolhida da fábrica. Na figura seguinte encontram-se esquematizados os passos gerais e as atividades mais importantes:

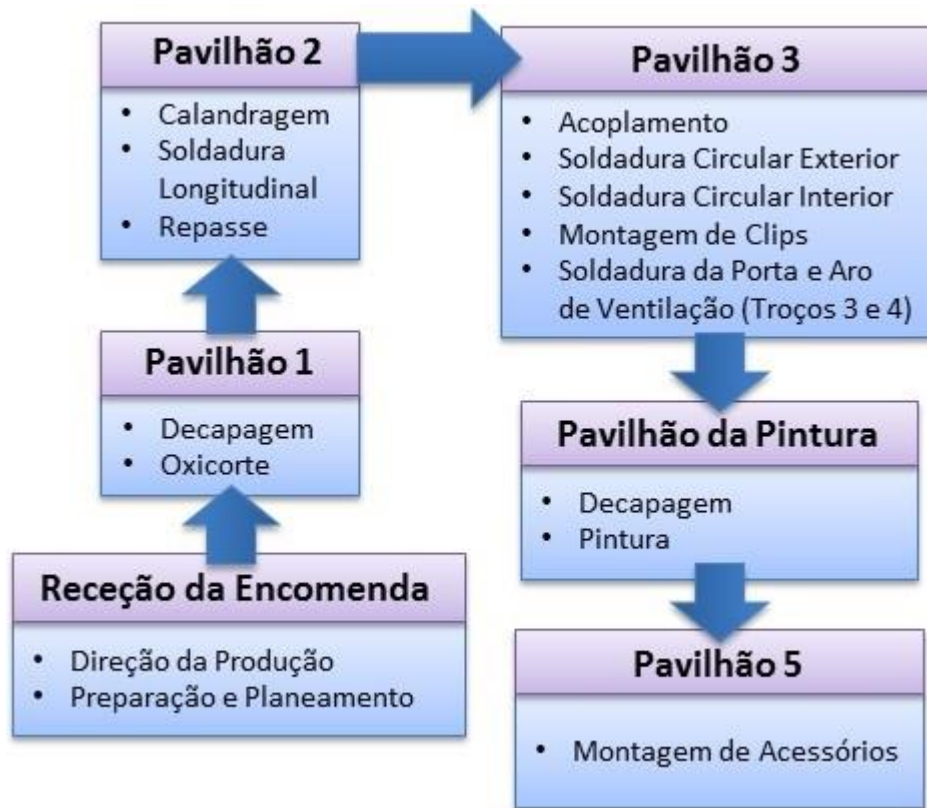


Figura 3.2 - Etapas do Processo Produtivo

Existem outros departamentos da empresa envolvidos ativamente no processo produtivo: o Controlo de Qualidade e a Manutenção. O primeiro realiza várias inspeções, com início na chegada de matéria-prima, onde são controladas todas as chapas e flanges, e uma percentagem do material de adição utilizado na soldadura. As tintas são verificadas através dos seus certificados. Durante o fabrico das torres efetuam os seguintes controlos dimensionais: planeza, paralelismo e alinhamento das flanges. São também realizados controlos das soldaduras, através de raio-x, líquidos penetrantes e partículas magnéticas, tal como a decapagem, pintura e metalização das flanges são verificadas através do controlo de rugosidade e micragem. A maioria destas ações não é realizada em paralelo com a atividade dos operadores, pois em grande parte as análises são feitas pelos técnicos conjuntamente com os operadores. Todos os resultados são imediatos.

O departamento da Manutenção encarrega-se de assegurar as reparações necessárias e efectuar intervenções de manutenção programada em todos os equipamentos. Auxiliados informaticamente, recebem alertas para as ações de manutenção preventiva agendada. Esse suporte informático é também carregado com informações relativas às paragens de cada equipamento, onde constam os tempos de paragem e a frequência com que ocorrem. Todos os anos ocorre uma

paragem da produção em tempo de férias, utilizada para realizar a maioria das intervenções preventivas.

Existem algumas atividades subcontratadas, como é o caso da maquinação da flange superior do TR1. O nível de planeza exigido é mais elevado do que a empresa conseguiria garantir com os seus recursos. As flanges são rececionadas, inspeccionadas e enviadas para o fornecedor dessa operação, e retornam à empresa já maquinadas e prontas a serem acopladas ao troço.

Nos diferentes postos de trabalho referentes às várias atividades constam *dossiers* onde é incluída toda a informação relevante e especificações necessárias, tal como dois documentos internos que são preenchidos pelos colaboradores. A folha de controlo, onde são registados valores relativos às operações e resultados de controlos dimensionais, e o boletim de ponto, para controlo individual da produção.

A laboração divide-se em dois turnos, com oito horas cada um, durante cinco dias por semana. O primeiro turno inicia-se às 7:00, com paragem para almoço entre as 11:00 e 11:30, finalizando às 15:30, hora de início do segundo turno. A paragem para jantar ocorre entre as 20:00 e 20:30, cessando as atividades às 24:00.

3.3. Preparação e Planeamento de trabalho

Este é o departamento que receciona a encomenda e se encarrega de planificar todos os passos para o fabrico das torres. As atividades de preparação e planeamento centram-se numa pessoa, auxiliada pelo *software* “Infor LN”, e em estreita colaboração com o departamento das compras.

A chegada da encomenda em formato CD-ROM proveniente do cliente inicia todo o processo. Constituída pelos desenhos e especificações do produto, toma a forma de uma ordem de compra. É analisada em conjunto com a Direção da Produção. Com recurso ao referido *software*, é criada a respetiva ordem de venda, que gera as necessidades para a satisfação da encomenda. Estas são enviadas aos departamentos envolvidos e é definida a duração do trabalho, em consonância com os prazos estabelecidos pelo cliente.

É este o departamento responsável pela elaboração dos *dossiers* de fabrico que contemplam a informação necessária a cada atividade. Algumas dessas especificações são ilustradas pelos desenhos técnicos. Face à inexistência de desenhadores na A.S.M. Energia – S. A., estes são efetuados por outra empresa do grupo, que possui um gabinete de desenho.

O programa utilizado encontra-se carregado com os seguintes dados:

- Material necessário para cada modelo de torre;
- Horas de trabalho necessárias a cada operação;
- Operações e programação das mesmas (especificações e sequências) para cada modelo;
- Material existente em armazém;
- Especificações das operações subcontratadas;
- Especificidades das matérias-primas a serem rececionadas.

Os materiais designados por consumíveis ou material de inventário, dos quais existe *stock*, têm os seus níveis monitorizados, sendo o departamento de compras alertado quando estes se encontram abaixo do pretendido. Este tipo de material não surge nas encomendas correspondentes às ordens de venda.

O departamento das compras recebe as necessidades relativas ao *Master Research Plan* (MRP), ou seja, material necessário e com as especificações para o fabrico das torres, incluindo aquelas que são impostas pelo cliente. As quantidades e os prazos devem respeitar os intervalos estabelecidos para o início da produção. Também aqui apenas uma pessoa desempenha as funções necessárias ao cumprimento dos desígnios deste departamento.

Aquando da receção das matérias-primas e algumas peças é necessária uma inspeção qualitativa, necessidade solicitada ao Controlo de Qualidade aquando da criação da ordem de venda. Cabe ao departamento de Preparação e Planeamento solucionar algumas reclamações de material “não conforme” para a produção. Pela sua especificidade e elevado custo, há casos em que se revela essencial um compromisso entre o Controlo de Qualidade, o cliente e o fornecedor que

permita, recorrendo a alguns melhoramentos, mobilizar novamente o material, tornando-o “conforme” e perfeitamente utilizável, inserindo-o na produção.

Também a orçamentação de cada projecto se inicia neste departamento. Conhecendo todas as necessidades, a afetação aos custos é feita de acordo com uma matriz que resulta do cruzamento de dados relativos a vários anos de laboração e aos custos atuais de cada material. Essa matriz comporta também valores de incertezas associadas, que permitem garantir uma almofada de segurança às perspectivas de ganhos.

Encabeçando o processo produtivo, a sua análise afigura-se como essencial no âmbito do estudo aqui apresentado. Porém, não originou propostas de melhoria. A percepção de grande agilidade das ações não despertou o sentido de necessidade de promover melhorias, embora estas possam sempre existir, como em qualquer outro departamento.

As atividades de preparação e planeamento são efetuadas com amplo recurso ao *software* “Infor LN”, o que contribui para uma agilidade considerável, patente na unicidade dos recursos humanos à disposição deste departamento. Assim como as compras, que habitualmente são passíveis de receber modificações em algumas rotinas. As compras estratégicas são muitas vezes apontadas como uma forma de baixar alguns custos.

Estando a empresa inserida num grupo que alberga outras fábricas com métodos semelhantes, e que consomem matérias-primas similares, as compras estratégicas já foram estudadas no seio do grupo. O resultado da sua análise foi o abandono. As especificidades de cada produto, com reflexo óbvio nas matérias-primas e na diversidade dos componentes utilizados, em cada empresa, permitiram concluir que uma central de compras não comportaria vantagens para nenhuma empresa do grupo. A opção passou por dedicar uma pessoa a estas funções, beneficiando-se de alguém familiarizado com as especificações dos vários materiais, que algumas vezes chegam ao nível dos fornecedores.

Embora o conceito de compras estratégicas se possa estender a uma relação com outras empresas concorrentes, a viabilidade dessa hipótese sai também gorada. A relutância na divulgação de dados sobre os seus processos afasta as cooperações, à qual não é alheio o reduzido número de empresas concorrentes ou com produtos semelhantes em solo nacional.

3.4. Pavilhão 1

Neste pavilhão são realizadas as operações de decapagem e corte de chapa, por oxicorte. Estas atividades são precedidas pela recolha das chapas a utilizar, que se encontram no armazém de matéria-prima. A tabela seguinte informa da relação entre as atividades, equipamentos e número de operadores em cada operação realizada neste pavilhão:

Tabela 3.1 – Operadores e equipamentos do Pavilhão 1

Pavilhão 1		
Número de Operadores do Pavilhão		2
Operação	Equipamentos	Operadores
Decapagem	1	1
Oxicorte	2	2

A figura seguinte apresenta esquematicamente esta zona das instalações da empresa:

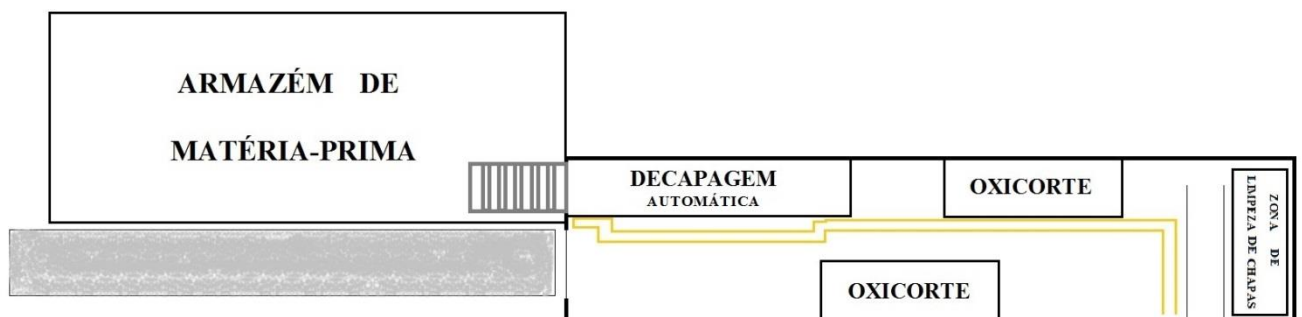


Figura 3.3 - Pavilhão 1

3.4.1. Armazém de matéria-prima

As matérias-primas e as peças são rececionadas, analisadas e selecionadas neste local. Os operadores do armazém e do Controlo de Qualidade asseguram a correspondência entre o material recebido e as especificações pretendidas, realizando as análises qualitativas necessárias.

A arrumação do espaço é assegurada pelos operadores do armazém, com recurso à ponte rolante e aos empilhadores. As chapas são dispostas pela ordem inversa à necessária aquando da sua saída da decapagem, permitindo uma movimentação mais ágil rumo às operações consequentes.

A recolha deste material para iniciar a decapagem é realizada pelo operador que se encarrega dessa atividade no Pavilhão 1. Com o auxílio da ponte rolante, as chapas são colocadas ordenadamente na mesa de alimentação da máquina de decapagem, que se encarrega de as transportar até ao interior da mesma.

3.4.2. Decapagem automática

Esta operação representa o início do fabrico das torres. A sua finalidade é a remoção de impurezas e oxidações que se podem afigurar como causas de defeitos e dificuldades nas operações seguintes. É realizada por um dos operadores do Pavilhão 1, pois a sua duração e frequência não obrigam à dedicação de um operador apenas a este posto de trabalho.

Também pela sua frequência, é possível agendar a decapagem de várias quantidades de chapa com alguma antecedência. Assim, é uma das poucas atividades que se realiza preferencialmente num horário em que o custo da energia é mais baixo. Este assunto voltará a ser abordado com mais pormenor no capítulo seguinte.

O equipamento encarregue desta operação possui duas mesas: uma para alimentação do material, com ligação ao armazém, e outra de saída das chapas após decapagem. Nesse local, e aquando da saída da chapa, o operador verifica a espessura desta, e identifica o número de vazamento da chapa. Este número pode ser comparado a uma ficha de identidade da chapa, onde constam diversas informações importantes sobre a proveniência e fundição da mesma. Este número

deve ser replicado quando necessário para uma zona da chapa que permita a sua visualização após o processo de fabrico da torre.

Depois de efetuados esses controlos, a chapa é retirada da mesa, virada, e colocada na zona de espera para o oxicorte. Virar a chapa é uma ação justificada pela necessidade de armazenamento e decapagem com uma das faces a ocupar a posição superior, e a posição inversa aquando do corte.

3.4.3. Oxicorte

O corte de chapa é conseguido pelo processo de oxicorte, corte térmico vertical, e que apresenta o melhor compromisso para a realização dos chanfros necessários às várias operações de soldadura a que serão sujeitas as chapas. Existem dois equipamentos destinados a esta função, cada um operado por uma pessoa.

As especificações de corte para cada chapa encontram-se carregadas em cada máquina, cabendo ao operador posicionar a chapa, com recurso à ponte rolante, e iniciar o processo. Durante a sua execução é necessário vigiar a cabeça de corte, corrigindo falhas normais na combustão. É também possível acompanhar o corte e ir eliminando alguns defeitos nos chanfros, agilizando a necessária limpeza consequente a um processo deste tipo. As sobras de material cortado são retiradas da mesa também pelo operador.

Depois do corte da chapa esta é retirada do equipamento e levada até uma mesa destinada ao controlo dimensional e à conclusão das operações de limpeza. A verificação das dimensões é registada na folha de controlo a preencher pelo operador. Dadas as dimensões e geometria das chapas após o corte, tal como as distâncias medidas, esta ação torna-se mais ágil e rápida quando efetuada por dois operadores.

3.5. Pavilhão 2

Este pavilhão alberga as operações de calandragem e soldadura longitudinal. Cada operação possui dois equipamentos, mas com capacidades diferentes. A calandragem confere às chapas o formato cónico, etapa a partir da qual estas passam a ser designadas internamente por virolas. A soldadura longitudinal assegura a ligação das extremidades, conseguindo-se um cone truncado, pois tal como as torres e os seus troços, também as virolas têm um diâmetro de base superior ao de topo. As operações deste pavilhão são concluídas com o repasse das chapas, a cargo das calandras.

A tabela seguinte resume a relação quantitativa dos operadores e equipamentos:

Tabela 3.2 - Operadores e equipamentos do Pavilhão 2

Pavilhão 2		
Número total de operadores		4
Operação	Equipamentos	Operadores
Soldadura Longitudinal	2	2
Calandragem	2	2

A figura seguinte ilustra a disposição dos equipamentos do Pavilhão 2:

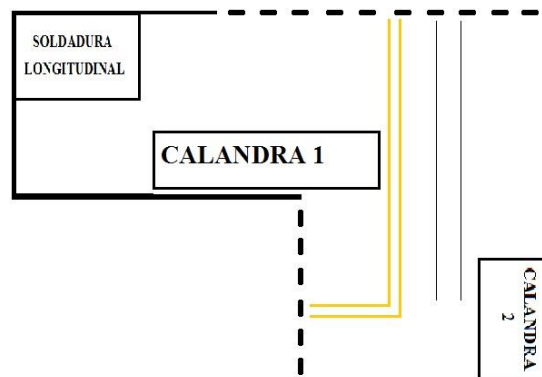


Figura 3.4 - Pavilhão 2

3.5.1. Calandragem

O processo tecnológico designado por calandragem consiste na enformação de chapa por acção de vários rolos, que lhe podem conferir um formato cilíndrico ou cónico. O equipamento responsável pela ação descrita encontra-se munido de uma mesa de alimentação e vários rolos pelos quais se faz passar a chapa, conferindo-lhe a forma pretendida, cónica no presente caso.

Existem dois equipamentos dedicados a esta operação, mas possuem capacidades diferentes. Na calandra 1 é possível enformar todas as chapas, mas a segunda máquina apresenta características técnicas que apenas possibilitam operar todas as chapas do TR1, tal como metade daquelas que compõem o TR2, as de menor espessura. Também as operações de repasse se encontram limitadas por esta impossibilidade da máquina lidar com espessuras mais elevadas.

A operação de calandragem e repasse implica uma limpeza prévia da chapa (ou da virola no caso do repasse), para evitar que impurezas depositadas na superfície originem defeitos no material e equipamento. Este procedimento é realizado com recurso a uma vassoura. Após o processamento do material é soldado um pedaço de metal, designado internamente por “peça mártir” que assegura a ligação provisória das extremidades da chapa, enquanto esta aguarda a soldadura longitudinal que lhe conferirá a geometria final. Seguidamente a virola é retirada do equipamento e é realizado um controlo dimensional dos perímetros da base e topo da virola. O valor é registado nos documentos internos e na própria virola, com giz. Motivado pelas dimensões da maioria das virolas, é necessário recorrer a um elevador, para assegurar que a fita métrica utilizada é corretamente posicionada. Estas operações, tal como a recolha e arrumação das virolas são efetuadas pelo operador responsável por cada equipamento.

3.5.2. Soldadura longitudinal

A ligação das extremidades da virola é realizada através de soldadura por arco submerso. Este processo utiliza um eléctrodo mas também material de adição, que justifica a existência de dois depósitos no posto de soldadura. Um deles recebe o granulado utilizado como material de

adição e o outro como depósito dos resíduos aspirados. Ambos requerem alimentação e despejo manuais.

O operador responsável pela soldadura coloca a virola num posicionador que lhe possibilitará rodá-la. Um ambiente deste tipo exige que várias operações sejam precedidas de uma limpeza da zona a operar, e esta não é exceção. São realizados os cordões principais, na face exterior da virola, complementados por um no interior, que implica o recurso à técnica de ARC-AIR. Também a “peça mártir” é removida.

Os equipamentos possuem diferentes capacidades, resultantes da utilização de um ou três fios de fluxo. Assim, uma das máquinas consegue uma taxa de depósito cerca de 1,75 vezes superior, o que se traduz em tempos de operação com uma disparidade considerável. Os postos de trabalho consistem em cadeiras que se deslocam em altura e profundidade, permitindo ao operador vigiar o arco, e atuar mais rapidamente aquando das falhas no seu estabelecimento, durante a realização dos cordões principais. As restantes operações requerem uma maior mobilidade do operador.

3.5.3. Carro transportador de chapa

Os pavilhões apresentados possuem várias pontes rolantes que possibilitam a movimentação de materiais. Mas no interior das três naves que constituem os pavilhões 1 e 2 estas pontes estão dispostas transversalmente, o que facilita a maior parte das movimentações, que ocorrem na direção longitudinal. Mas apresentam algumas limitações quando se pretende mover material transversalmente para a nave contígua.

Existe um carro transportador alimentado por energia elétrica e que circula sobre carris, permitindo o transporte das chapas cortadas desde o Pavilhão 1 até às calandras. É controlado remotamente e é dirigido pelos operadores que se encarregam da calandragem. Permite o transporte de várias chapas, embora a velocidade de locomoção seja reduzida.

A figura abaixo apresenta o transportador de chapa descrito:



Figura 3.5 - Carro transportador de chapa

3.6. Pavilhão 3

O terceiro pavilhão aloja várias operações, desde o acoplamento das várias virolas até à montagem de pequenos acessórios designados por clips, que auxiliam a aplicação dos acessórios interiores. É um pavilhão de dimensões consideráveis, que se estende ao longo de uma nave com mais de uma centena de metros, onde entram virolas e saem já troços completos, prontos a serem pintados. Encontra-se munido de diversas pontes rolantes, de diferentes capacidades, adequadas às várias movimentações que acontecem no seu interior.

A tabela seguinte apresenta as várias atividades realizadas no seu interior, relacionando-as com o número de operadores e equipamentos:

Tabela 3.3 - Operadores e equipamentos do Pavilhão 3

Pavilhão 2		
Número total de operadores		18
Operação	Equipamentos	Operadores
Acoplamento Crocodilo	1	2
Soldadura Multifunções	1	1
Soldadura Circular Exterior	1	3
Soldadura Circular Interior	-	4
Montagem de Clips	-	4
Marcação e Montagem da Porta / Aro de Ventilação	-	2
Soldadura da Porta / Aro de Ventilação	1	2

A figura seguinte ilustra a organização dos vários postos de trabalho que compõem o Pavilhão 3:

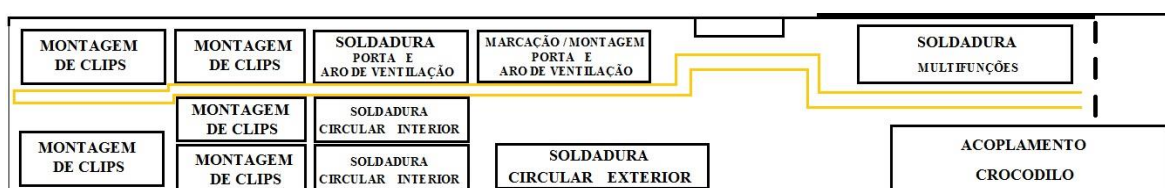


Figura 3.6 - Pavilhão 3

3.6.1. Acoplamento

Esta é a operação que transforma um conjunto de virolas num troço de uma torre metálica. O acoplamento é conseguido numa máquina designada por crocodilo, cujo posto de

soldadura avança pelo interior do troço que vai sendo montado, assegurando a junção das várias virolas através de soldadura. O troço encontra-se assente em posicionadores que possibilitam a sua rotação em torno do eixo longitudinal.

Todas as virolas que saem do pavilhão 2 passam por aqui. São adicionadas uma a uma, conforme vai sendo concluído cada acoplamento.

3.6.2. Soldadura multifunção

O equipamento presente neste posto de trabalho consegue efetuar várias operações, incluindo algumas que são realizadas noutros postos de trabalho. No entanto existem algumas que apenas se realizam com esta máquina.

Uma dessas operações é a soldadura de uma das flanges do TR4. A duração e especificidade desta atividade justificam a sua realização num equipamento satélite do normal fluxo de material. Também a flange superior do TR1 é habitualmente soldada aqui. No entanto este equipamento realiza soldaduras longitudinais, como aquelas que se efetuam no Pavilhão 2, e também soldaduras circulares exteriores.

3.6.3. Soldadura circular exterior

É neste estágio da produção que se concretiza a união das várias virolas que constituem um troço, pela face exterior. Realizada depois do acoplamento, também é paragem obrigatória para todos os troços. Os equipamentos de soldadura encontram-se num andar superior, e o troço é colocado em posicionadores que permitem a sua rotação em torno do eixo longitudinal.

Dispondo de um equipamento que permite a realização de três soldaduras em simultâneo, efetuam-se habitualmente as soldaduras duas a duas. A diferença de perímetros a soldar e a obrigatoriedade de coordenar todas as operações de soldadura para mover o troço sem causar interrupções, é tanto mais difícil quantas operações ocorrerem em simultâneo.

A operação é procedida de um controlo dimensional efetuado pelos operadores.

3.6.4. Soldadura circular interior

A união das várias virolas e flanges que compõem um troço conhece aqui a sua derradeira etapa. Esta operação comporta duas etapas. O arqueamento é efetuado com recurso à tecnologia ARC-AIR, que promove a remoção de material sob acção de um fluxo de carbono, e a sua remoção é assegurada por um sopro contínuo de ar. A segunda etapa é a soldadura interior das várias virolas.

Esta atividade dispõe de dois postos de trabalho, onde em cada um se realizam as duas etapas. Assim, as movimentações ficam a cargo dos operadores, visto que cada troço é arqueado e soldado no mesmo local. Enquanto a primeira etapa exige apenas um operador, a seguinte pode ser realizada por três, em simultâneo.

3.6.5. Montagem de clips

Pequenos componentes que facilitam a montagem dos acessórios interiores das torres são soldados nesta etapa da produção. Esta operação exige uma medição e marcação dos locais onde são colocados os clips, o termo utilizado internamente para estes componentes, e a posterior soldadura dos mesmos.

Existem vários espaços onde pode ser realizada a operação, sendo que tanto a marcação como a soldadura acontecem no mesmo local, sem necessidade de mover o troço. Este encontra-se sobre posicionadores, e a atividade é levada a cabo por um operador em cada troço. É realizada uma inspeção às marcações por parte dos operadores, antes da soldadura.

3.6.6. Marcação e montagem da porta e aro de ventilação

Os troços TR3 e TR4 possuem um aro de ventilação e uma porta, respectivamente, que requerem o desbaste de material e posterior soldadura destes componentes. Nesta etapa realiza-se o corte de chapa que permite alojá-los, tal como a soldadura interior dos mesmos.

Esta operação pode ser realizada tanto neste local, como no espaço reservado à soldadura exterior, pois os equipamentos utilizados são móveis. Mas dada a duração desse processo, preferencialmente a adição destes componentes é feita sequencialmente, e em locais diferentes.

3.6.7. Soldadura da porta e aro de ventilação

Esta é a operação de soldadura exterior da porta e aro de ventilação. Apenas pode ser realizada neste local, pois os equipamentos são fixos. É uma das operações mais longa e complexa de toda a produção.

Embora seja efetuada em apenas dois dos quatro troços de uma torre, a sua duração prolonga-se por vários turnos de trabalho, e é composta por duas etapas. A primeira onde ocorre a soldadura, que implica uma análise através de ultra-sons para aferir a sua qualidade, e uma segunda etapa designada por afagamento, que confere um acabamento superficial da zona soldada sem defeitos ou impurezas.

3.7. Pavilhão da pintura

Tal como a sua designação anuncia, é neste pavilhão que ocorrem as operações relacionadas com a pintura, antecedidas da necessária decapagem. Até ao final do Pavilhão 3 as virolas e troços são movimentados com recurso às diversas pontes rolantes existentes. Mas quando do seu envio para o Pavilhão da Pintura é necessário recorrer a outro meio de transporte. Um camião adaptado para o efeito recolhe o troço no Pavilhão 3 e desloca-o até ao Pavilhão da Pintura,

sendo a carga e descarga do mesmo auxiliada pelas referidas pontes rolantes presentes em ambos os pavilhões.

A tabela seguinte informa da relação entre as várias atividades e os operadores dedicados a cada uma:

Tabela 3.4 - Operadores do Pavilhão da Pintura

Pavilhão da Pintura	
Número total de operadores	6
Operação	Operadores
Zona de Montagem e Metalização	-
Decapagem	3
Pintura	3

A figura seguinte esquematiza a organização das diversas atividades em toda a área do pavilhão:

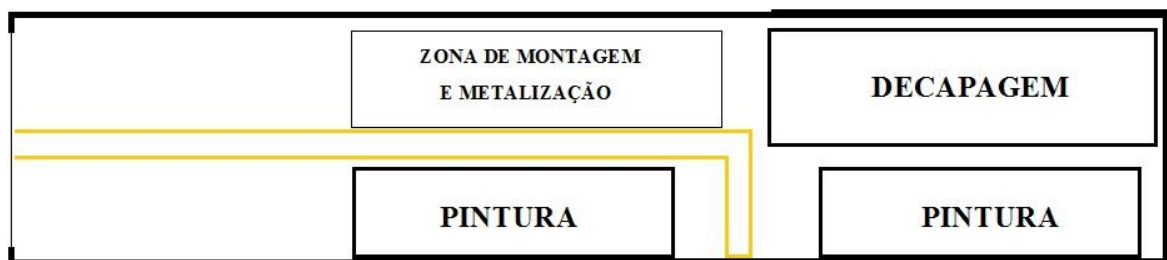


Figura 3.7 - Pavilhão da Pintura

As operações iniciam-se com a decapagem do troço e metalização da flange efetuadas pelos operadores dedicados à decapagem. Posteriormente são montadas as aranhas nas extremidades de cada topo. Esta designação interna apelida os acessórios que se assemelham a rodas de diâmetro próximo do da base e topo do troço e que quando aí colocadas, permitem uma melhor movimentação dos mesmos nos posicionadores das estufas de pintura. As aranhas

acompanham o troço até à última operação no Pavilhão 5. A colocação destes elementos é efetuada por operadores que não pertencem ao Pavilhão da Pintura.

Enquanto a decapagem só pode ser efetuada num local e, conseqüentemente, um troço de cada vez, para a pintura existem duas estufas. Cada troço recebe duas camadas em cada superfície, interior e exterior, e os operadores pintam dois troços em simultâneo, alternando entre a pintura e a secagem de cada camada.

O impacto no estudo descrito nesta dissertação não implica uma análise mais detalhada a cada operação realizada neste pavilhão.

3.8. Pavilhão 5

É neste local que se realizam as últimas operações do fabrico das torres. Aqui são adicionados os acessórios interiores que permitem alojar equipamentos necessários para o funcionamento das mesmas. Tal como o Pavilhão da Pintura, este também não foi um foco de interesse no estudo aqui apresentado.

Consequindo um mínimo de oito postos com posicionadores para montar acessórios, neste pavilhão trabalham habitualmente quatro operadores. A movimentação desde o Pavilhão da Pintura até aqui é assegurada pelo camião, tal como o seu envio para o Armazém de produto acabado. A montagem dos acessórios é efetuada ainda com as aranhas acopladas aos troços, sendo estas removidas no final das operações. Os acessórios encontram-se num armazém contíguo a este pavilhão, cuja organização é assegurada pelos operadores dedicados aos armazéns, tal como o transporte até à zona de montagem. O fornecedor destes materiais entrega-os já agrupados em *kits* para cada troço.

A figura seguinte ilustra as várias zonas para montagem de acessórios, tal como os armazéns:



Figura 3.8 - Pavilhão 5

4. Informações resultantes da observação ativa do processo

Neste quarto capítulo é apresentado um conjunto de dados e informações resultantes da observação das várias rotinas e métodos seguidos durante o processo. A duração das operações e das ações relacionadas com o transporte de material no interior das instalações constituem-se como informação de relevo na análise do processo e consequentes propostas que visam a melhoria. São também apresentadas algumas informações relativas ao *layout* das instalações, tal como dos custos de produção de cada torre.

4.1. Tempos de operação

A análise das várias atividades constantes do processo produtivo analisado exige conhecer a duração de cada uma delas. É um dado fundamental para o estudo individual de cada etapa, mas também para conhecer melhor todo o encadeamento do processo. O levantamento destes valores constituiu-se como uma das fases primárias deste estudo.

A existência de dados relativos a diversas operações, fruto dos boletins de ponto dos operadores, não afastou a possibilidade de uma nova, e paralela, recolha. Os operadores disponibilizaram-se para preencher um impresso relativo às atividades que desempenham, do qual é apresentado um excerto na figura seguinte:

MONTAGEM DE ACESSÓRIOS INTERIORES								
Registo do tempo total necessário para a montagem dos acessórios interiores de cada troço								
		Modelo		E82 E2/S/83/5K/01 HC-5				
		Projecto		137				
Torre	Troço	Tempo		Data		Tempo		Data
		Início	Fim			Início	Fim	

Figura 4.1 - Folha para registo de tempo de operação

O tratamento dos dados incidiu na seleção de valores fiáveis para retratar cada atividade, permitindo que a inclusão de valores díspares da média de cada recolha fosse justificada com paragens ou outras anomalias do processo. Este procedimento foi auxiliado pela partilha permanente de valores com a direção de produção e a comparação com dados existentes, tal como explicações adicionais providenciadas pelos operadores responsáveis pelo registo. Os dados aqui apresentados correspondem à duração média de cada operação.

Para as atividades realizadas nos pavilhões 1 e 2 os tempos apresentados resultam do somatório dos tempos de operação das várias virolas no posto de trabalho identificado.

Iniciando a transformação da matéria-prima, as primeiras operações são realizadas no Pavilhão 1:

Tabela 4.1 - Duração média das operações do Pavilhão 1

Pavilhão 1		
Valores em HH:MM:SS		
Operação	Decapagem	Oxicorte
TR1	3:26:40	10:48:00
TR2	3:09:30	14:05:45
TR3	2:19:24	9:15:00
TR4	1:50:10	7:42:30

Os valores apresentados para a decapagem correspondem ao período de tempo desde que uma chapa é colocada na mesa de alimentação da máquina até que é retirada. É contabilizado neste intervalo o tempo dedicado ao controlo dimensional e à identificação do número de vazamento. No caso do oxicorte é registado o intervalo entre cada início de corte, ou seja, desde que uma chapa é colocada na mesa até ao início do corte da chapa seguinte.

Em ambas as operações existem ações paralelas cuja duração é inferior ao tempo total das atividades realizadas em cada posto de trabalho, e por isso não são contabilizadas. A operação principal decorre ao mesmo tempo, e não exige dedicação do operador durante a totalidade da duração.

De seguida são apresentados os valores de duração das operações no Pavilhão 2:

Tabela 4.2 - Duração média das operações do Pavilhão 2

Pavilhão 2			
Valores em HH:MM:SS			
Operação	Calandragem	Soldadura Longitudinal	Repasse
TR1	9:42:30	18:43:34	7:53:20
TR2	8:50:45	22:01:00	8:08:26
TR3	8:51:00	24:36:20	6:51:00
TR4	5:48:12	23:35:48	4:26:00

Para cada operação foi registado o tempo desde que a virola chega à máquina até que é retirada, excluindo-se o transporte desde o posto de trabalho anterior ou zona de arrumação. Também os controlos dimensionais que sucedem as operações realizadas nas calandras não são contabilizados nos tempos aqui apresentados.

Até ao acoplamento do troço, primeira operação do Pavilhão 3, o processamento das chapas e virolas é realizado individualmente, pois o troço não está ainda todo junto. E apenas a decapagem automática possui uma única máquina que possibilita a realização dessa tarefa. Os postos de trabalho consequentes permitem a realização de operações em simultâneo, dada a existência de duas máquinas para cada tarefa. As mesas de oxicorte possuem a mesma capacidade, ao contrário das máquinas de soldadura longitudinal e das calandras. O gráfico seguinte exhibe o escalonamento habitual do processamento das virolas correspondentes a uma torre nos pavilhões 1 e 2:

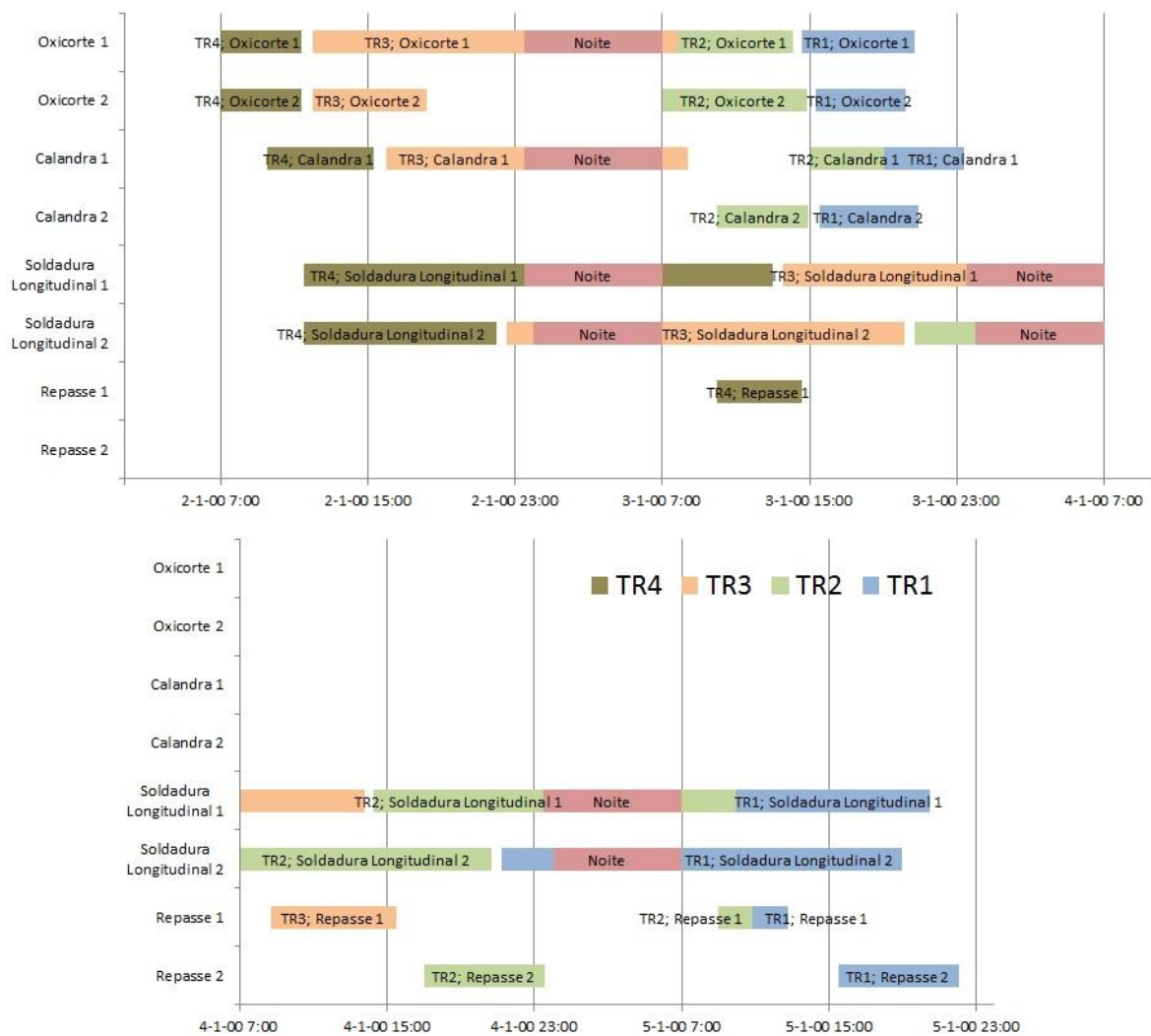


Figura 4.2 - Escalonamento das operações realizadas nos pavilhões 1 e 2

Na tabela seguinte são apresentados os tempos médios das operações do Pavilhão 3:

Tabela 4.3 - Duração média das operações do Pavilhão 3

Pavilhão 3							
Valores em HH:MM:SS							
Operação	Acoplamento	Soldadura circular exterior	Soldadura circular interior - arqueamento	Soldadura circular interior - soldadura	Montagem de clips	Soldadura da porta/aro de ventilação	Soldadura da porta/aro de ventilação - afagamento
TR1	8:23:00	10:11:26	7:39:50	9:16:00	5:00:00	-	-
TR2	7:53:20	13:48:20	13:07:40	10:55:50	5:00:00	-	-
TR3	7:45:00	18:31:00	13:19:45	12:35:43	5:00:00	38:00:00	3:30:00
TR4	5:25:00	15:00:00	10:35:45	9:42:51	5:00:00	38:51:15	5:13:20

Também aqui não é registado o tempo de transporte de cada troço entre os vários postos de trabalho. Um problema com o registo dos tempos na operação de montagem de clips não permitiu a recolha de uma amostra válida e fiável, sendo por isso considerado o mesmo tempo para os diferentes troços. As operações relativas à soldadura do aro de ventilação e porta são efetuadas apenas nos troços TR3 e TR4, respetivamente.

A duração média das atividades realizadas no Pavilhão da Pintura é apresentada na tabela seguinte:

Tabela 4.4 - Duração média das operações do Pavilhão da Pintura

Pavilhão da Pintura		
Valores em HH:MM:SS		
Operação	Decapagem	Pintura
TR1	12:33:13	9:25:55
TR2	10:38:20	9:41:04
TR3	9:20:00	8:57:51
TR4	10:48:00	9:38:20

O tempo correspondente à decapagem inclui a duração da operação de metalização da flange, tal como as movimentações de cada troço entre a zona de montagem e metalização e a decapagem. A montagem das aranhas não é contabilizada nos tempos do pavilhão porque é efetuada por operadores externos ao mesmo.

O último posto de trabalho visitado por cada troço é a montagem de acessórios, cuja duração é apresentada na tabela seguinte:

Tabela 4.5 - Duração média das operações do Pavilhão 5

Pavilhão 5	
Valores em HH:MM:SS	
Operação	Montagem de acessórios
TR1	16:00:00
TR2	13:33:45
TR3	21:27:30
TR4	14:51:26

Os valores apresentados correspondem apenas ao tempo em que cada troço permanece em cada posto de trabalho e são montados todos os acessórios interiores. O transporte de abastecimento e recolha de cada troço não é contabilizado.

A tabela seguinte apresenta um resumo dos tempos de operação para cada troço, que quando somados totalizam a duração do fabrico de uma torre:

Tabela 4.6 - Duração total das operações de fabrico de uma torre

Duração total de operações	
Valores em HH:MM:SS	
TR1	129:03:27
TR2	140:53:45
TR3	234:24:08
TR4	124:24:02
TORRE	628:45:23

O fabrico dos vários troços decorre em paralelo, importando assim referir que aquando da conclusão do troço mais moroso, todos os outros já estão concluídos. Assim, pela tabela 4.6, após as 234 horas necessárias para fabricar o TR3, a torre metálica correspondente encontra-se pronta a ser entregue ao cliente, ou no armazém de produto acabado.

À imagem dos pavilhões 1 e 2, também algumas operações nos pavilhões seguintes possibilitam o processamento de vários troços em simultâneo. Assim, também na análise global de todas as operações o diagrama de Gantt se revela uma importante ferramenta. A figura seguinte mostra o gráfico que reúne todas as operações relativas ao fabrico de uma torre, na configuração atual:

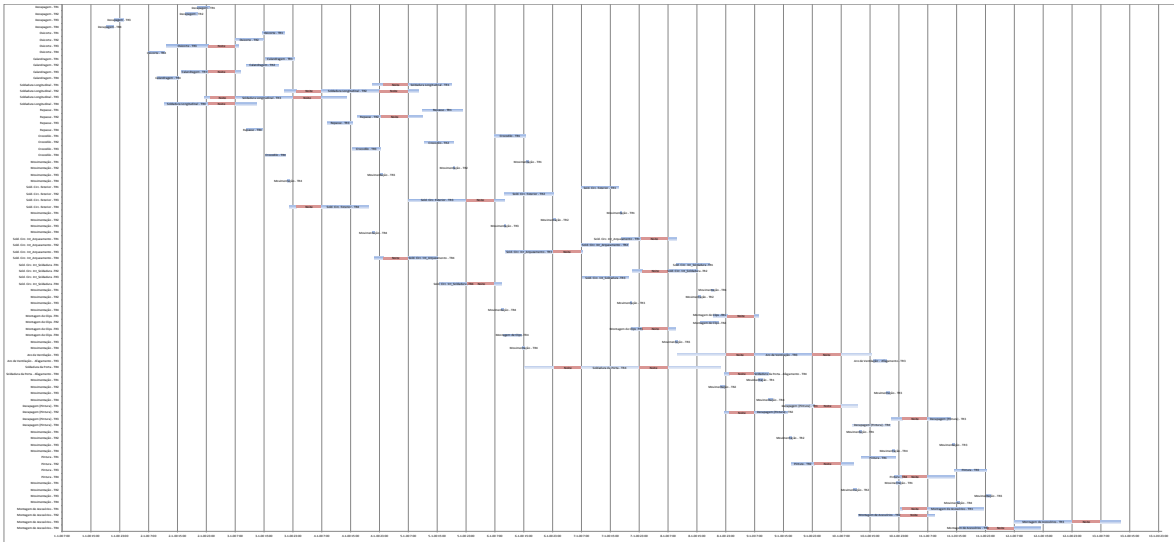


Figura 4.3 - Escalonamento atual de todas as operações de fabrico de uma torre metálica

Pelo elevado número de operações contabilizadas, a maioria das quais realizadas para cada um dos quatro troços, um gráfico deste tipo assume uma dimensão considerável. As informações utilizadas e recolhidas na elaboração do mesmo sobrepõem-se à importância da imagem, sendo a sua inclusão meramente invocativa das suas dimensões.

O gráfico seguinte traduz a divisão do tempo de fabrico de uma torre pelos vários pavilhões da fábrica:

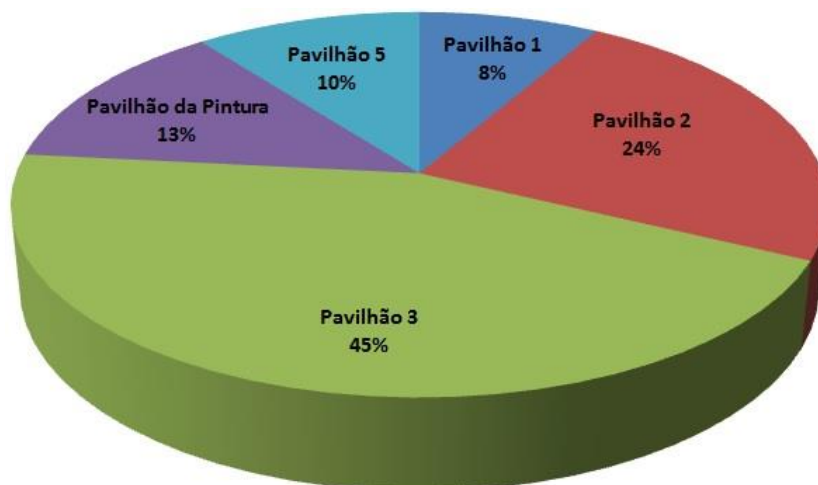


Figura 4.4 – Duração total do fabrico de uma torre metálica

4.1.1. Comparação com dados da empresa

A recolha de tempos efetuada pelos operadores decorreu paralelamente ao processo habitual e permanente de registo de duração de atividades, através dos boletins de ponto e de máquina. Esses valores são guardados e através do *software* “Infor LN” é calculada uma duração média de cada operação, com recurso a todo o histórico de dados relativos a cada modelo de torre.

São esses valores médios que surgem em comparação com os dados da empresa, na tabela seguinte:

Tabela 4.7 - Comparação entre os dados obtidos e os dados da empresa

Comparação de tempos de operação		
Valores em HH:MM:SS		
Operação	Dados recolhidos	Dados ASM - Energia S.A.
Decapagem automática	10:45:44	12:18:00
Oxicorte	41:51:15	67:06:00
Calandragem (inclui Repasse)	79:43:42	82:24:00
Soldadura Longitudinal	88:56:42	104:00:00
Acoplamento	29:26:20	35:48:00
Soldadura Circular (exterior, interior arqueamento, interior soldadura)	144:44:10	216:42:00
Decapagem (Pintura)	43:19:33	39:42:00
Pintura	37:43:10	13:30:00
Montagem de Acessórios	65:52:41	171:42:00

O histórico de valores utilizado para os cálculos da duração média apresentada pela empresa para cada operação justificam parte das divergências de valores. Atualmente, todos os operadores estão familiarizados com os processos, ao contrário dos primeiros anos de laboração. Ainda assim, existem operações cujos tempos registados para o estudo apresentado se encontram distantes dos valores detidos pela empresa.

Essas diferenças podem ser justificadas pelo diferente método de obtenção de dados, contabilizando outras ações adicionais a cada operação, que foram excluídas na tomada de tempos pedida aos operadores. Mas em alguns casos, como a pintura, a metodologia de recolha dos tempos de operação utilizada pela empresa revela-se deficiente.

4.2. Constrangimentos ao fluxo

Através da elaboração e análise dos diagramas de Gantt já referidos foi possível discriminar alguns pontos de constrangimento ao normal fluxo de material através das diversas operações. Também designados por *bottlenecks*, são pontos ao longo do percurso que obrigam a tempos de espera superiores para se proceder à realização de uma atividade.

O fabrico dos quatro troços de cada torre é efetuado pela seguinte ordem: TR4 para TR1. Assim, são as chapas utilizadas no TR4 as primeiras a chegar à decapagem automática, seguidas do TR3. Esta ordem justifica-se com a necessidade de realização das operações relativas à instalação do aro de ventilação e da porta, para o TR3 e TR4, respetivamente. Ou seja, embora sejam estes dois troços que iniciam o processo, são também os últimos a terminar, na configuração atual.

Os *bottlenecks* do processo são:

- Soldadura longitudinal, no Pavilhão1.
- Soldadura circular exterior, no Pavilhão 3.
- Decapagem (pintura), no Pavilhão da Pintura.

Por conseguinte, os dados apresentados relativos à duração das operações não traduzem o tempo de permanência na fábrica dos troços em construção. Existem tempos de espera originados pelos referidos constrangimentos e ações relacionadas com o transporte de materiais que não foram contabilizados. A tabela seguinte apresenta os dados relacionados com a conclusão dos vários troços de uma torre:

Tabela 4.8 – Data da conclusão das operações de fabrico de cada troço

Conclusão de Operações		
Configuração atual		
	Dia DD HH:MM	
	Final do Pavilhão 2	Final da Montagem de Acessórios
TR1	Dia 5 23:30	Dia 11 22:28
TR2	Dia 5 11:30	Dia 11 8:54
TR3	Dia 4 15:30	Dia 13 12:27
TR4	Dia 3 15:30	Dia 12 14:17

É distinguida a duração das atividades realizadas até ao Pavilhão 2 porque a introdução de *checkpoint* neste local permite uma comparação dos possíveis ganhos aquando da análise de algumas propostas de melhoria. Também não é alheia a esta diferenciação a alteração da morfologia de cada troço, cujo acoplamento ocorre após a entrada no Pavilhão 3.

4.3. Tempo de transporte de materiais para alimentação dos postos de trabalho

Sendo uma das classes de desperdício mais comuns em várias empresas e organizações, o transporte de materiais entre os diversos postos de trabalho existentes merece uma abordagem cuidada e detalhada. [1], [6]

Nas primeiras visitas à fábrica ficou patente que os vários constrangimentos ao fluxo influenciavam sobremaneira os tempos dedicados ao transporte de materiais, comparativamente ao impacto sentido nos tempos registados para cada operação. Os hábitos dos operadores, as limitações despoletadas pelo *layout* e paragens não programadas de equipamentos, originam valores inflacionados e díspares dos tempos de alimentação dos vários postos de trabalho.

Na tabela seguinte é apresentado um resumo dos tempos de alimentação dos postos de trabalho analisados:

Tabela 4.9 – Tempo de alimentação dos postos de trabalho analisados

Transporte de Material				
Valores em HH:MM:SS	Oxicorte	Calandra 1	Calandra 2	Soldadura longitudinal
Tempo mínimo	0:06:05	0:09:50	0:07:52	0:04:54
Tempo médio	0:16:18	0:25:03	0:18:50	0:14:43
Tempo máximo	1:24:00	0:46:20	0:56:04	0:29:10

Centrada nos pavilhões 1 e 2, esta análise focou-se na alimentação das mesas de oxicorte, calandras e máquinas de soldadura longitudinal porque é nesta zona que a circulação de materiais é mais intensa. Precedendo o acoplamento, todos estes postos de trabalho são visitados por chapas e virolas, num total de 29 por cada torre, todas com diferentes geometrias. A contabilização destes tempos realizou-se paralelamente, mas de forma autónoma, ao registo da duração de cada atividade por parte dos operadores.

Sem subestimar os ganhos resultantes de modificações operadas no transporte de material noutras zonas da fábrica, as limitações temporais e também o maior número de ações neste local, impuseram que o estudo se centrasse nestes dois pavilhões. O transporte de um troço completo, como acontece a partir do acoplamento, no Pavilhão 3, é uma operação complexa, mas realizada num menor número de vezes do que nos postos de trabalho analisados. A título de exemplo, a soldadura circular exterior é alimentada uma vez por cada troço, enquanto a soldadura longitudinal é alimentada nove vezes no fabrico de um TR2.

Outra das razões que justificam uma análise mais cuidada a este problema nestes dois pavilhões prende-se com a necessidade de articulação entre o transporte e a arrumação. No Pavilhão 3 a gravidade da arrumação é menor, pois as operações a realizar em cada troço encontram-se agrupadas consecutivamente, e pela sua duração e tamanho dos troços não existem zonas dedicadas ao armazenamento de material em espera. A relação entre o transporte e a arrumação leva às questões relacionadas com o *layout* da fábrica.

4.4. Layout

A abordagem à arrumação de material e disposição de equipamentos tem de considerar alguns pressupostos acerca da fábrica. Quando erguidas as instalações, pretendia fabricar-se nelas outro tipo de produtos, cujas dimensões finais eram inferiores. A posterior adaptação à nova

produção foi efetuada logo com várias limitações, onde se destacam as dimensões dos pavilhões e a colocação de alguns equipamentos de difícil alteração.

Diretamente relacionado com o tempo de transporte, o *layout* reúne muitas das origens dos constrangimentos ao fluxo ideal de materiais na fábrica. Introduzida separadamente aquando da apresentação dos vários pavilhões, a figura seguinte pretende esquematizar a área das instalações:

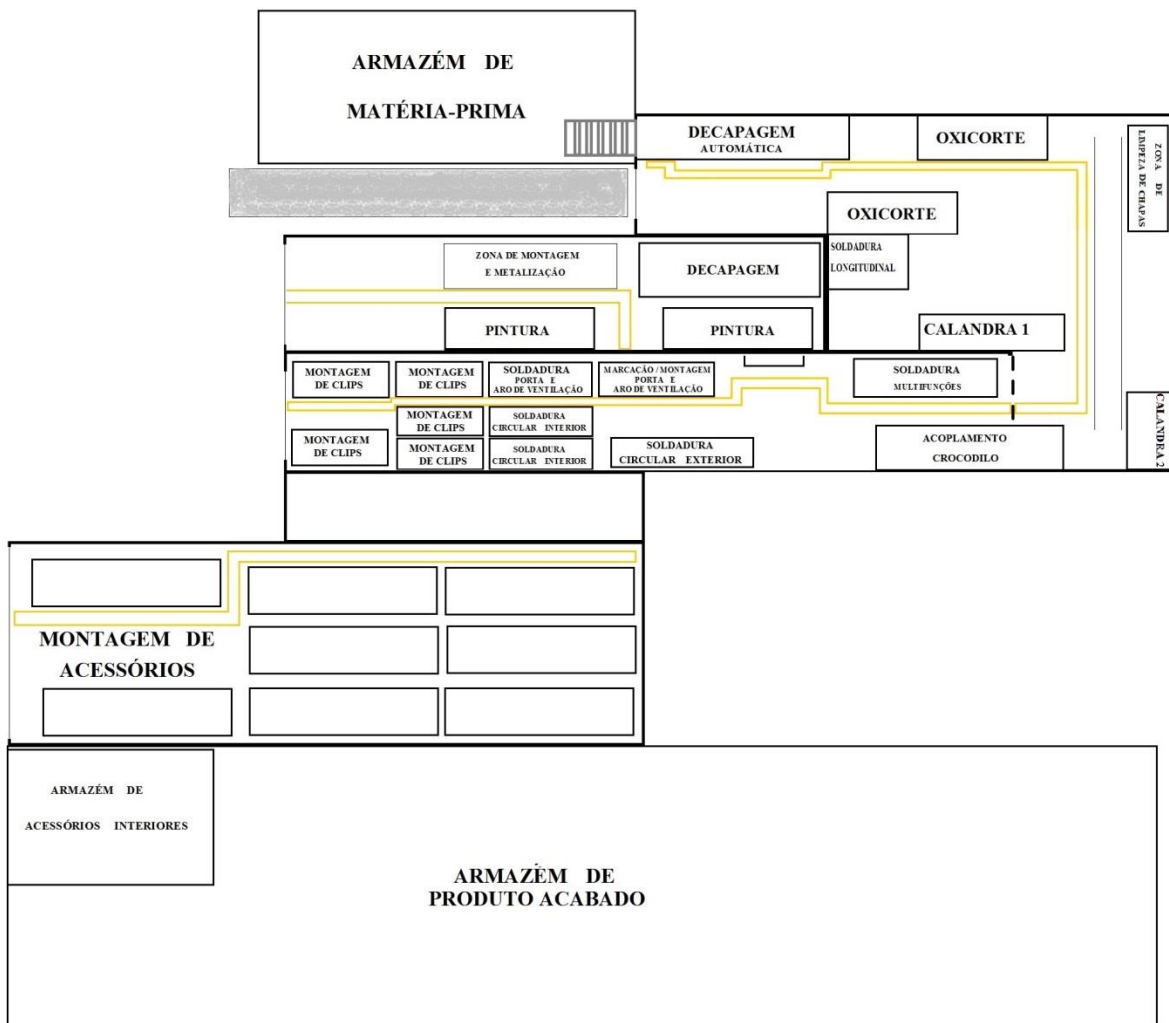


Figura 4.5 - Esquematização do layout da fábrica

Tal como a análise ao transporte de materiais ao longo do processo, também o *layout* foi analisado com maior pormenorização na zona dos pavilhões 1 e 2. Os motivos que justificam este enfoque são comuns, relacionados com a maior quantidade de material e a sua dispersão por diversas atividades. A figura seguinte representa o estado atual dessa zona:

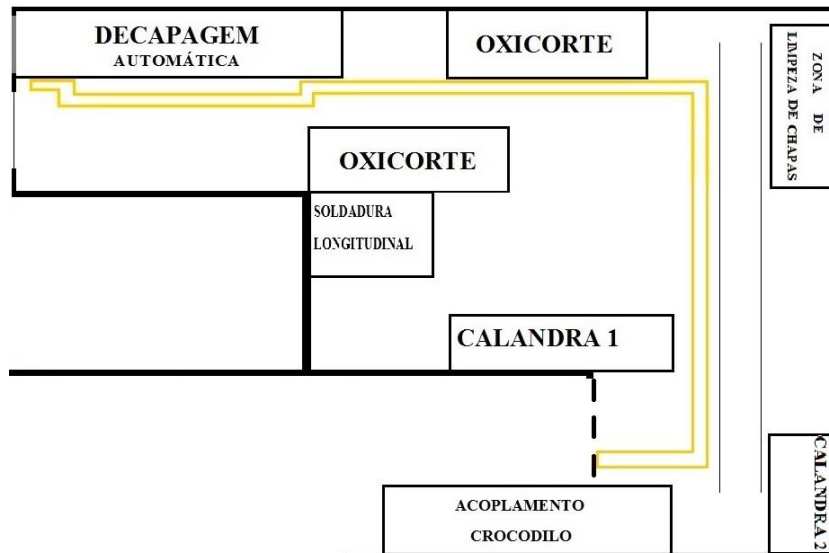


Figura 4.6 - Layout atual dos pavilhões 1 e 2

A análise do *layout* da fábrica incidirá na disposição dos equipamentos e na arrumação das virolas nas zonas definidas. Tal como as máquinas, também a arrumação sofre constrangimentos originados pela configuração das instalações.

Adicionalmente, as paragens não programadas contribuem pontualmente para o acumular de material que aguarda processamento, motivando alguma desorganização no armazenamento do mesmo. É comum arrumar virolas onde é possível, e não onde é desejável. Facilmente se percebe que essa desorganização origina mais constrangimentos e tempos de alimentação das máquinas inflacionados.

No Pavilhão 1 as chapas retiradas da decapagem aguardam a entrada na mesa de oxicorte armazenadas na zona entre esses postos de trabalho. O espaço disponível permite empilhar as chapas necessárias para o fabrico de dois troços, sendo este o local onde a problemática da arrumação é menos grave. Apenas a ordem pela qual as chapas são dispostas umas em cima de outras deve ser a pretendida para que as operações consequentes consigam garantir a chegada ao Pavilhão 3 das virolas na ordem de entrada no acoplamento.

Após o oxicorte, as chapas são transferidas para o Pavilhão 2 através do carro transportador. Este encarrega-se de abastecer ambas as calandras. Depois de tomarem a forma de

virolas, as dificuldades com a arrumação agudizam-se. A maior duração da soldadura longitudinal é um forte contributo, cuja resolução depende apenas de modificações ao nível das máquinas utilizadas.

A figura seguinte ilustra um dos momentos em que a arrumação das virolas no Pavilhão 2 não é a pretendida:



Figura 4.7 - Arrumação de virolas no Pavilhão 2

A virola mais à esquerda já foi soldada longitudinalmente, enquanto as outras mais à direita aguardam ainda por essa operação, como comprova a presença da “peça mártir”. Esta arrumação não segue uma regra, mas também não representa uma exceção. A movimentação e o transporte das virolas afigura-se mais difícil quando estas são armazenadas a uma distância maior do posto de trabalho que visitarão a seguir. A observação deste tipo de ocorrências, e a articulação com os dados relativos ao transporte de material, levou à criação de algumas propostas de alteração do *layout* desta zona da fábrica, na tentativa de promover também uma melhor arrumação do material.

4.5. Levantamento de custos de produção

Para uma análise mais completa do processo, e uma formulação mais séria das propostas de melhoria, é fundamental a consideração dos custos associados à produção das torres. Sendo este um estudo centrado no fabrico de um produto inserido num mercado altamente específico, qualquer referência a valores monetários padece de elevado sigilo. Para que a análise exposta se apresente o mais ampla possível, foi definida uma unidade monetária que permite uma perceção muito próxima do real dos diferentes custos.

A tabela seguinte apresenta os valores recolhidos e considerados na análise de custos:

Tabela 4.10 – Composição de custos do processo de fabrico de uma torre metálica

Operação	Custo
	Valores em unidades monetárias (u.m.)
Mão de obra	129,41
Materiais e energia	851,41
Acessórios interiores	95,47
Porta e aro de ventilação	6,55
Maquinação da flange superior TR1	2,00
TOTAL	1084,84

Os valores apresentados respeitam ao fabrico de uma torre, com os seus quatro troços. Os custos de materiais e energia albergam as matérias-primas, os consumíveis e materiais de adição utilizados nas várias operações de soldadura, e a energia elétrica consumida pela fábrica.

As propostas de melhoria formuladas incidem apenas em alguns destes custos, caso da mão de obra ou energia, pois incidem essencialmente na duração das operações.

5. Propostas de melhoria

O presente capítulo reúne as várias propostas de melhoria formuladas como resultado do estudo efetuado. A apresentação das propostas comporta uma análise tão completa quanto possível de cada uma das modificações sugeridas, e a sequência da exposição é fruto do diferente grau de aplicabilidade de cada uma, seguindo uma ordem decrescente de facilidade e prioridade de aplicação.

5.1. Alimentação das mesas de oxicorte

A contagem do tempo de cada operação realizada nas mesas de oxicorte era realizada desde o início do corte de uma chapa até ao início do corte da seguinte, sendo por isso contabilizado o tempo de alimentação do posto de trabalho. Para uma mesma chapa de um troço foram contabilizados tempos díspares em diferentes torres, o que suscitou algumas questões. Se a operação é maioritariamente realizada pela máquina, de forma automática, só a alimentação poderia explicar a diferença registada.

Assim, aquando do registo dos tempos de alimentação dos vários postos de trabalho e a observação dos diferentes métodos seguidos pelos vários operadores, ficou patente que a alimentação não segue a melhor regra em todos os casos. Ou seja, nem sempre o operador retira a chapa cortada e coloca imediatamente outra para ser processada.

Durante o corte o operador deve acompanhar o processo corrigindo falhas da chama, eliminando defeitos e limpando a zona cortada com recurso ao maçarico, tal como retirar os desperdícios de material da mesa. Quando finalizado o corte, a chapa é transportada para a mesa destinada ao controlo dimensional e limpeza, e seguidamente deve ser colocada de imediato uma nova chapa a cortar. Quando essas atividades paralelas são realizadas em série, ou seja, a chapa é cortada, os desperdícios de material são retirados todos no final do corte, a chapa é colocada na mesa de controlo dimensional, e aí medida e limpa, e só depois se inicia um novo corte, o tempo da operação inflaciona para o dobro da duração necessária.

As hipóteses de melhoria resultantes da análise das operações no Pavilhão 1 incidem num afinar do método seguido no oxicorte. Um sequenciamento das ações que promova a agilidade pode traduzir-se em ganhos de produtividade nas duas operações realizadas neste pavilhão.

Se a limpeza da zona cortada e remoção dos desperdícios de chapa for realizada em paralelo com o corte efetuado pela máquina, após a conclusão do trabalho da máquina são necessários apenas escassos minutos para retirar a chapa cortada e colocar a seguinte. Se este procedimento for definido como correto e respeitado, pode evitar-se a ocorrência de paragens entre cortes de chapas com duração próxima do tempo de corte por parte da máquina.

O número de operadores deste pavilhão aparenta ser suficiente, sendo o controlo dimensional de cada chapa cortada a única tarefa realizada em conjunto. A existência de dois operadores e três máquinas obriga atualmente à paragem de uma das máquinas de oxicorte quando é necessário decapar chapas. Dada a automatização do oxicorte, é plausível a hipótese de um operador conseguir controlar as duas mesas de corte, permitindo, em certas alturas do dia, o funcionamento das duas máquinas. É uma modificação de hábitos que pode exigir alguma adaptação, mas não deve ser negligenciada. A máquina de decapagem automática possui já um horário de utilização preferencial, como forma de reduzir os custos da fatura energética, estando a sua laboração confinada a algumas horas por dia, as últimas do segundo turno.

Tal como referido, e à imagem de outras situações relacionadas, por exemplo, como a arrumação, a duração excessiva da alimentação das mesas de oxicorte não é uma regra, tal como não representa uma exceção. Há operadores que efetuam esta tarefa de forma correta e em tempo reduzido, por isso esta deve ser a prática adotada em todas as situações. Esta proposta traduz-se assim num afinar de boas práticas e estabelecimento de regras que devem ser respeitadas e seguidas.

5.2. Alteração de *layout* e criação de zonas de arrumação

Os constrangimentos que afetam o fluxo de material ao longo das várias atividades dos pavilhões 1 e 2 são originados essencialmente pelas limitações resultantes da conceção inicial da fábrica. Mas se o transporte pode demorar mais alguns minutos que o desejável, é a arrumação de material em espera para processamento que surge como a maior preocupação.

5.2.1. Zonas específicas de arrumação

Com uma relação de causa-efeito explícita, é a arrumação pouco organizada que inflaciona a maioria dos tempos de alimentação dos postos de trabalho. No capítulo 4.3 é referido um exemplo comum da disposição incorreta de virolas que aguardam processamento nas máquinas de soldadura longitudinal ou nas calandras. Idealmente a arrumação deve seguir regras e respeitar zonas específicas para diferentes estágios do material, embora nunca tenham sido criadas barreiras físicas ou visuais que obriguem a seguir esta regra. A figura seguinte esquematiza a opção com maior aplicabilidade:

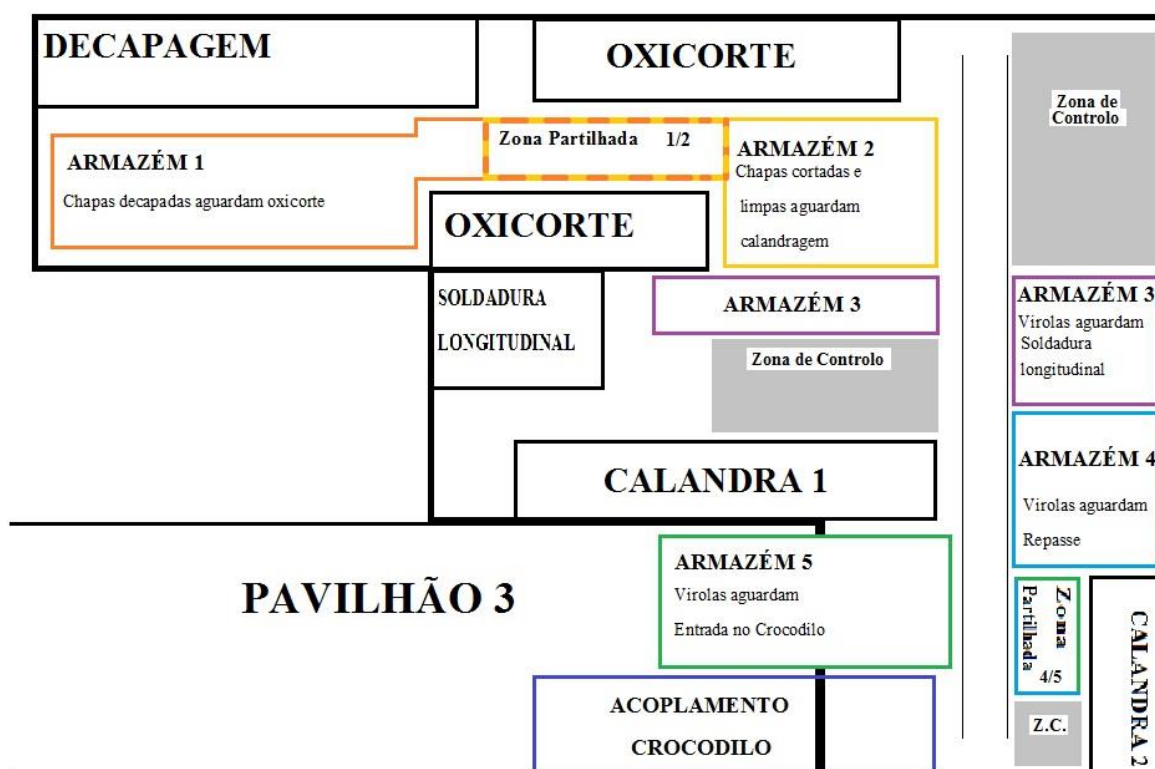


Figura 5.1 – Esquematização das diferentes zonas de arrumação específicas

Esta proposta não implica alterações profundas do *layout* da fábrica, contribuindo essencialmente para melhorar a arrumação e diminuir a duração das ações relacionadas com o transporte de material. A definição das zonas apresentadas com recurso a marcações no chão e outra sinalética visual promove o sentido de responsabilidade dos operadores.

Designando as zonas de arrumação por armazéns, a tabela seguinte legenda as diferentes áreas destinadas à arrumação e aos controlos dimensionais:

Tabela 5.1 - Legenda do esquema de arrumação da figura 5.1

Zonas de arrumação		
Designação	Localização	Definição
Armazém 1	Pavilhão 1	As chapas já decapadas aguardam a entrada nas mesas de oxicorte
Zona Partilhada 1/2	Pavilhão 1	Nesta zona podem ser armazenadas chapas decapadas que aguardam processamento no oxicorte, ou chapas já cortadas
Armazém 2	Pavilhão 1	Chapas cortadas aguardam o envio para a zona de controlo e limpeza, ou o transporte no carro para o Pavilhão 2
Zona de Controlo	Pavilhão 1	Zona dedicada à limpeza e controlo de chapa após processamento no oxicorte. Também utilizada para realizar operações complementares em algumas chapas
Armazém 3	Pavilhão 2	Virolas calandradas aguardam soldadura longitudinal
Zona de Controlo	Pavilhão 2	Zona destinada ao controlo dimensional efetuado após cada operação realizada nas calandras
Armazém 4	Pavilhão 2	Virolas aguardam o regresso às calandras para repasse
Zona Partilhada 4/5	Pavilhão 2	Localizada entre a calandra 2 e o acoplamento, nesta zona podem ser armazenadas virolas que aguardam repasse nessa calandra, ou que estão prontas para o acoplamento
Armazém 5	Pavilhão 2 e Pavilhão 3	Virolas que aguardam entrada para o acoplamento do troço

Os armazéns e zonas partilhadas são locais de arrumação que devem ser respeitados, e mantendo-se a atual configuração de equipamentos, esta é uma organização que se poderá manter por muito tempo, salvo alterações substanciais na produção. A sua viabilidade é assegurada pela atual utilização de muitas dessas zonas dedicadas à arrumação de virolas em diferentes estágios do processo. A figura seguinte mostra virolas que aguardam soldadura longitudinal na zona designada nesta proposta por armazém 3:



Figura 5.2 – Virolas no armazém 3

Por sua vez, a figura seguinte ilustra a arrumação do armazém 5, onde são colocadas as virolas que aguardam o envio para a operação de acoplamento, realizada no Pavilhão 3:



Figura 5.3 – Arrumação de virolas no armazém 5

5.2.2. Alteração da localização da calandra 2

Com uma utilização restringida às virolas do TR1 e algumas do TR2, a calandra 1 está localizada numa zona que aumenta os constrangimentos ao fluxo. No final do Pavilhão 2, junto ao

acoplamento, quando se encontra a laborar aumenta sobremaneira a entropia nesta zona da fábrica. Uma virola calandrada nesta máquina tem de regressar ao início do pavilhão para a soldadura longitudinal, e poderá ainda voltar a esta calandra para ser repassada. Ao mesmo tempo, estão a chegar a esta zona da fábrica virolas já repassadas que aguardam a entrada no acoplamento.

Assim, a deslocação desta virola para o Pavilhão 1 reduziria a necessidade de transportes longos e demorados e deixaria as virolas repassadas mais perto dos postos de soldadura longitudinal. Mantendo as designações apresentadas na tabela 5.1, a figura seguinte esquematiza esta alteração do *layout*:

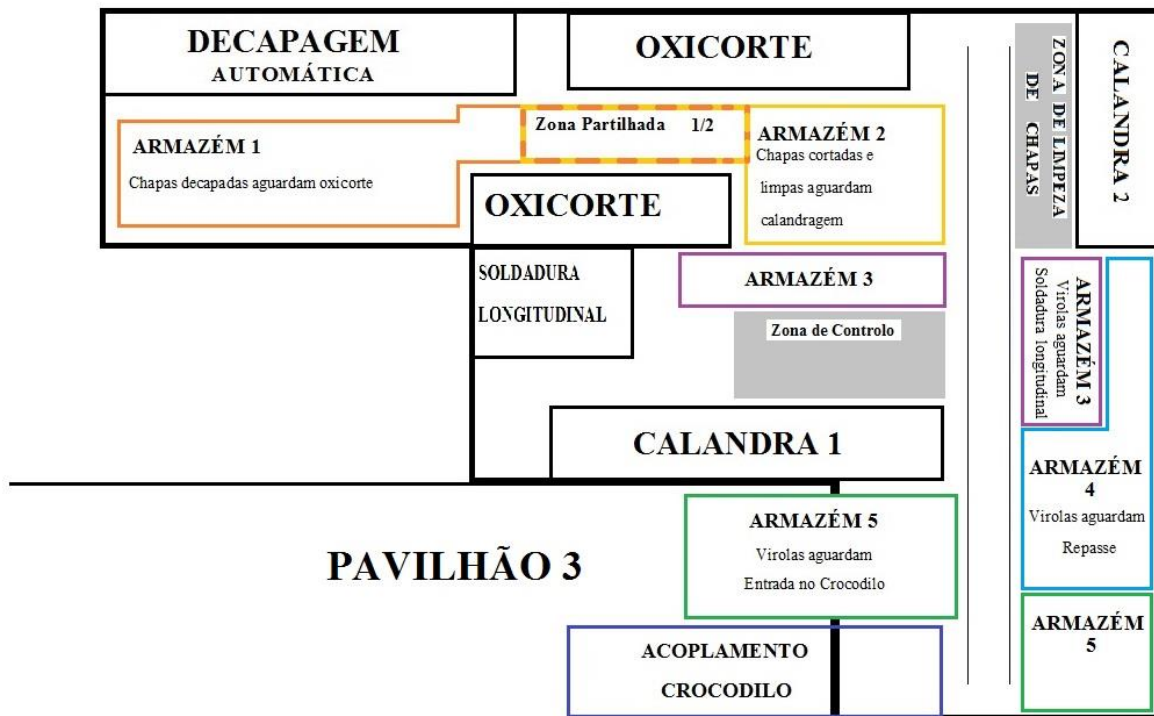


Figura 5.4 - Proposta de alteração de localização da calandra 2

A zona libertada no final do Pavilhão 2 poderá ser aproveitada de forma diferente da apresentada. Ao invés de armazenar virolas que aguardam a entrada no acoplamento, poderá ser utilizada para possibilitar maior profundidade aos armazéns 3 e 4. A carência de testes desta proposta leva a supor que a melhor configuração será conseguida após algumas semanas de laboração neste esquema.

5.3. Operador dedicado

A necessidade de melhorar a arrumação e agilizar a alimentação dos postos de trabalho motiva várias melhorias apresentadas neste estudo. Mas a sua aplicabilidade nem sempre é imediata, pois exige algumas modificações na fábrica. Esta proposta surge com duas funções: ser uma alternativa ao método atual no transporte de material e arrumação, e também testar a viabilidade de algumas zonas dedicadas ao armazenamento de material.

Durante vários anos era prática comum na indústria metalomecânica e similar a existência de operadores com funções dedicadas exclusivamente à operação das pontes rolantes que permitem mover o material dentro das instalações e nos armazéns. Atualmente quase todos os operadores podem utilizar as pontes e cada um alimenta o seu posto de trabalho. Mas esta foi a única forma de conseguir testar algumas ideias que servem de base a várias modificações propostas.

Assim, o operador dedicado fica encarregue de várias funções, numa ordem de importância decrescente: assegurar o correto armazenamento das virolas no Pavilhão 2, agilizar a alimentação das máquinas de soldadura longitudinal e das calandras, e auxiliar os operadores das calandras nos controlos dimensionais. O armazenamento correto das virolas assenta na sua disposição de acordo com o seu estado de processamento, nas zonas apresentadas no capítulo 5.2. Agilizar a alimentação dos postos de trabalho resulta dessa organização da arrumação: mesmo que o operador de um posto de trabalho tenha de ir buscar uma virola a um dos armazéns, esta encontra-se o mais próximo possível, não obrigando a mover outras virolas para conseguir aquela que pretende. Por fim, os controlos dimensionais realizados após qualquer operação nas calandras podem ser mais céleres se efetuados por dois operadores, principalmente na calandra 1, onde são processadas virolas de maiores dimensões, ou ainda serem realizados posteriormente pelo operador dedicado, enquanto na calandra já se trabalha com a virola seguinte.

Além das pontes rolantes, este operador fica também encarregue do transporte das chapas cortadas desde o Pavilhão 1 até às calandras, com recurso ao carro transportador. Não deverá realizar tarefas que são da responsabilidade dos outros operadores, mas apenas garantir uma maior agilidade nas ações que não representam um acréscimo de valor nas suas funções.

5.3.1. O teste

Para testar esta proposta de melhoria, foi selecionado um operador com capacidade para desempenhar as tarefas descritas. Esta experiência decorreu durante dois dias, durante um dos turnos de laboração da fábrica, nos pavilhões 1 e 2.

As primeiras ações deste teste incidiram na arrumação das virolas nos diversos armazéns, provando que durante o normal funcionamento a disposição do material que aguarda processamento não é a desejável. Assim, as primeiras horas permitiram agrupar as virolas de forma a garantir um envio mais expedito para os postos de trabalho desta zona. Com todos os postos ocupados, foi possível utilizar continuamente uma das pontes rolantes do Pavilhão 2 durante algumas dezenas de minutos, que se traduziriam numa diminuição gradual dos tempos de transporte ao longo do resto do turno. A necessidade de utilizar uma das pontes para finalizar operações de calandragem de algumas virolas do TR4 implica uma restrição considerável de movimentos da outra ponte disponível no Pavilhão 2, que torna o respeito pela organização dos armazéns uma atitude indispensável para evitar interrupções desnecessárias na alimentação dos postos de trabalho.

Consultando a documentação de cada atividade ou questionando o operador responsável por cada uma delas, foi definida uma hierarquia na arrumação, que permitia um melhor aproveitamento da área do Armazém 3, e assim deixar algumas virolas entre a soldadura longitudinal e a calandra 1, originando tempos de alimentação de ambos os postos de trabalho reduzidos, face ao normal. No caso da calandra 2, a presença do operador dedicado reflecte-se essencialmente num envio mais ágil de chapa cortada, visto ser este a operar o carro transportador, e na recolha de virolas para serem processadas nos postos de soldadura longitudinal. A alimentação da própria máquina realizada por quem a opera já apresenta uma agilidade satisfatória, assim como os controlos dimensionais, que facilmente são efetuados unicamente pelo operador. A sua localização e a obrigatoriedade de articular a utilização da ponte rolante com os restantes postos de trabalho do Pavilhão 3, principalmente o acoplamento, inibem uma presença constante do operador dedicado nesta zona.

Os resultados mais expressivos do recurso ao operador dedicado cifram-se então nos tempos de alimentação das máquinas de soldadura longitudinal e na calandra 1. Também os controlos dimensionais realizados após a calandragem ou repasse de uma virola diminuíram o seu contributo para o total de tempo em que a máquina se encontra à espera de material para processar.

5.3.2. Os resultados do teste

Durante os dois dias de duração do teste foram registadas todas as durações de alimentação de postos de trabalho dos pavilhões 1 e 2, e consequentemente comparadas com os valores já apresentados no capítulo 4.2. A tabela seguinte apresenta a comparação entre os valores já conhecidos e os recolhidos durante o teste:

Tabela 5.2 – Duração das operações de alimentação dos postos de trabalho

Alimentação dos postos de trabalho com operador dedicado								
Valores em HH:MM:SS	Oxicorte	Oxicorte	Calandra 1	Calandra 1	Calandra 2	Calandra 2	Soldadura longitudinal	Soldadura longitudinal
Tempo mínimo	0:06:05	0:09:46	0:09:50	0:04:38	0:07:52	0:08:53	0:04:54	0:03:47
Tempo médio	0:16:18	0:17:13	0:25:03	0:07:26	0:18:50	0:15:35	0:14:43	0:08:18
Tempo máximo	1:24:00	0:21:30	0:46:20	0:11:25	0:56:04	0:19:50	0:29:10	0:10:50
Tempos registados durante o teste do operador dedicado								

Tal como já referido, as maiores diferenças de tempo ocorrem para a soldadura longitudinal e calandra 1, onde a redução é mais significativa. Atentando aos tempos médios, é clara a vantagem do operador dedicado relativamente ao método habitual, em quase todas as operações. É importante referir que o operador de uma das mesas de oxicorte encontrava-se em formação, o que explica que os tempos registados não sejam consonantes com os valores inferiores registados nos outros postos de trabalho, pois a ação do operador dedicado foi limitada.

O entrosamento com os outros operadores foi melhorando com o passar das horas e da necessidade de colocar a virola pretendida o mais perto das máquinas, com uma cooperação mais frutuosa na calandra 1 do que nas máquinas de soldadura longitudinal. Mas é uma situação passível de melhora, apostando numa comunicação mais eficaz entre operadores ou recorrendo a ferramentas que indiquem a sequência de atividade em cada posto de trabalho.

Quanto à arrumação ficou patente a praticabilidade das zonas definidas, mas revelou-se essencial a sua marcação para um melhor controlo visual, assim como uma melhor identificação das virolas. Existem também algumas regras de segurança relativas à movimentação de materiais que devem ser respeitadas e que impedem alguns procedimentos que possibilitariam ainda maior agilidade. Também neste campo o operador dedicado comporta uma vantagem, pela atenção

exclusiva ao transporte e arrumação, assim como a organização dos armazéns permite uma maior segurança para os restantes operadores e outros colaboradores que circulam na fábrica.

Focando os objetivos deste operador nas suas funções, todos foram cumpridos e os resultados corroboram as melhorias observadas. Mas os ganhos podem não ser suficientes para justificar o recurso a um operador apenas para estas tarefas. Também não representa uma atividade muito desejada pelos vários colaboradores, fator que influencia sobremaneira os resultados e a sua motivação.

Assim, esta pode ser uma função desempenhada durante um período experimental, num sistema de rotatividade entre vários operadores. Além de todos experimentarem as dificuldades criadas por uma arrumação deficiente, pode também ser uma forma de alterarem os seus hábitos, e melhor se familiarizarem com as novas zonas de arrumação aquando da sua criação.

5.4. Carro transportador de chapa

O transporte das chapas cortadas desde a zona de limpeza no Pavilhão 1 até às calandras do Pavilhão 2 é assegurado pelo carro transportador de chapa, que circula sobre carris e permite a ligação entre as três naves que compõem estes pavilhões. Destinado exclusivamente a alimentar as calandras, torna a deslocação das chapas mais ágil, pois o recurso às pontes rolantes só acontece aquando da descarga do carrinho. Porém, o seu funcionamento não se encontra otimizado.

As suas limitações de velocidade produzem tempos elevados nas deslocações. A título de exemplo, a distância compreendida entre o Pavilhão 1 e a calandra 2 é cumprida em aproximadamente 16 minutos. O controlo que gere a atividade do carro não é remoto, o que dificulta as suas operações. Também a capacidade de carga é limitada, o que, dependendo do troço a que se destinam as chapas, pode implicar o transporte de apenas um elemento em cada viagem.

Atendendo às deslocações necessárias, e à distância cumprida em cada uma delas, o modelo atual pode ser alvo de algumas modificações, preservando toda a estrutura, desde o carro aos carris, pois continua a apresentar-se como uma opção viável. E alternativa à maior limitação das pontes rolantes em deslocamentos transversais entre naves. A figura seguinte apresenta o modelo atual:



Figura 5.5 – Estrutura atual do carro transportador de chapa

5.4.1. As modificações

Os objetivos das propostas de melhoria para o carro transportador centram-se no aumento das suas capacidades, de carga e de locomoção, e também numa maior versatilidade. Admitindo a manutenção da estrutura existente, a alteração mais importante incide no motor elétrico que assegura a locomoção do carro.

A necessidade de transportar chapas de 3 a 10 toneladas obriga à utilização de um motor que ofereça um binário generoso, em detrimento de uma velocidade elevada. Esta característica encontra limitações nas regras de segurança, não permitindo grandes aumentos face ao valor atual, que se cifra no $0,05 \text{ ms}^{-1}$.

As deslocações mais longas, até à calandra 2, destinam-se apenas ao transporte de chapas que não excedem as 6,5 toneladas. O novo motor pode assim ser definido de acordo com as necessidades da calandra 1, pois assim fica assegurada uma capacidade suficiente para o transporte mais longo. Outro fator que pode contribuir para uma menor necessidade de aumentar a velocidade é o melhoramento da versatilidade do carro.

O controlador atual é estático, e obriga o operador a permanecer na fronteira entre os pavilhões 1 e 2, de forma a assegurar o arranque e a paragem do carro. Com um controlador

portátil, semelhante aos utilizados nas pontes rolantes, a deslocação pode do carro ao longo do carril pode ser acompanhada pelo operador, com vantagens óbvias ao nível da segurança, e também no decréscimo do tempo dedicado por ele este tipo de ação. A figura seguinte apresenta o controlador utilizado atualmente:



Figura 5.6 – Controlador atual do carro transportador de chapa

Assim, as alterações ao motor do carro devem permitir o transporte de duas das chapas mais pesadas de cada torre, assim como uma velocidade 50% superior à atual. A estas alterações de capacidade devem ser complementadas com melhoramentos ao nível dos rolamentos e outros componentes que possam ver o seu desgaste acelerado por carregamentos superiores àqueles que sofrem atualmente.

5.5. Identificação das virolas

As operações realizadas para o processamento do material implicam o registo de várias informações nos elementos fabricados. Desde a identificação de cada virola, com a indicação do projeto e torre a que pertence, até às dimensões contabilizadas nos vários controlos dimensionais, o seu registo é obrigatório e a sua leitura deve ser fácil e imediata.

Representando uma das técnicas elementares do TPS e do *Lean Thinking*, o *Kanban* permite aliar o controlo das operações a uma gestão visual, que se pretende mais eficaz. Como ponto de partida para melhorar este fator essencial a um melhoramento do fluxo produtivo, surge a necessidade de incluir dados relevantes para o processo num “cartão”.

Estas informações constam na documentação relativa a cada operação, mas são também incluídas nas chapas e virolas. Cada elemento ostenta a sua identificação nas faces interior e exterior, assim como alguns valores que influenciam as atividades consequentes, à medida que novas transformações são efetuadas no material. Este registo é conseguido a giz diretamente na chapa.

A facilidade da inscrição é proporcional à sua vulnerabilidade. Facilmente o operador transcreve a identificação de uma virola para a chapa, mas após várias passagens pelos rolos da calandra, esta pode tornar-se ilegível, ou pouco perceptível. O mesmo acontece com os dados obtidos nos controlos dimensionais e a identificação do cordão de soldadura.

Assim, podem ser introduzidas três etiquetas que melhoram a identificação dos materiais, assim como a sua leitura. Correspondem a diferentes etapas do processamento, não necessitando de ser removidas, apenas acrescentadas. Recorrendo a um material autocolante ou de outro tipo, devem ser adicionadas duas etiquetas de cada tipo, uma no interior e outra no exterior. Tal como a identificação atual, também o preenchimento das etiquetas deve ficar a cargo dos operadores.

Adicionam também cores que permitem diferenciar a etapa em que se encontra o material, melhorando assim a gestão visual. Estas são aqui sugeridas a título de exemplo, e de acordo com as utilizadas aquando da definição das diferentes zonas de arrumação. Aquando do seu fabrico, ou numa atividade precedente, cada etiqueta pode ser distribuída pelos postos de trabalho já com as informações acerca do projeto, torre, troço e virola preenchidos.

5.5.1. As etiquetas

A figura seguinte apresenta a primeira etiqueta, que pode ser adicionada logo após a decapagem automática:

PROJETO	
TORRE	
TROÇO	
VIOLA	
Observações	

Figura 5.7 - Etiqueta 1

Nesta fase do fabrico da torre, as informações necessárias às operações seguintes e que devem estar inscritas na chapa não vão além da identificação do destino do material. O operador responsável pela decapagem procura e regista também o número de vazamento da chapa, mas esta informação é gravada na chapa, não necessitando de ser reproduzida na etiqueta, nem substituída essa gravação. Ainda assim, é destinado um campo a observações, algo comum a todas as outras etiquetas. A cor utilizada é a mesma que delimita o armazém 2 nos esquemas apresentados no capítulo 5.2 desta dissertação.

A segunda etiqueta a utilizar deve ser introduzida após a operação de calandragem e respetivo controlo dimensional. Essas medições implicam o acréscimo dos campos a preencher pelo operador, onde devem ser registados os valores dos perímetros da base e topo de cada virola.

A figura seguinte introduz a segunda etiqueta:

PROJETO		
TORRE		
TROÇO		
VIROLA		
Dimensões	Base	
	Topo	
Observações		

Figura 5.8 - Etiqueta 2

Após a soldadura longitudinal, podem ser acrescentadas algumas informações necessárias, que justificam a inclusão do campo destinado às observações. Mas a identificação do cordão de soldadura não deve ser substituída.

A terceira etiqueta destina-se a ser colocada após o repasse, onde devem constar as dimensões obtidas no controlo dimensional posterior a esta operação. Acrescenta à barra colorida a palavra “repassada”, que habitualmente é escrita na virola. A figura seguinte apresenta a etiqueta:

REPASSADA		
PROJETO		
TORRE		
TROÇO		
VIROLA		
Dimensões	Base	
	Topo	
Observações		

Figura 5.9 - Etiqueta 3

A adição de nova etiqueta não implica a remoção das anteriores, nem a sua sobreposição. Como já referido, a passagem pelas calandras pode danificá-las, algo colmatado com a colocação da etiqueta seguinte logo após a operação.

5.6. Quadro informativo

A pormenorização do planeamento de produção para o fabrico das torres revela-se suficiente para a organização das diversas operações e aquisições de material, tal como o cumprimento dos prazos definidos. Mas não atinge uma rígida minúcia de programação de atividades. Assim, o escalonamento de algumas operações fica a cargo de encarregados e operadores.

Embora nunca esteja em causa o cumprimento dos prazos de entrega, existe por vezes alguma falta de informação que origina movimentações desnecessárias. A maior quantidade de operações e material mais disperso dos pavilhões 1 e 2, que antecede o acoplamento de cada troço, dificulta um escalonamento exato das atividades a realizar. E nem sempre a documentação associada a cada operação se revela suficiente para a organização das várias etapas. É usual encontrar operadores em deslocações na busca de informação para agendarem as ações. Mais uma vez, e à imagem de outras atividades, não se trata de uma regra, mas o número de ocorrências impede que tal se caracterize como uma exceção. Um episódio deste tipo contribui também para uma arrumação errada de material, que se traduz num aumento dos tempos dedicados ao transporte de material, resultando em ações que não acrescentam valor ao processo nem à empresa.

A colocação de um quadro informativo que consiga ligar todas as operações dos pavilhões 1 e 2 pode reduzir essas ocorrências. Aproximando os objetivos desta modificação às características de uma *heijunka box*, não só aumenta a quantidade de informação disponível para todos os operadores envolvidos, como fornece indicações importantes do estado do processo.

A figura seguinte identifica duas zonas possíveis para a colocação do quadro informativo, nos pavilhões 1 e 2:

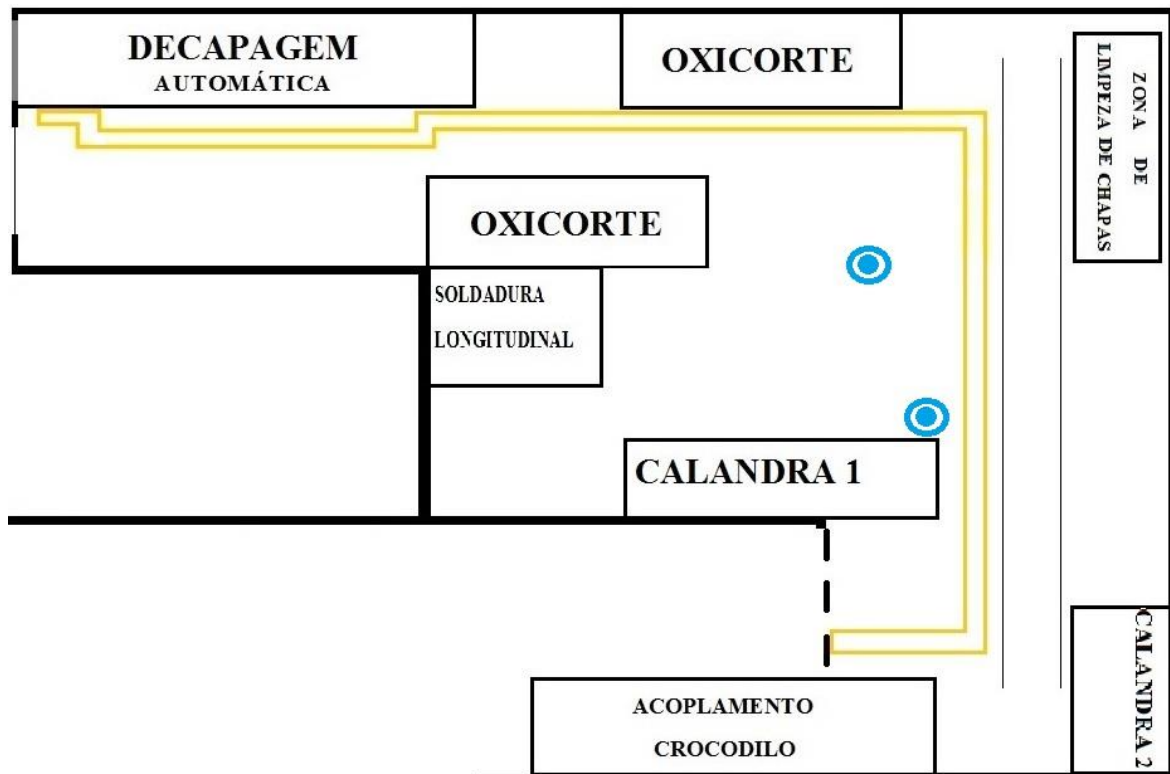


Figura 5.10 - Possíveis localizações do quadro informativo

Uma ferramenta deste tipo deve ser combinada com a utilização de instrumentos *kanban*, aqui descritos no capítulo 5.5. Deve permitir uma consulta rápida e fácil, obrigando para tal a uma alimentação séria de dados relativos ao estado da produção. Afigura-se como uma hipótese de armazenamento das etiquetas destinadas às virolas, que alia uma fácil distribuição das etiquetas pelos postos de trabalho e uma consulta simultânea do estado do processo produtivo nesta zona da fábrica.

Uma das hipóteses de preenchimento de algumas informações constantes nas etiquetas informativas é a prévia indicação da virola a que se destinam. Assim, bastaria aos operadores registar as informações recolhidas nos controlos dimensionais e outras observações importantes. Caberia aos encarregados a disposição das etiquetas no quadro, em sintonia com o planeamento das operações que é feito aquando da organização da documentação relativa a cada operação.

A figura seguinte apresenta um esquema possível da organização do quadro informativo:

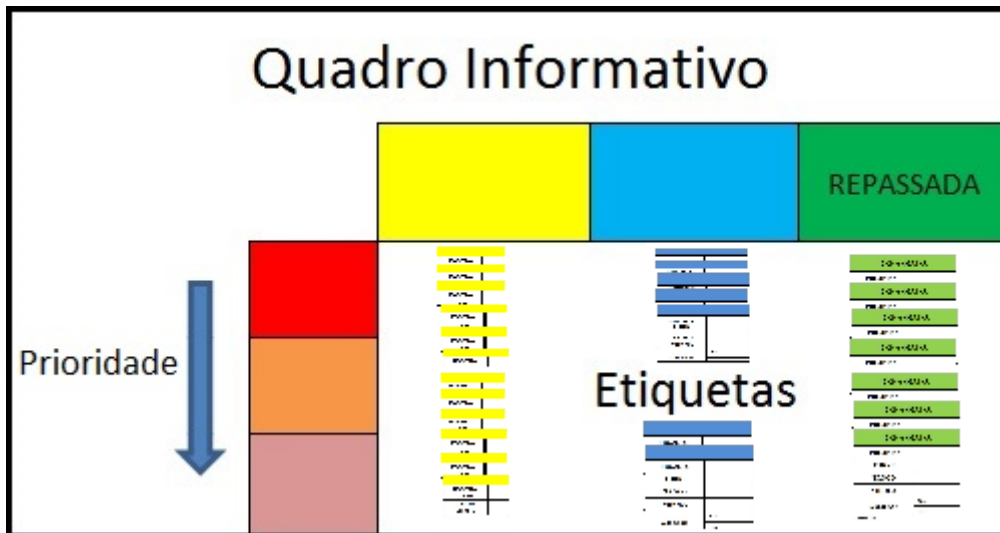


Figura 5.11 - Esquema de organização do quadro informativo

A disposição das etiquetas no quadro pode ser organizada pelo tipo a que pertencem, identificando o estado do processo a que se destinam, assim como pela prioridade que as diferentes virolas apresentam perante outras que se encontrem a aguardar processamento. O avanço ao longo da escala de prioridade pode ser definido pelo encarregado, ou pelos operadores, quando verificam que um dos níveis acima se encontra vazio. A familiarização com um instrumento deste tipo pode requerer algumas semanas, e justifica a simplicidade aqui apresentada, não negligenciando a óbvia possibilidade de evolução, aumentando ou diminuindo a quantidade de informação, e também uma actualização mais rápida e ágil do mesmo.

5.7. Novas máquinas

A aquisição de novas máquinas assume-se como o conjunto das hipóteses de melhoria com maior impacto. Não só pelo dispêndio necessário de capital, como pelos ganhos passíveis de obter. Esta possibilidade de substituir equipamentos surge neste estudo combinada com propostas da empresa, que justifica a seleção de algumas operações para as quais a empresa já encetou esforços e contactos na busca de alternativas.

As várias possibilidades são apresentadas individualmente e procedidas de análises que combinam a alteração conjunta de equipamentos. São também analisadas alterações relativas as constrangimentos ao fluxo. A tabela seguinte relembra o estado atual do processo:

Tabela 5.3 – Estado atual do processo

Conclusão de Operações		
Configuração atual		
Dia DD HH:MM		
	Final do Pavilhão 2	Final da Montagem de Acessórios
TR1	Dia 5 23:30	Dia 11 22:28
TR2	Dia 5 11:30	Dia 11 8:54
TR3	Dia 4 15:30	Dia 13 12:27
TR4	Dia 3 15:30	Dia 12 14:17
Bottlenecks:	Soldadura longitudinal, Pavilhão 1 Soldadura circular exterior, Pavilhão 3 Decapagem (Pintura), Pavilhão da Pintura	

As propostas de melhoria que abordam a aquisição de novos equipamentos destinam-se à substituição dos existentes e que na configuração presente realizam as operações analisadas.

5.7.1. Nova calandra

Motivada pela diferença de capacidade entre as duas calandras existentes na fábrica, a aquisição de um novo equipamento pretende nivelar as características de funcionamento pela calandra 1. A divisão de trabalho pelas duas máquinas ficará assim mais equilibrada.

No fabrico do modelo de torre analisado para a realização deste estudo a calandra 2 está limitada a operar com virolas do TR1 e apenas quatro, das nove, virolas do TR2. Ao invés, a calandra 1 permite processar qualquer virola pertencente a qualquer modelo de torre fabricado pela empresa. A distribuição das tarefas pelas duas máquinas pode aproximar-se da equidade.

A existência de duas calandras de igual capacidade possibilita uma nova metodologia na gestão das operações realizadas nesta máquina. Mantendo a disposição atual dos equipamentos, pode ser possível efetuar a calandragem das chapas na calandra 1, por se encontrar mais perto das máquinas de soldadura longitudinal, e realizar o repasse às virolas na calandra 2, mais próxima do Pavilhão 3 e do acoplamento.

Em alternativa, a nova calandra pode ser instalada no Pavilhão 1, na atual zona de limpeza de chapas, tal como ilustra o esquema seguinte:

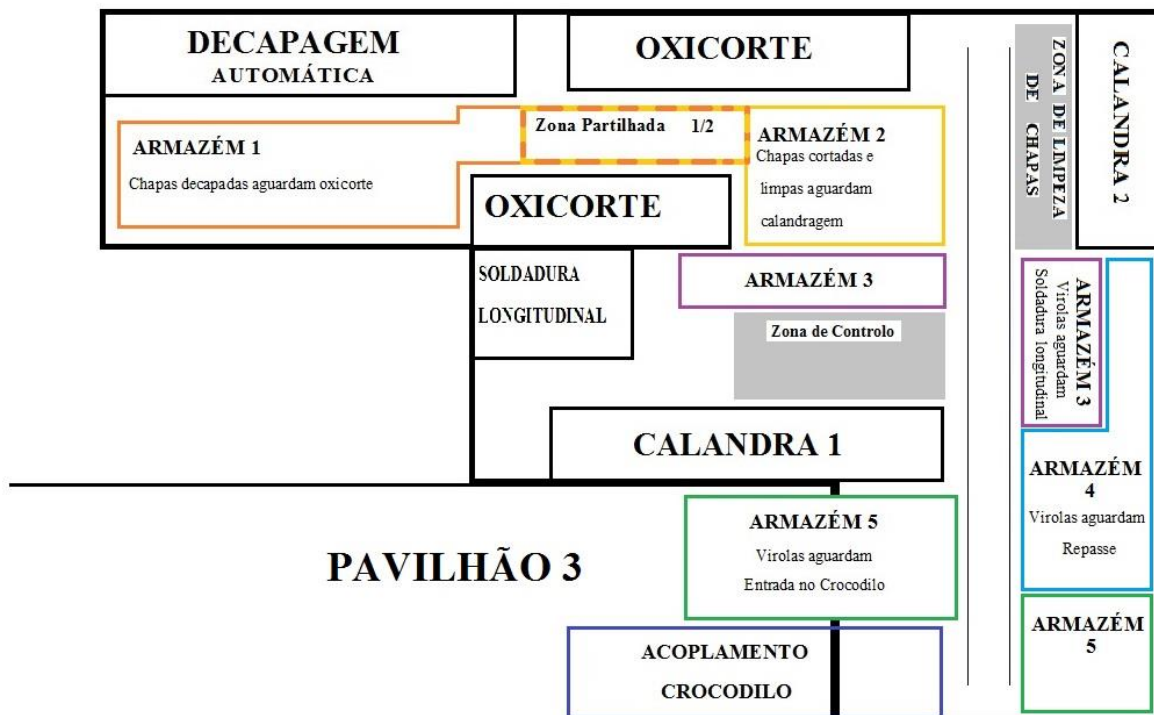


Figura 5.12 - Alteração de *layout* para nova calandra 2

Esta alteração da disposição da calandra 2 obriga a reformulações das zonas de armazenamento. É também possível aplicar a metodologia de calandragem numa máquina e repasse na outra, embora aqui de forma inversa. As vantagens para o transporte de material e o seu armazenamento não são óbvias, requerendo um estudo mais incisivo caso se opte por esta alteração.

A tabela seguinte apresenta a comparação entre os valores estimados para a conclusão das operações realizadas até ao final do Pavilhão 2 e os valores atuais:

Tabela 5.4 – Conclusão de operações com nova calandra

Nova calandra		
Conclusão de operações		
Dia DD HH:MM		
	Final do Pavilhão 2	
	Atual	Modificado
TR1	Dia 5 23:30	Dia 5 23:40
TR2	Dia 5 11:30	Dia 5 11:26
TR3	Dia 4 15:30	Dia 4 15:50
TR4	Dia 3 15:30	Dia 3 15:04

Os valores previstos e aqui apresentados são muito dos obtidos com a configuração atual, e não exprimem uma melhoria significativa dos valores conseguidos para o funcionamento das calandras existentes. A redução do tempo até à conclusão das operações no Pavilhão 2 é marginal, e não influencia a duração total do fabrico de uma torre. O diagrama de Gantt representativo do novo escalonamento de operações dos pavilhões 1 e 2 com a introdução da nova calandra está presente no anexo III.

5.7.2. Máquina de soldadura longitudinal

Tal como as calandras, também as máquinas de soldadura longitudinal existentes apresentam diferenças assinaláveis de capacidade. Embora processem todo o tipo de virolas, uma das máquinas labora a uma velocidade inferior. Uma das máquinas apresenta uma capacidade 75% inferior à outra.

A aquisição de uma máquina que permita uma taxa de deposição igual durante a realização do cordão de soldadura equilibra os tempos de operação de ambas as máquinas. É uma proposta que incide num dos *bottlenecks* do processo, expectando-se por isso ganhos mais evidentes, quando comparada com a alteração da calandra 2. A conclusão prevista para as operações de fabrico com a nova máquina é apresentada na tabela seguinte:

Tabela 5.5 - Conclusão de operações com nova máquina de soldadura longitudinal

Máquinas de soldadura longitudinal com igual				
Conclusão de operações				
Dia DD HH:MM				
	Final do Pavilhão 2		Final da Montagem de Acessórios	
	Atual	Modificado	Atual	Modificado
TR1	Dia 5 23:30	Dia 5 14:03	Dia 11 22:28	Dia 11 19:17
TR2	Dia 5 11:30	Dia 4 19:33	Dia 11 8:54	Dia 10 20:33
TR3	Dia 4 15:30	Dia 3 23:30	Dia 13 12:27	Dia 13:00 12:27
TR4	Dia 3 15:30	Dia 3 13:25	Dia 12 14:17	Dia 12 13:09

Se os ganhos até ao Pavilhão 2 rondam um turno em quase todos os troços, a montagem de acessórios não apresenta uma redução significativa no término das operações. O constrangimento ao fluxo originado por estes postos de trabalho também não é eliminado, obrigando a tempos de espera desde a chegada das virolas pertencentes ao TR2, ou seja, o terceiro da sequência de quatro. O diagrama de Gantt com o escalonamento de operações dos pavilhões 1 e 2 para uma configuração de duas máquinas de soldadura com igual capacidade consta do anexo III.

5.7.3. Calandra e máquina de soldadura longitudinal

Se individualmente as propostas anteriores não permitem prever reduções de tempo consideráveis, quando conjugadas, as melhorias são mais evidentes. Responsáveis pelas operações realizadas no Pavilhão 2, são focos obrigatórios quando se pretende eliminar constrangimentos. A já referida dificuldade de arrumação dos troços em todas as operações prévias ao acoplamento é potenciada pela duração das atividades de soldadura longitudinal, que por conseguinte afetam também a laboração das calandras.

A tabela seguinte clarifica as estimativas de ganhos associados à alteração destes dois equipamentos:

Tabela 5.6 – Conclusão das operações estimada com novos equipamentos no Pavilhão 2

Calandra e soldadura longitudinal				
Conclusão de operações				
Dia DD HH:MM				
	Final do Pavilhão 2		Final da Montagem de Acessórios	
	Atual	Modificado	Atual	Modificado
TR1	Dia 5 23:30	Dia 5 11:40	Dia 11 22:28	Dia 11 18:42
TR2	Dia 5 11:30	Dia 4 19:26	Dia 11 8:54	Dia 10 19:58
TR3	Dia 4 15:30	Dia 4 9:00	Dia 13 12:27	Dia 12 23:24
TR4	Dia 3 15:30	Dia 3 9:17	Dia 12 14:17	Dia 12 12:34

Em todos os troços é passível de obter uma redução de tempo próxima da duração de um turno de trabalho, exceção feita apenas ao TR4. O carácter teórico dos valores apresentados não impossibilita de verificar que a contribuição para estas melhorias fornecida pela aquisição de uma nova calandra é marginal. No entanto, a arrumação e transporte de material no Pavilhão 2 deve melhorar significativamente, a qual contribui para uma agilização do processo, e que pode antecipar a chegada das virolas ao acoplamento. A análise do escalonamento de operações desta zona da fábrica com a introdução dos dois novos equipamentos é documentada pelo diagrama de Gantt presente no anexo III.

5.7.4. Soldadura circular interior no acoplamento

A atual sequência de operações do Pavilhão 3 incide essencialmente em atividades de soldadura. O acoplamento encabeça este tipo de operações, destinando-se apenas a assegurar a solidariedade de todas as virolas constituintes de um troço. A sua soldadura acontece noutra posto de trabalho, precedido da soldadura circular exterior.

Exigindo a realização de duas tarefas distintas, o arqueamento e a soldadura, esta é uma operação realizada em condições exigentes, pela exposição aos fumos e poeiras típicas de um

processo deste tipo. Mas já no acoplamento, o trabalho dos operados incide nestas juntas interiores que intercalam as várias virolas.

Assim, a possibilidade de juntar estas duas operações num único posto de trabalho permite eliminar duas operações consequentes e libertar mais zonas disponíveis para a montagem de clips ou outras atividades. Precedendo outro dos *bottlenecks* do processo, a soldadura circular exterior, a realização da soldadura interior no mesmo local e em simultâneo com o acoplamento permite atrasar a chegada dos troços a essa operação, reduzindo desta forma os tempos de espera. A duração considerada é igual à verificada na atual soldadura circular interior, que é superior em algumas horas ao simples acoplamento. A eliminação da operação de arqueamento que atualmente precede a soldadura interior traduz-se numa redução próxima das 45 horas de trabalho.

Na tabela seguinte são apresentados os valores estimados para a redução do tempo de conclusão de uma torre:

Tabela 5.7 – Conclusão de operações para soldadura interior realizada no acoplamento

Soldadura circular interior no acoplamento		
Conclusão de operações		
Dia DD HH:MM		
	Final da Montagem de Acessórios	
	Atual	Modificado
TR1	Dia 11 22:28	Dia 10 13:22
TR2	Dia 11 8:54	Dia 9 22:16
TR3	Dia 13 12:27	Dia 12 14:05
TR4	Dia 12 14:17	Dia 11 14:51

5.7.5. Instalação da porta e aro de ventilação

Exclusiva de dois dos quatro troços que constituem uma torre, TR3 e TR4, esta operação é a mais morosa de todo o processo. Como tal, a análise de alternativas é um processo que decorre há algum tempo. A inexistência de equipamentos dedicados especificamente a este tipo de operações dificulta uma alteração que se pretende a mais ágil possível, para que não ocorram paragens prolongadas na laboração.

As várias alternativas passam pela construção de um equipamento em exclusivo para esta operação, cujo estudo já foi efetuado, em conjunto com a empresa [26], ou a adaptação de um equipamento existente no mercado. Esta segunda hipótese é aquela com uma aplicabilidade mais elevada neste momento, e permite uma redução da duração das operações de 38 para 15 horas.

A tabela seguinte mostra os valores estimados para a conclusão das operações de fabrico de uma torre:

Tabela 5.8 - Conclusão de operações com alterações na instalação da porta e aro de ventilação

Porta e Aro de ventilação		
Conclusão de operações		
Dia DD HH:MM		
	Final da Montagem de Acessórios	
	Atual	Modificado
TR1	Dia 11 22:28	Dia 12 17:28
TR2	Dia 11 8:54	Dia 11 8:54
TR3	Dia 13 12:27	Dia 12 9:24
TR4	Dia 12 14:17	Dia 10 8:17

5.7.6. Combinação de melhorias para Pavilhão 3

As alterações propostas para o acoplamento e a instalação da porta e aro de ventilação totalizam as propostas de melhoria dedicadas ao Pavilhão 3. Embora com menos interrupções, ambas as operações apresentam durações elevadas e representam duas das mais complexas tarefas realizadas durante o fabrico de uma torre.

Seguidamente são apresentados os valores estimados para a conclusão de uma torre quando conjugadas estas duas alternativas:

Tabela 5.9 – Conclusão das operações estimada com novos equipamentos no Pavilhão 3

Novos equipamentos do Pavilhão 3		
Conclusão de operações		
Dia DD HH:MM		
	Final da Montagem de Acessórios	
	Atual	Modificado
TR1	Dia 11 22:28	Dia 11 14:28
TR2	Dia 11 8:54	Dia 9 22:16
TR3	Dia 13 12:27	Dia 10 22:54
TR4	Dia 12 14:17	Dia 8 22:51

A combinação destas duas propostas de melhoria traduz-se num ganho superior de tempo de duração quando comparada com uma hipotética alteração conjunta dos equipamentos selacionados do Pavilhão 2.

5.7.7. Alteração conjunta de quatro equipamentos

A reunião de todas as propostas de aquisição de novos equipamentos produz a maior diminuição da duração total de fabrico de uma torre. É um resultado expectável, mas importa conhecer a contribuição da alteração de cada equipamento para essa melhoria. Assim se justifica esta apresentação detalhada das várias hipóteses.

Tabela 5.10 – Conclusão de operações para a alteração conjunta dos quatro equipamentos

Novos equipamentos				
Conclusão de operações				
Dia DD HH:MM				
	Final do Pavilhão 2		Final da Montagem de Acessórios	
	Atual	Modificado	Atual	Modificado
TR1	Dia 5 23:30	Dia 5 11:40	Dia 11 22:28	Dia 11 8:26
TR2	Dia 5 11:30	Dia 4 19:26	Dia 11 8:54	Dia 9 16:22
TR3	Dia 4 15:30	Dia 4 9:00	Dia 13 12:27	Dia 10 16:52
TR4	Dia 3 15:30	Dia 3 9:17	Dia 12 14:17	Dia 8 18:30

5.8. Análise de propostas de melhoria

A apresentação das várias propostas comporta uma explicação da oportunidade de melhoria e as vantagens que se pretendem alcançar com a implementação das mesmas. Existem diversas alterações que diferem no cariz, mas confluem na problemática.

Com previsíveis diferentes níveis de possibilidade de aplicação e necessidade de investimento, a apresentação das várias propostas de melhoria é complementada com uma análise comparativa que pretende um melhor esclarecimento acerca dos possíveis ganhos de cada uma das hipóteses. Este tipo de análise, recorrendo a uma matriz de decisão, é efetuada para duas temáticas: o armazenamento de produtos semi-acabados e o balanceamento da produção; ao invés de comparar melhoramentos para áreas funcionais. Esta opção permite uma análise abrangente à maioria das propostas de melhoria apresentadas. O carácter subjetivo de uma comparação deste tipo pode implicar a necessidade de outras formas de análise, embora forneça indicadores importantes para uma escolha mais fundamentada.

5.8.1. Armazenamento de produto semi-acabado

A primeira tarefa de decisão visa as melhorias propostas para a alteração do *layout* dos pavilhões 1 e 2. A criação de zonas de arrumação específica e a alteração da localização da

calandra 2 são analisadas com o intuito de discernir qual das duas promove maiores ganhos, face aos dispêndios necessários à sua implementação.

Os objetivos selecionados para esta análise agrupam-se em diferentes temáticas. Os tempos de transporte referem-se à alimentação das calandras e postos de soldadura longitudinal, pois são estas tarefas que sofrem maior influência da arrumação dos pavilhões 1 e 2, sendo também igualmente aquelas com maior número de acontecimentos nesta zona da fábrica. Os custos contabilizados comportam o investimento necessário para a implementação destas melhorias, assim como as paragens da produção provocadas pelas alterações propostas. As movimentações abordam deslocações de materiais no interior da fábrica que não são motivadas pela alimentação de um posto de trabalho. Referem-se antes a situações em que a arrumação de uma zona é efetuada de forma negligente para com o escalonamento das operações nos diversos postos de trabalho. A prevenção de erros no sequenciamento de operações pretende aferir a contribuição destas modificações para evitar que algum material falhe uma das fases do processo, provocando tempos de espera desnecessários numa etapa mais avançada do processo. A facilidade de manuseamento e a segurança referem-se à melhor manobrabilidade das cargas no interior da fábrica.

É incluída a situação atual, promovendo uma comparação mais exata com as modificações propostas. A figura seguinte apresenta a árvore de objetivos utilizada para esta análise:

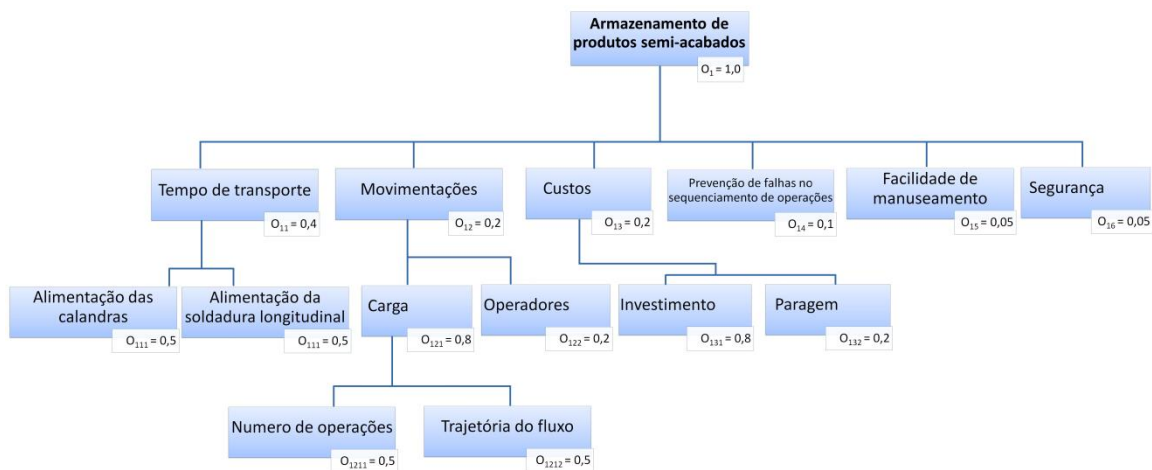


Figura 5.13 - Árvore de objetivos para armazenamento de produto semi-acabado

Os vários níveis hierárquicos presentes na árvore de objetivos justificam-se pelas diversas implicações resultantes de uma alteração do *layout*, mesmo que apenas de uma zona da fábrica. A avaliação é apenas qualitativa, justificada pela dificuldade em quantificar alguns fatores.

A construção da tabela de decisão inicia-se com o cálculo dos fatores de ponderação, que resultam da multiplicação do peso dos vários critérios individuais. Os dados relativos à alteração da localização da calandra 2 são teóricos. A justificação provém da óbvia dificuldade em efetuar um teste nessas condições. A tabela seguinte apresenta a matriz de decisão para esta comparação:

Tabela 5.11 – Matriz de decisão ponderada para armazenamento de produto semi-acabado

Armazenamento de produto semi-acabado	Fator de ponderação	Situação atual		Layout com zonas de arrumação		Alteração de localização da calandra 2, com zonas de arrumação	
		Classificação simples	Classificação ponderada	Classificação simples	Classificação ponderada	Classificação simples	Classificação ponderada
Alimentação das calandras	0,2	1	0,2	3	0,6	4	0,8
Alimentação da soldadura longitudinal	0,2	2	0,4	3	0,6	3	0,6
Número de operações	0,08	1	0,08	3	0,24	3	0,24
Trajectoria do fluxo	0,08	1	0,08	3	0,24	4	0,32
Investimento	0,16	4	0,64	3	0,48	1	0,16
Paragem	0,04	4	0,16	4	0,16	1	0,04
Prevenção de falhas no sequenciamento de operações	0,1	1	0,1	3	0,3	3	0,3
Facilidade de manuseamento	0,05	1	0,05	3	0,15	3	0,15
Segurança	0,05	2	0,1	3	0,15	3	0,15
TOTAL			1,81		2,92		2,76

Através da matriz de decisão é possível identificar como melhor opção para melhorar o armazenamento de produto semi-acabado na zona dos pavilhões 1 e 2 a alteração do *layout*, e a criação de zonas de arrumação específicas. Os fatores que mais contribuem para a vantagem desta proposta face ao estado atual e à alteração da localização da calandra são o baixo custo de implementação e a redução significativa de tempos de alimentação dos postos de trabalho.

5.8.2. Balanceamento do Pavilhão 2

A aquisição de novos equipamentos é um processo que deve comportar rigorosas análises para um fiável acerrar dos ganhos promovidos por uma alteração deste tipo. Esta segunda

comparação pretende acrescentar uma ferramenta útil para a decisão entre as modificações de equipamentos no Pavilhão 2. São analisadas as substituições da calandra 2, de uma das máquinas de soldadura longitudinal e, tal como na análise dos tempos de fabrico de cada troço, a alteração conjunta dos dois equipamentos.

Os critérios seleccionados abordam os custos inerentes a cada modificação, assim como as influências na produção. São contabilizadas as reduções de tempo de operação, assim como o contributo para um maior equilíbrio de operações realizadas nos postos de trabalho onde são efetuadas as mesmas atividades. Essa alteração de divisão de tarefas entre máquinas influencia também os tempos de operação. A figura seguinte apresenta a árvore de objetivos, onde constam os pesos dos vários critérios individuais:

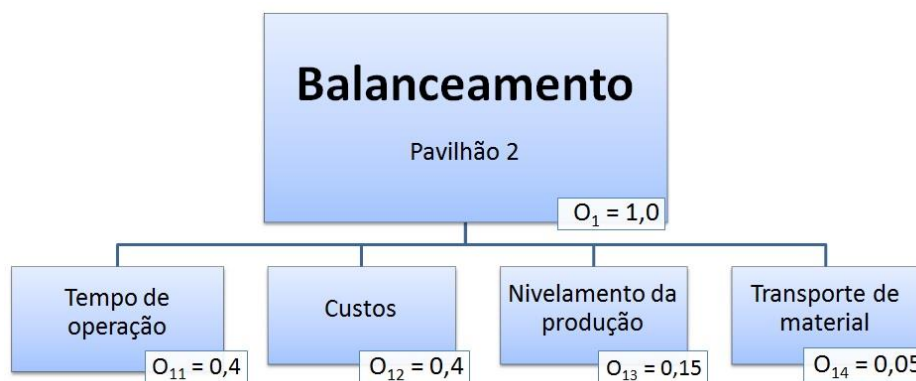


Figura 5.14 - Árvore de objetivos para o balanceamento do Pavilhão 2

A tabela seguinte apresenta a matriz de decisão para a comparação entre as várias possibilidades de alteração de equipamentos:

Tabela 5.12 – Matriz de decisão para balanceamento do Pavilhão 2

Balanceamento Pavilhão 2		Nova calandra		Nova máquina de soldadura longitudinal		Alteração das duas máquinas	
		Classificação simples	Classificação ponderada	Classificação simples	Classificação ponderada	Classificação simples	Classificação ponderada
Tempo de operação	0,4	1	0,4	3	1,2	3	1,2
Custos	0,4	3	1,2	3	1,2	1	0,4
Nivelamento da produção	0,15	2	0,3	3	0,45	4	0,6
Transporte de material	0,05	2	0,1	1	0,05	3	0,15
TOTAL		2		2,9		2,35	

A opção que obtém o melhor valor na análise efetuada é a nova máquina de soldadura longitudinal. Sendo um *bottleneck* do processo, o equilíbrio de capacidade entre as duas máquinas permite uma redução de tempo de fabrico de troço aceitável. A matriz apresentada reflete mais uma vez a insuficiência de resultados que permitam justificar uma alteração isolada da calandra 2. A alteração conjunta dos equipamentos é claramente limitada pelo custo de uma modificação desse tipo.

5.8.3. Balanceamento do Pavilhão 3

A terceira decisão aborda as novas máquinas para o Pavilhão 3. Em muito semelhante à análise efetuada para o Pavilhão 2, também aqui é comparada a aquisição de duas máquinas, assim como a alteração conjunta de ambas. As operações analisadas são o acoplamento e a soldadura da porta e aro de ventilação.

Acresce aos critérios já contabilizados para a análise às máquinas do Pavilhão 2 apenas a referência aos postos de trabalho. Este fator refere-se à eliminação de operações consequentes, como no caso da soldadura circular interior que passa a ser realizada aquando do acoplamento, assim como na diferente metodologia adotada para o corte e soldadura do aro de ventilação e da porta para os troços TR3 e TR4.

A figura seguinte apresenta a árvore de objetivos referente a esta comparação:

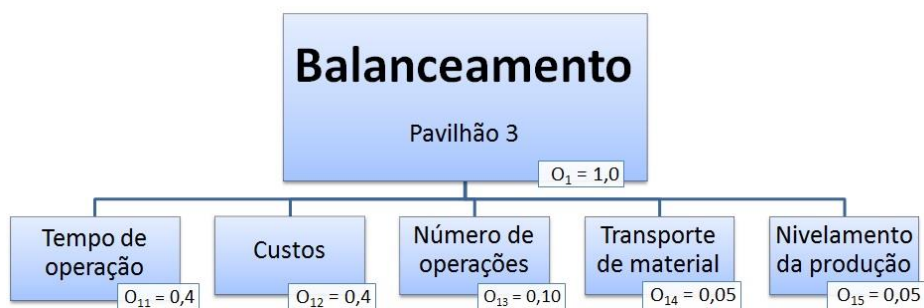


Figura 5.15 - Árvore de objetivos para o balanceamento do Pavilhão 3

Tal como na análise referente ao Pavilhão 2, também neste caso a análise surge mais simplificada, fruto de um número mais reduzido de fatores contabilizados. Embora tenha como

enfoque a melhor articulação de operações, a redução de tempos de espera e a otimização de fluxo, a comparação entre as várias hipóteses de substituição de um equipamento, distinguem-se em vários aspetos. Ainda assim, procura-se identificar qual a melhor opção, caso apenas seja possível adquirir um equipamento, assim como saber se a substituição dupla acarreta ganhos suficientes que justifiquem o investimento.

A tabela seguinte apresenta a matriz de decisão para esta análise:

Tabela 5.13 – Matriz de decisão para balanceamento do Pavilhão 3

Balanceamento		Acoplamento com soldadura circular interior		Porta e aro de ventilação		Alteração dos dois postos de trabalho	
		Fator de ponderação	Classificação simples	Classificação ponderada	Classificação simples	Classificação ponderada	Classificação simples
Pavilhão 3							
Tempo de operação	0,4	1	0,4	2	0,8	4	1,6
Custos	0,4	3	1,2	2	0,8	1	0,4
Número de operações	0,1	4	0,4	2	0,2	4	0,4
Nivelamento da produção	0,05	3	0,15	1	0,05	3	0,15
Transporte de material	0,05	2	0,1	2	0,1	3	0,15
TOTAL		2,25		1,95		2,7	

Através da elaboração da matriz de decisão é possível verificar que os ganhos da substituição dos dois equipamentos suplantam os conseguidos individualmente, sobrepondo-se à desvantagem de um investimento mais avultado. Ainda assim, se apenas for possível alterar um dos equipamentos, é a realização da soldadura longitudinal aquando do acoplamento do troço que se revela a melhoria mais vantajosa.

5.9. Propostas para futuros melhoramentos

As várias hipóteses de melhoria analisadas ao longo da realização do estudo aqui apresentado resultaram em vários tipos de propostas. A par daquelas já expostas neste capítulo, outras merecem destaque, embora as hipóteses de implementação sejam mais reduzidas num curto prazo.

Com uma abordagem mais superficial, algumas destas propostas carecem de um estudo mais aprofundado para melhor evidenciar possíveis ganhos e limitações à sua aplicação. Assim, a sua apresentação consiste numa breve análise de algumas oportunidades de melhoria.

5.9.1. Medidor de perímetro nas calandras

Após cada operação realizada nas calandras, seja o processamento de uma chapa cortada para a obtenção de uma virola, ou um repasse após a soldadura longitudinal, é efetuado um controlo dimensional para obter o valor dos perímetros da base e topo de cada virola. Com recurso a uma fita métrica flexível, pode também obrigar à utilização de uma pequena plataforma elevatória nas virolas de maiores dimensões, para assegurar uma medição o mais correta possível.

Se na calandra 2, reservada ao processamento das virolas mais pequenas, a medição do perímetro é efetuada pelo operador num tempo que não excede os 5 minutos, na calandra 2 este procedimento é mais demorado e implica, na maioria das vezes, a utilização da plataforma elevatória. Esta encontra-se estacionada ao lado da calandra, é deslocada pelo operador para a zona destinada ao controlo dimensional, elevada uma primeira vez para posicionar a fita métrica no topo de uma das extremidades, e de seguida descida, procedendo-se à medição e ao registo do valor. O operador volta a subir, e repete o mesmo procedimento na outra extremidade. Os valores da duração desta atividade ficam compreendidos entre os 7 e os 17 minutos.

O valor do perímetro de cada extremidade é um dos elementos incluídos na ficha de operação das calandras, obrigando ao seu registo não só na virola, como também nos documentos associados ao processo. Este parâmetro é importante para a operação de acoplamento, realizado no Pavilhão 3, dada a conicidade de cada elemento.

Existem já dispositivos adaptáveis aos rolos das calandras que possibilitam efetuar esta operação com maior brevidade, ainda com a virola na máquina, e obter um valor cujo erro associado é inferior. Ainda assim, deve atender-se no escorregamento entre a virola e os rolos aquando da rotação, dada a ausência de total solidariedade no movimento entre os dois elementos.

5.9.2. Identificação de material com código de barras

A proposta de melhoria de identificação das virolas através do uso de etiquetas diferenciadas para os vários estágios do processo apresenta um alto nível de aplicabilidade, fruto da simplicidade do método proposto. Mas outros suportes de informação permitem uma maior amplitude de aplicações no âmbito da identificação e gestão dos materiais ao longo do seu percurso na fábrica.

Introduzindo um sistema de identificação através de código de barras, articulado com um suporte informático disponível em vários postos de trabalho, é possível aliar uma maior quantidade de informação armazenada, e também conhecer em tempo real a duração das operações realizadas em cada virola. A partir do Pavilhão 3 essa identificação pode ser relativa a um troço. Não só a informação relativa a todas as operações e controlos dimensionais é preservada ao longo de todo o processo, como se eliminam as deficiências verificadas no registo da duração de cada operação.

Através de instrumentos móveis que aliem a leitura e o carregamento de informação, em cada posto de trabalho o operador pode adicionar dados à ficha virtual de uma virola, assim como uma simples leitura no início e final de cada operação fornece a sua duração exata. Os dados carregados no sistema serão mais fiáveis do que aqueles que são recolhidos atualmente, o que permite um melhor conhecimento do processo.

É uma técnica que pode ser utilizada paralelamente às etiquetas propostas para as operações dos pavilhões 1 e 2, visto estas contribuir para uma melhor gestão visual. Assim, cada etiqueta pode conter as informações atuais e acrescentar um código de barras. Torna-se assim possível conhecer, em tempo real, o estado do processo, detalhes do percurso e a localização dos vários troços de uma torre.

5.9.3. Uniformização de instrumentos para transporte

A utilização de pontes rolantes para o transporte e movimentação de chapas e virolas obriga à utilização de garras e ganchos para melhor suportar estes elementos. Mas as diferentes espessuras e formas requerem uma alternância de instrumentos que obriga a trocar garras por ganchos, e o inverso.

Durante a alimentação de uma calandra, por exemplo, quando é retirada uma virola já processada e colocada uma nova chapa, é recorrente trocarem-se estes utensílios responsáveis pela ligação entre o material e a ponte rolante. Estas peças apresentam um peso considerável, representando um risco para a segurança dos operadores. No caso de negligenciada a necessidade de troca, as consequências podem ser ainda mais graves.

Assim, modificar estas ligações e uniformizar os utensílios utilizados contribui para uma maior agilidade do processo, diminuindo o tempo dedicado à alimentação dos postos de trabalho, e promovendo uma maior segurança. Uma alteração deste tipo carece de um teste rigoroso às várias opções disponíveis no mercado.

5.9.4. Carro transportador de chapas e virolas

As modificações propostas para o carro transportador de chapa que liga os pavilhões 1 e 2 assentam numa maior capacidade de transporte, complementado com um aumento de velocidade e versatilidade. Mas a localização da calandra 2 e as difíceis movimentações transversais entre naves motivam uma outra possibilidade de alteração.

Destinado a enviar chapas cortadas para zonas próximas das calandras, as suas viagens de regresso ao Pavilhão 1 são realizadas sem carga. Modificando a sua estrutura, pode conseguir-se enviar chapas até às calandras e recolher virolas até uma zona mais próxima da soldadura longitudinal. Se a calandra 1 não despoleta esta necessidade, dada a sua localização, já a as virolas processadas na calandra 2 retornariam mais rapidamente, e numa operação de menor complexidade, até à zona do Pavilhão 2 onde aguardam a entrada num dos postos de soldadura. Se a configuração atual permite o transporte de várias chapas numa só viagem, no caso das virolas essa ação permite apenas mover uma unidade de cada vez.

Esta modificação aumenta a necessidade de melhorar a versatilidade do carro, para comportar um maior número de viagens. As dimensões dos elementos a transportar obrigam a uma atenção redobrada para permitir a retenção dos mesmos durante o transporte.

6. Conclusões e sugestões de futuros desenvolvimentos

Este capítulo reúne as conclusões e a análise do trabalho realizado, e as referências aos futuros desenvolvimentos que possibilitam a continuidade do processo de melhoria iniciado com o estudo realizado.

6.1. Conclusão e análise do trabalho efetuado

A melhoria contínua ultrapassa a necessidade de agilizar processos, estabelecendo-se como uma postura necessária em todas as vertentes da atividade industrial, assim como noutra tipo de organizações. Quando se persegue a excelência, a redução dos desperdícios e a canalização de recursos para a criação de valor são duas formas complementares de incrementar a produtividade e aumentar a competitividade, que se assumem como os predicados mais importantes para vencer num mercado exigente, principalmente num momento como aquele que se vive na economia mundial.

O estudo apresentado serve de base a uma análise pormenorizada do processo produtivo, complementado com a elaboração de propostas que visam agilizar o fabrico das torres metálicas, na empresa A. S. Matos – Energia S.A.. O trabalho desenvolvido em conjunto com a empresa pretende ser um ponto de partida para a implementação de melhorias que promovam uma maior eficiência e produtividade, assim como cultivar a necessidade de melhorar continuamente os processos, combatendo a estagnação.

O principal enfoque da análise do processo incidiu na arrumação e transporte de material em processamento, tendo sido elaboradas várias propostas que pretendem eliminar desperdícios associados a estas operações. Alguns constrangimentos identificados resultam de rotinas e hábitos que não seguem as melhores práticas de funcionamento, contribuindo para a propagação dos desperdícios. Nos pavilhões 1 e 2 verifica-se uma maior dispersão de material em processamento, sendo essa uma das justificações para a maioria das modificações propostas serem direcionadas a essa zona da fábrica. As limitações físicas do espaço aliadas a uma arrumação negligente, originam elevados tempos de transporte de material e de alimentação de postos de trabalho.

A identificação das oportunidades de melhoria não foram uma descoberta inédita para a empresa, que já havia operado algumas modificações ao longo da sua existência. Com o trabalho realizado pretende-se dar a continuidade ao processo, contribuindo com a aplicação de novas metodologias e com o objectivo de fomentar o sentido de responsabilidade por parte dos operadores no respeito dos procedimentos que promovam uma maior produtividade.

A integração de ferramentas *Lean* neste estudo promove uma melhor identificação de oportunidades de melhoria, e proporciona a elaboração de propostas que apresentam uma aplicabilidade quase imediata.

Os dados recolhidos e analisados referentes à duração de operações e ao transporte de material assumem uma importância destacada pois permitiram um maior conhecimento do processo produtivo, uma melhor identificação das áreas funcionais onde é necessário intervir, e também uma comparação com os dados recolhidos e detidos pela empresa

Também a análise do *layout* proporcionou um maior conhecimento do processo, assim como o fornecimento de uma percepção mais real do efeito dos constrangimentos visíveis.

A aquisição de equipamentos é um passo que exige elevado investimento, e a análise realizada fornece informações que, apesar de assentarem em estimativas, permitem contabilizar possíveis ganhos e influenciar uma futura decisão.

Algumas propostas de melhoria combinam a necessária redução de tempo de transporte de material, a eliminação de movimentações desnecessárias e também a necessidade de uma melhor organização do espaço disponível dentro da fábrica. Um dos exemplos reside no quadro informativo proposto, que surge de diferentes necessidades e promove várias melhorias. A possibilidade de testar algumas das outras modificações corroborou as expectativas criadas quanto às melhorias obtidas e confirmou a necessidade de intervir nas zonas funcionais identificadas.

O estudo apresentado nesta dissertação cumpre os objetivos delineados para a sua realização, reunindo um alargado conjunto de informações imprescindíveis à análise do processo produtivo, acrescentando também propostas de melhoria que pretendem solucionar alguns dos problemas identificados.

6.2. Desenvolvimentos futuros

O trabalho desenvolvido em conjunto com a empresa pretende ser um ponto de partida para a implementação de melhorias que promovam uma maior eficiência e produtividade. A necessária procura pela excelência e superação são formas de atingir a desejada maior competitividade, mas implica uma análise detalhada a todos os departamentos e operações implicadas no processo produtivo.

Alguns procedimentos da fábrica já haviam sofrido alterações e melhoramentos, porém existem outros aspetos marginais à ação de um operador que podem não acrescentar valor, mas inflacionam o desperdício. As bases e ferramentas do *Lean Thinking* são importantes instrumentos de análise e eliminação das causas que impedem a otimização do fluxo produtivo, e devem ser aplicadas continuamente.

Um exemplo que espelha a necessidade de uma ampla e contínua aplicação é a metodologia 5S. Esta fornece diretrizes para a implementação de qualquer melhoria, assim como identifica cinco princípios em que se deve basear um sistema *Lean*. Durante a realização do estudo e da permanência na fábrica foi possível verificar que nem todas estas normas são ignoradas no estado atual. O “sentido de eliminar” e o “sentido de limpar” estão enraizados nos hábitos dos operadores, como se comprova pelos vários postos de trabalho arrumados, pela ausência de peças e outro tipo de materiais dispersos pela fábrica, complementado por um nível de limpeza notável para uma empresa deste tipo. Embora estes possam ser melhorados, existem outros três princípios para os quais poderiam ser canalizados os esforços, possibilitando uma maior eficácia na implementação das modificações propostas, assim como em futuras alterações ao processo.

Albergando outro tipo de análises, o estudo apresentado não se cinge às ferramentas *Lean*, embora algumas possam ser mais exploradas no futuro. As limitações do VSM perante alguns objetivos desta dissertação remetem a sua prioridade para um patamar secundário, embora não deva ser negligenciada a sua elaboração no futuro, aquando de uma maior articulação com outros departamentos e uma maior abrangência do estudo a efetuar. Uma análise mais exaustiva das restantes zonas da fábrica, assim como a outros departamentos, representam os valores a adicionar àqueles disponibilizados neste trabalho, e essenciais para o mapeamento de todo o fluxo de valor.

Os pontos deste estudo com maior possibilidade de desenvolvimento integram a necessidade de um maior detalhe das modificações referidas no capítulo 5.9, assim como a análise de aquisição de outros equipamentos. A articulação entre o quadro informativo proposto e algumas tecnologias de informação podem ser o mote para um futuro trabalho, alargando a sua ação a todas as zonas funcionais da fábrica.

Os futuros trabalhos que visem a agilização do processo de fabrico das torres podem também recorrer a outras metodologias, como o *6 sigma*. Embora esta encontre algumas limitações na análise de volumes de produção reduzidos como o do fabrico das torres, as suas potencialidades não devem ser negligenciadas, principalmente no que respeita à programação e planeamento de operações.

Apontando a uma meta onde reside um estado de perfeição inatingível, este é um ponto de partida para um trabalho que está longe de conhecer uma etapa final. No entanto alguma informação constante nesta dissertação poderão permitir ultrapassar algumas etapas em futuros estudos, ao apresentar dados relativos a diversas zonas funcionais cujo conhecimento é hoje mais pormenorizado.

Bibliografia

- [1] J. P. Womack, D. T. Jones, and D. Roos, *The Machine That Change the World*. 1990.
- [2] “Lean Enterprise Institute.” [Online]. Available: <http://www.lean.org/>. [Accessed: 20-Jan-2012].
- [3] J. Liker and D. Meier, *The Toyota Way - 14 Management Principles the world’s greatest manufacturer*. Mc Graw-Hill, 2004.
- [4] J. P. Womack and D. T. Jones, *Lean Thinking Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Free Press, 1996.
- [5] J. P. Pinto, “Lean thinking,” *Comunidade Lean Thinking*, pp. 1–8, 2008.
- [6] S. Shingo, *Study of Toyota Production System*. Productivity Press, 1985.
- [7] J. P. Pinto and A. Amaro, “Criação de Valor e eliminação de desperdícios,” *Revista Qualidade*, 2009.
- [8] D. Brunt and C. Butterworth, *Waste Elimination in Lean Production - A Supply Chain Perspective*, 1ª Edição. Dusseldorf: Proc ISATA 98, 1998.
- [9] J. P. Pinto, “Glossário de termos e acrónimos Lean Thinking.” 2008.
- [10] M. Rother and J. Shook, *Learning to See: value stream mapping to add value and eliminate muda*. The Lean Enterprise Institute, 1999.
- [11] D. Jones and J. Womack, *Seeing the Whole - mapping the extended value stream*. The Lean Enterprise Institute, 2002.
- [12] Z. N. Khaswala and S. A. Irani, “Value Network(VNM): Visualization and Analysis of Multiple Flows in Value Stream Maps.” Columbus, Ohio, 2004.
- [13] J. McClellan, “The Benefit of Using Simulation to Improve The Implementation of Lean Manufacturing - Case Study: Quick Changeovers to Allow Level Loading of The Assembly Line,” School of Technology, Brigham Young University, 2004.
- [14] R. Swanson, “A generalized approach to demand buffering and production leveling for JIT make-to-stock applications,” *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 86, 2008.
- [15] D. Dolcemascolo, *Improving the extended value stream: Lean for the entire supply chain*, 1ª Edição. New York: Productivity Press, 2006.
- [16] Y. Monden, *Toyota Production System*. Norcross, Georgia: Industrial Engineering and Management Press, 1983.
- [17] J. Pinto, “Toyota Production System - a filosofia de um vencedor.” 2007.

- [18] S. Cimorelli, *Kanban for the supply chain - Fundamental practices for manufacturing management*. New York: Productivity Press, 2006.
- [19] CENFIM, “Metodologia dos 5S.” Lisboa, 2006.
- [20] G. Kaplan, “Advanced Lean Thinking - Proven Methods to Reduce Waste and Improve Quality in Health Care.” Illinois, 2008.
- [21] L. Scotelano, “Aplicação da Filosofia Kaizen e uma investigação sobre a sua Difusão em uma Empresa Automobilística,” *Rev. FAE*, vol. 10, no. 2, pp. 165–177, 2007.
- [22] V. Palmer, “Inventory Management Kaizen: Proceedings of the 2nd International Workshop.” 2001.
- [23] S. Nakajima, *Introduction to TPM*. Cambridge: Productivity Press, 1988.
- [24] J. Dahlgaard, K. Kristensen, and G. Kanji, *Fundamentals of Total Quality Management*, 2^a Edição. Abingdon: Taylor and Francis Group, 2002.
- [25] “A.S.M. Group - A. SILVA MATOS ENERGIA - S.A.” [Online]. Available: <http://www.asilvamatos.pt/#/pt/grupo/asm-energia/>. [Accessed: 02-Feb-2013].
- [26] J. Marrazes, “Automatização do Processo de Soldadura dos Aros das Portas das Torres Eólicas,” FCT-UNL, 2011.

Bibliografia adicional

1 – C. Wallace, H. L. Gantt, *The Gantt chart, a working tool of management*, Nabu Press, 2010

2 – V. S. Roldão, J. S. Ribeiro, *Gestão das Operações*, Monitor, Lisboa

3 – A. Courtois, M. Pillet, C. Martin, *Gestão da Produção*, Editora Lidel

4 – C. R. Romeva, *Disseny de màquines V Metodologia*, Edicions UPC, Barcelona

5 – E. M. Goldratt, J. Cox, *A Meta: um processo de melhoria contínua*, Nobel, 1984

Anexos

Anexo I – Folha para recolha de tempos de operação

MONTAGEM DE CLIPS							
Registo do tempo necessário para a montagem dos clips de cada troço							
Modelo		E82 E2/S/83/5K/01 HC-5					
Projecto		137					
	Tempo		Data		Tempo		Data
	Início	Fim			Início	Fim	
Troço 1							
Troço 2							
Troço 3							
Troço 4							

Figura AI.1 – Exemplo de folha para registo do tempo de uma operação

Anexo II – Tempos máximos, médios e mínimos de todas as operações

Tabela AII.1 – Tempos de operação

Duração das operações												
Operações	TR1			TR2			TR3			TR4		
	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio
Decapagem automática	2:43:00	3:50:00	3:26:40	3:06:00	3:13:00	3:09:30	1:45:00	2:54:00	2:19:24	1:40:00	2:04:00	1:50:10
Oxicorte	10:00:00	11:15:00	10:48:00	13:05:00	15:43:00	14:05:45	9:15:00			6:30:00	8:55:00	7:42:30
Calandragem	9:20:00	10:05:00	9:42:30	6:57:00	10:24:00	8:50:45	7:15:00	11:25:00	8:51:00	5:16:00	6:30:00	5:48:12
Soldadura longitudinal	15:14:00	19:41:00	18:43:34	20:15:00	24:06:00	22:01:00	19:12:00	29:17:00	24:36:20	21:15:00	24:50:00	23:35:48
Repasse	7:15:00	8:50:00	7:53:20	6:58:00	9:46:00	8:08:26	6:05:00	7:40:00	6:51:00	3:10:00	5:35:00	4:26:00
Acoplamento	5:10:00	12:00:00	8:23:00	4:00:00	11:50:00	7:53:20	5:30:00	10:00:00	7:45:00	3:20:00	7:30:00	5:25:00
Soldadura circular exterior	5:00:00	13:30:00	10:11:26	11:15:00	17:00:00	13:48:20	14:32:00	22:30:00	18:31:00	15:00:00		
Soldadura circular interior - arqueamento	5:48:00	11:00:00	7:39:50	7:08:00	16:45:00	13:07:40	5:45:00	22:05:00	13:19:45	4:13:00	17:00:00	10:35:45
Soldadura circular interior - soldadura	6:20:00	14:30:00	9:16:00	7:55:00	15:05:00	10:55:50	7:40:00	18:00:00	12:35:43	5:45:00	17:00:00	9:42:51
Montagem de clips	5:00:00			5:00:00			5:00:00			5:00:00		
Soldadura da porta/aro de ventilação							38:00:00			38:00:00	40:00:00	38:51:15
Soldadura da porta/aro de ventilação -							5:13:20			3:30:00	6:55:00	5:13:20
Decapagem	8:45:00	17:00:00	12:33:13	7:30:00	13:00:00	10:38:20	8:30:00	11:30:00	9:20:00	9:00:00	12:00:00	10:48:00
Pintura	5:40:00	15:15:00	9:25:55	6:25:00	18:20:00	9:41:04	5:00:00	11:20:00	8:57:51	7:15:00	11:45:00	9:38:20
Montagem de acessórios	13:00:00	20:00:00	16:00:00	10:00:00	19:00:00	13:33:45	17:30:00	25:15:00	21:27:30	9:30:00	17:30:00	14:51:26

Anexo III – Escalonamento das operações nos pavilhões 1 e 2

Este anexo apresenta os diagramas de Gantt ilustrativos do escalonamento das operações nos pavilhões 1 e 2 com a introdução dos novos equipamentos.

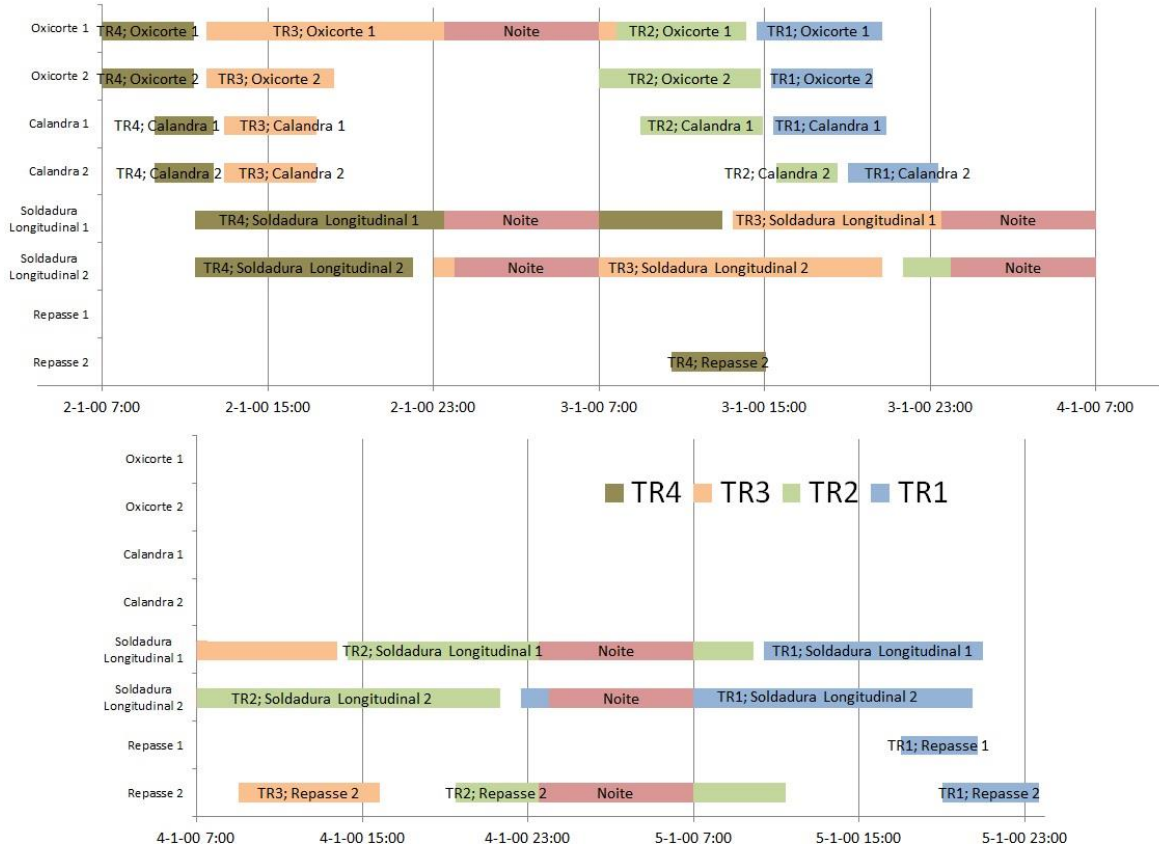


Figura AIII.1 – Escalonamento das operações com nova calandra

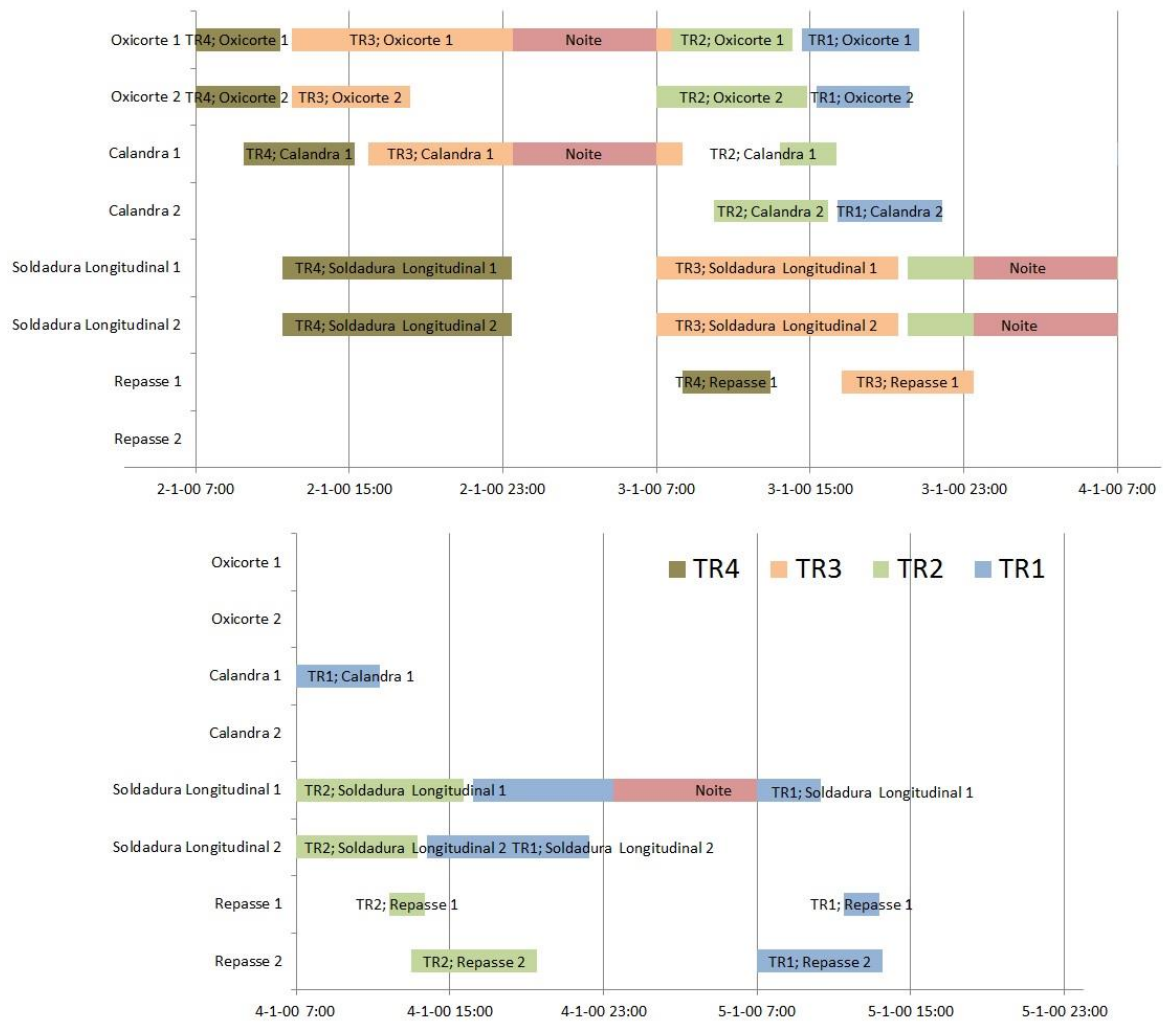


Figura AIII.2 – Escalonamento de operações com nova máquina de soldadura longitudinal

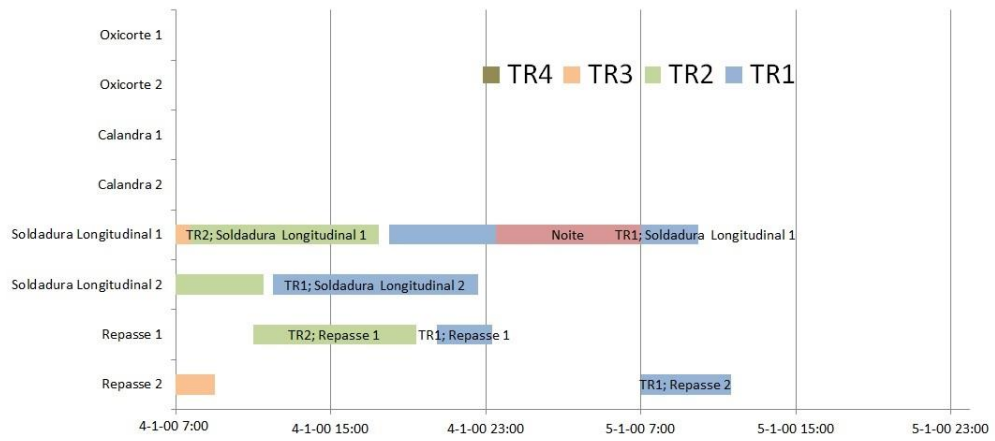
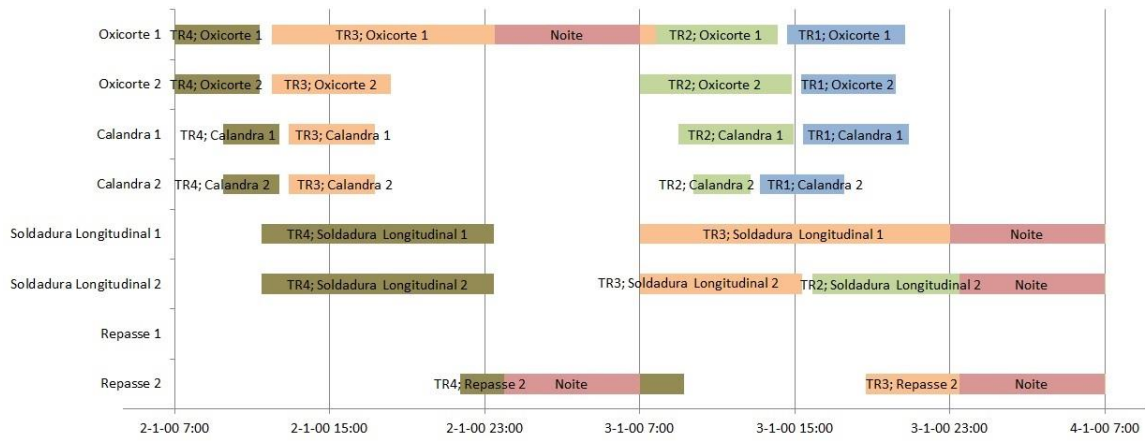


Figura AIII.3 – Escalonamento de operações com substituição da calandra e máquina de soldadura longitudinal