



Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu

Instituto Politécnico de Viseu

Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu



Dedico este trabalho aos meus pais, irmão, família, amigos e colegas de trabalho, pois só com a ajuda, apoio e compreensão de todos foi possível realizar esta dissertação.

RESUMO

Ao longo das últimas décadas assistimos ao grande desenvolvimento da indústria, desta forma as empresas conseguem que o produto final tenha mais qualidade e um custo cada vez mais reduzido. As metodologias *lean* foram implementadas no núcleo industrial e empresarial de forma crescente dando-se a rutura com o tipo de produção que era praticada na época, esta era baseada em grandes volumes e pouco flexível. Os responsáveis e engenheiros da Toyota começaram a desenvolver procedimentos e ferramentas que permitissem obter uma produção *lean*, “magra”, com zero desperdícios e altamente flexível.

Nos últimos anos um novo paradigma ganhou forma, tendo como principais objetivos a interação entre equipamentos, a recolha e análise de dados em tempo real e em qualquer lugar do planeta, marcou o início da quarta revolução industrial, esta nova metodologia foi designada pelo governo alemão de indústria 4.0.

Nesta dissertação o principal objetivo foi a reorganização do *layout* do departamento de manutenção, assim como, a melhoria do processo de gestão das *spare parts* e a criação de fluxos para a reparação de equipamentos e ferramentas. Para que tal fosse possível foi utilizada a ferramenta DMAIC, esta subdivide o processo de resolução de problemas em cinco etapas, tais como: Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar. Esta ferramenta é simples de aplicar e de fácil compreensão.

Em suma, com a aplicação desta ferramenta foi possível uma redução do número de deslocações e da distância percorrida, deste modo o tempo necessário para a sua realização também diminuiu. As *spare parts* estão mais organizadas, cada bancada de trabalho possui as peças de substituição de maior consumo. Para comprovar todas as melhorias apresentadas anteriormente verificou-se que houve um aumento da pontuação obtida nas auditorias mensais 5’S.

Palavras-chave: *Lean*, Desperdício, Indústria 4.0, DMAIC, 5’S, *Layout*

ABSTRACT

Over the past few decades we have witnessed the industry's great development, so that the quality of the end product is getting better and cheaper, the lean methodologies have started to be developed and implemented in the industrial and business core. Breaking away from the kind of production that was practiced at the time, high volume, loosely based production, Toyota managers and engineers began to develop procedures and tools that would allow for “lean”, zero waste and highly flexible production.

In recent years a new paradigm has begun to take shape, with the main objectives of equipment interaction and real-time data collection and analysis anywhere on the planet, this new methodology designated by the German Government of Industry 4.0 marked the beginning of the fourth industrial revolution.

In this dissertation the main objective was the reorganization of the maintenance department layout, as well as the improvement of spare parts management process and the creation of flows for the repair of equipment and tools. To make this possible, the DMAIC tool was used, this tool subdivides the problem solving process into five steps, Define, Measure, Analyze, Improve, Control, being a simple tool to apply and easy to understand.

The application of this tool allowed a reduction in the number of trips, the distance and consequently the time required to perform it. Spare parts are more organized, each workbench has the most consumable spare parts. Proving all the improvements presented earlier was the increase in the score achieved in the monthly 5'S audits.

Key words: *Lean*, Waste, Industry 4.0, DMAIC, 5'S, Layout

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Professor Doutor Paulo Joaquim Antunes Vaz, pelo seu apoio, orientação, total disponibilidade, todo o incentivo e ensinamentos transmitidos ao longo desta longa etapa.

Agradeço à Doutora Rosa Silva, responsável da biblioteca, pela ajuda e apoio prestado na realização desta dissertação.

Expresso ainda o meu agradecimento à empresa onde foi realizada esta dissertação, em especial ao diretor geral, ao diretor do departamento de manutenção e a todos os meus colegas da manutenção, pela ajuda dispensada, pelas ideias partilhadas e pelo apoio prestado.

Quero também agradecer à minha família, em especial aos meus pais e irmão, pela compreensão que tiveram ao longo desta etapa, pelo apoio dado e pela confiança que depositaram em mim desde o primeiro dia.

Por ultimo, mas não menos importante, expresso o meu agradecimento aos meus colegas e amigos, pelo apoio, pela total disponibilidade e acima de tudo por serem verdadeiros e grandes amigos.

A todos o meu sincero agradecimento. Muito Obrigado!

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
NOMENCLATURA.....	xvii
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura da dissertação	3
2. Enquadramento teórico	5
2.1 Metodologias <i>lean</i>	5
2.1.1 Evolução histórica	5
2.1.2 Definição do conceito.....	7
2.1.3 Os cinco princípios-chave	8
2.1.4 Os oito tipos de desperdícios	10
2.1.5 Ferramentas <i>lean</i>	12
2.1.5.1 Kaizen	12
2.1.5.2 Metodologia 5'S	13
2.1.5.3 Gestão visual.....	14
2.1.5.4 SMED	14
2.1.5.5 VSM.....	15
2.1.5.6 TPM.....	15
2.1.6 Seis sigma.....	16
2.1.6.1 Definição seis sigma.....	17
2.1.6.2 Metodologia DMAIC	18
2.2 Indústria 4.0	21
2.2.1 Evolução histórica	21

2.2.2 Definição do conceito	23
2.2.3 Implementação da indústria 4.0	24
2.2.4 Os nove pilares da indústria 4.0	25
3. Apresentação da empresa	27
4. Caso de estudo	29
4.1 Fase um – Definir (<i>Define</i>)	32
4.2 Fase dois – Medir (<i>Mesure</i>)	37
4.3 Fase três – Analisar (<i>Analyze</i>).....	44
4.4 Fase quatro – Melhorar (<i>Improve</i>)	48
4.5 Fase cinco – Controlar (<i>Control</i>)	55
5. Conclusões	61
6. Referências	63
7. Apêndices	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Princípios chave <i>lean</i> – adaptado (<i>Lean Enterprise Institute, Inc</i> , 2019).....	8
Figura 2- Casa da qualidade Toyota - adaptado (Theisens et al., 2016).....	12
Figura 3 - Cinco etapas da metodologia DMAIC.....	18
Figura 4 - As 4 revoluções industriais (Perin, Cláudio, 2019)	22
Figura 5 - Os nove pilares da indústria 4.0 – adaptado (Silva, 2017)	25
Figura 6 - Processo produtivo.....	27
Figura 7 - <i>Layout</i> inicial departamento de manutenção	30
Figura 8 - Representação gráfica das divisões da área da manutenção	31
Figura 9 - <i>Layout</i> inicial armazém de <i>spares</i>	31
Figura 10 - Compromisso com o cliente	32
Figura 11 – Objetivos propostos a atingir	35
Figura 12 - Etapas da aplicação do projeto.....	36
Figura 13 - Divisão das áreas - <i>layout</i> inicial	38
Figura 14- Divisão inicial das estantes – armazém de <i>spares</i>	39
Figura 15 - Deslocações realizadas pelo colaborador 1	40
Figura 16 - Diagrama de <i>Ishikawa</i>	46
Figura 17 - Desorganização do armazém de <i>spares</i>	47
Figura 18 - Desorganização da manutenção	47
Figura 19 - Desenho elaborado por um colaborador da manutenção	48
Figura 20 - Divisão da área da manutenção	49
Figura 21 - Disposição das bancadas após intervenção.....	51
Figura 22 - Bancada após a intervenção.....	51
Figura 23 - Primeira sugestão <i>layout</i> armazém de <i>spares</i>	52
Figura 24 - Segunda sugestão <i>layout</i> armazém de <i>spares</i>	53
Figura 25 - <i>Layout</i> final armazém de <i>spares</i>	54
Figura 26 - Deslocações realizadas pelo colaborador 1 depois da intervenção.....	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela comparativa das metodologias aplicadas pela Ford e pela Toyota - adaptado (Melton, 2005).....	8
Tabela 2 - Ferramentas e resultados do DMAIC – adaptado (Al-Aomar et al, 2015).....	20
Tabela 3 - Aplicação da ferramenta 5W1H.....	34
Tabela 4 – Cronograma da intervenção ao departamento de manutenção	37
Tabela 5 – Distância percorrida pelos colaboradores.....	40
Tabela 6 - Tempos retirados na deslocação ao armazém de <i>spares</i>	41
Tabela 7 - Cinco categorias diagrama de <i>Ishikawa</i> – adaptado (Saeger, 2015).....	45
Tabela 8 -Análise da causa raiz - 5 porquês	47
Tabela 9 - Lista de bancadas necessárias.....	50
Tabela 10 - Comparação dos pontos fortes e fracos das duas sugestões.....	54
Tabela 11 - Distância percorrida após as intervenções.....	57
Tabela 12 - Tempos recolhidos após a realização das intervenções.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Evolução histórica da pontuação obtida nas auditorias internas 5'S - Manutenção	43
Gráfico 2- Evolução histórica da pontuação obtida nas auditorias internas 5'S - armazém de <i>spares</i>	43
Gráfico 3- Pontuação obtida nas auditorias internas 5'S – ano 2019.....	58
Gráfico 4 - Pontuação obtida nas auditorias internas 5'S – ano 2019.....	59

NOMENCLATURA

TPS- *Toyota Production System*

TQS- Controlo de qualidade total

MIT- *Massachusetts Institute of Technology*

EUA – Estados Unidos da América

NVA – Atividades que não agregam valor

NNVA- Atividades necessárias, que não agregam valor

AV – Atividades que agregam valor

JIT – *Just in Time*

IoT – *Internet of Things*

DPMO- *Defects per million opportunities*

TPM- *Total Productive Maintenance*

VSM – *Value Stream Mapping*

SMED – *Single-Minute Exchange of Die*

5W1H – *5 Why's, 1 How*

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve, Control*

SAP – Sistema de gestão integrado

JIG – Ferramenta de apoio à produção

1. Introdução

1.1 Enquadramento

Alimentada pela alteração do paradigma no mundo dos negócios, mas também com aplicação em todas as tarefas do nosso dia – a – dia, o estudo e aplicação da metodologia *lean* e todas as ferramentas a ela associadas é muito requisitado nos dias de hoje. No mundo empresarial ser cada vez mais eficiente e mais competitivo é a palavra de ordem, para isso, o estudo, caracterização e eliminação dos desperdícios é fundamental. Esta metodologia teve a sua origem na Toyota em 1955, sendo inicialmente designada por *Toyota Production System* (TPS) e posteriormente batizada de *lean* pela publicação do livro “A máquina que mudou o mundo” de Womack et al., 1990.

A história da Toyota, criticada pela imprensa internacional e por estudos académicos desde do início dos anos 80, foi uma das que muitos outros fabricantes tentaram imitar/simular. Até agora, existe um consenso geral de que o sistema de produção da Toyota (TPS) e o controlo de qualidade total (TQC) forneceram uma fonte definida de vantagem competitiva, juntamente com a economia de recursos de desenvolvimento de produtos da empresa e as crescentes solicitações sociais por proteção ambiental - a Toyota permanece uma das grande empresas

mais lucrativas do Japão, internacionalmente, o seu sistema produtivo continua a ser bastante competitivo.(Fujimoto, 1999)

À medida que o pensamento *lean* continua a ser espalhado por todos os países do mundo, os líderes também adaptam as ferramentas e os princípios além da produção, à logística e distribuição, serviços, saúde, construção, manutenção e até governo. De fato, a consciência e os métodos *lean* estão apenas a começar de criar raízes entre os gerentes seniores e os líderes de todos os setores atuais.(Lean Enterprise Institute,Inc, 2019)

No presente século a indústria está novamente em revolução e evolução, surgindo assim a 4ª revolução, ou indústria 4.0. O termo indústria 4.0 refere-se a uma evolução tecnológica, desencadeada, principalmente pela entrada da internet nos processos industriais, com o objetivo de garantir a conectividade e integração entre itens utilizados diariamente nas empresas como máquinas, softwares e banco de dados. A ideia é que, com o passar dos tempos, os mundos físico e digital se unam, através de dispositivos inteligentes que se entendam, comuniquem entre si e reajam ao ambiente externo.(Silva, 2017)

Como tal, a empresa visada nesta dissertação não é exceção, mantendo o foco na redução das ineficiências e nos desperdícios com a aplicação das metodologias *lean* de modo crescente.

1.2 Objetivos

Num mundo empresarial cada vez mais competitivo e rigoroso, sendo a indústria automóvel uma das mais avançadas e competitivas do mundo, a redução dos custos associados à produção torna-se um dos principais objetivos no dia -a – dia empresarial. A empresa onde foi realizada esta dissertação dedica-se à produção de componentes em borracha e plástico para a indústria automóvel, operando na zona centro de Portugal. Seguindo esta linha de pensamento, o departamento onde foi realizado este estudo foi o departamento de manutenção.

Esta dissertação tem como principal objetivo a reorganização do *layout* do departamento de manutenção, assim como, a melhoria/ criação de fluxos e a melhoria da gestão das peças de substituição em stock (*spare parts*) para que estes objetivos sejam cumpridos foi aplicada a metodologia *lean*, assim como, as ferramentas a ela associada

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. No primeiro capítulo, intitulado de introdução, são mencionados os motivos e posteriormente os objetivos a alcançar que levaram à escolha do tema para a elaboração desta dissertação.

No segundo capítulo é feita a apresentação da empresa onde foi realizada esta dissertação. Foram também apresentados os processos de produção existentes na empresa, assim como, os componentes produzidos.

No terceiro capítulo foi elaborada a revisão bibliográfica à cerca do tema em questão, sendo primeiramente apresentada a história da metodologia *lean* e a enumeração e caracterização das ferramentas a ela associadas. A ferramenta com maior abordagem foi o DMAIC, ferramenta utilizada na reorganização do departamento de manutenção. Por último foi também feita uma pequena abordagem ao tema da indústria 4.0, tema que está a ganhar força no mundo empresarial.

No capítulo quatro retrata-se a aplicação da metodologia DMAIC no departamento manutenção e são também apresentados e discutidos os resultados obtidos com a implementação da mesma.

Por último, no capítulo cinco, são apresentadas as conclusões desta dissertação, assim como os projetos a avaliar e aplicar no futuro.

2. Enquadramento teórico

2.1 Metodologias *lean*

2.1.1 Evolução histórica

Nos mercados incertos e altamente competitivos de hoje, algumas empresas produtoras, em geral, conseguiram superar os seus rivais durante um longo período de tempo. Um dos melhores exemplos de um desempenho tão alto é a *Toyota Motor Corporation*. (Fujimoto, 1999)

O conceito *lean manufacturing* começou a ganhar forma através dos princípios introduzidos por Frederic Taylor, em 1910.

Nos anos 50 o conceito “produção *lean*” começou a ser desenvolvido. Este conceito teve início no Japão, na Toyota, sendo designado na época por *Toyota Production System* (TPS). (Theisens et al., 2016)

Com o fim da segunda guerra mundial, os japoneses da Toyota, nomeadamente Kiichiro Toyoda, Taiichi Ohni, desenvolveram o TPS (*Toyota Production System*). Os criadores olharam para o exemplo da produção em massa da Ford, sendo este um processo standardizado, pouco flexível e em grande escala. Dado que o mercado japonês não tinha capacidade de absorver todo o produto produzido pelas unidades fabris com uma produção em grande escala, os

engenheiros da Toyota adaptaram esse sistema à realidade japonesa, focando-se essencialmente na identificação dos desperdícios e na criação de métodos para a sua eliminação.

Segundo (Ohno, 1988), com a crise do petróleo no outono de 1973, seguida de uma ressecção, toda a sociedade mundial foi afetada, no entanto no sentido oposto estava a Toyota, com os maiores lucros a serem alcançados nos anos da crise e posteriores. Esses resultados alcançados fizeram com que o mundo se perguntasse o que estava a acontecer nesta última empresa.

Em 1980, uma equipa de investigadores do MIT estudou o sucesso dos produtores automóveis asiáticos, dando especial ênfase à Toyota, nesse estudo designaram *lean* ao TPS. O nome *lean* foi espalhado pela sociedade com a publicação do livro “A máquina que mudou o mundo” (Womack et al., 1990). “A máquina que mudou o mundo” comparou e contrastou o sistema de produção em massa visto nos EUA e na Europa, com o sistema de produção *lean*, visto no Japão, dentro da indústria automóvel. (Melton, 2005)

Os princípios *lean* podem adaptar-se a qualquer tipo de organização, pois, o objetivo de cada empresa é melhorar o seu desempenho, apoiando-se nos colaboradores e nos seus conhecimentos para eliminar todos os desperdícios e adaptar-se às realidades em ambientes específicos. (Corbett, 2007)

Desde o início da década de 80, muitas empresas começaram a desenvolver sistemas de produção baseados no *Toyota Production System*, sendo considerado como a referência a seguir. Atualmente, as empresas mais eficientes são aquelas que aplicaram e implementaram de forma consistente a filosofia e os princípios *lean*, continuando a Toyota a ser uma das empresas mais eficientes do mundo.

À medida que o pensamento *lean* continua a ser divulgado por todos os países do mundo, os líderes também vão adaptando as suas ferramentas e os princípios para além da produção, na logística e distribuição, nos serviços, na saúde, na construção, na manutenção e até no próprio governo. De facto, a consciência *lean* e os métodos estão apenas a enraizar-se nos diferentes líderes de todos os setores. (Lean Enterprise Institute, Inc, 2019)

2.1.2 Definição do conceito

Nas últimas décadas assistimos à grande evolução da indústria, com o aumento da competitividade, da concorrência e da exigência do consumidor final. Como consequência, as empresas começaram a adotar novas metodologias, destacando-se a metodologia *lean*.

Segundo (Melton, 2005) “O sistema Toyota de produção foi baseado no desejo de produzir um fluxo contínuo que não dependesse de longos períodos de produção para ser eficiente. Baseou-se em torno do reconhecimento de que apenas uma pequena fração do tempo total e do esforço para processar um produto é que agrega valor ao produto final. Isso era claramente o oposto do que o mundo ocidental estava a fazer.”

Womack e Jones recomendam que gerentes e executivos que estão envolvidos em transformações *lean* pensem em três questões fundamentais que devem orientar a transformação de toda a organização:

Objetivo: Quais os problemas do cliente que a empresa poderá resolver para alcançar seu próprio objetivo de crescimento/desenvolvimento?

Processo: Como é que a organização avaliará cada fluxo de valor principal para garantir que cada etapa seja valiosa, capaz, disponível, adequada, flexível e que todas as etapas estejam ligadas por fluxo, extração e nivelamento?

Pessoas: Como a organização pode garantir que todo processo importante tenha alguém responsável por avaliar continuamente esse fluxo de valor em termos de objetivo de negócios e processo enxuto? (Lean Enterprise Institute, Inc, 2019)

Em resumo, a metodologia *lean* tem como principal objetivo a redução de custos, o aumento da qualidade do serviço e dos produtos, assim como, o aumento da produtividade. É possível melhorar estes identificadores eliminando todos os desperdícios encontrados, aplicando os modelos que melhor se adaptem à realidade da empresa. Na tabela 1, temos um quadro comparativo dos pilares do processo de produção em massa, desenvolvido por Henry Ford e da metodologia *lean*, desenvolvido pela Toyota.

Tabela 1 – Tabela comparativa das metodologias aplicadas pela Ford e pela Toyota - adaptado (Melton, 2005)

	Produção em grande escala	Produção lean
Criador	Henry Ford	Toyota
Pessoas - gestão	Profissionais qualificados	Equipas de trabalhadores de diferentes áreas e formação em todos os níveis da organização
Pessoas- produção	Profissionais sem qualificação ou com alguma qualificação	Equipas de trabalhadores de diferentes áreas e formação em todos os níveis da organização
Equipamento	Caro, máquinas específicas para cada passo	Sistemas manuais e automatizados que podem produzir grandes volumes com grande variedade de produtos
Métodos de produção	Grandes volumes de produtos standard	Produtos personalizados pelo cliente
Filosofia organizacional	Hierarquia – gestão tem a responsabilidade	Fluxos de valor usando níveis adequados de poder - empurrando a responsabilidade para baixo na organização
Filosofia	Objetivo do “suficientemente bom”	Objetivo “perfeição”

2.1.3 Os cinco princípios-chave

Os cinco princípios-chave das metodologias *lean* formam um ciclo, ou seja, o processo de identificação de desperdícios, da análise e da melhoria desses processos é um processo contínuo, como demonstrado na figura 1.

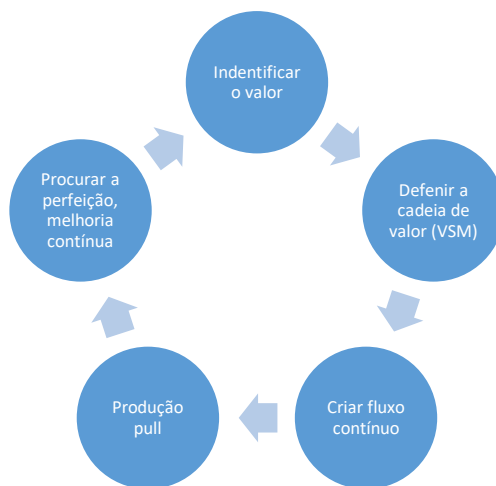


Figura 1 - Princípios chave *lean* – adaptado (Lean Enterprise Institute, Inc, 2019)

Identificar o valor - O ponto de partida para o pensamento *lean* é a identificação do valor. O valor só pode ser definido pelo cliente final. E isso só é significativo quando expresso em termos de um produto específico (um bem ou um serviço e, muitas vezes, ambos em simultâneo), que atende às necessidades do cliente a um preço específico num determinado horário. (Womack & Jones, 2013)

Definir a cadeia de valor e eliminar o desperdício – Segundo (Hines & Taylor, 2000) as atividades produtivas dividem-se em três tipos:

1. Atividades que não agregam valor (NVA);
2. Atividades necessárias, que não agregavam valor (NNVA);
3. Atividades que agregam valor (AV).

As atividades que não adicionam valor ao produto final, são consideradas as atividades onde estão concentrados os desperdícios, podendo ser eliminadas do processo. Alguns exemplos dessas atividades são, o tempo de espera, a criação de stocks intermediários, entre outras. Estas atividades são as primeiras a serem eliminadas do processo produtivo, a curto prazo. As atividades que são necessárias, mas que aos olhos do cliente final não adicionam valor ao produto final, tais como, ir ao armazém para recolher material, receber encomendas, etc. Estas atividades para serem eliminadas implicam uma grande mudança no processo produtivo da unidade fabril, sendo normalmente eliminadas a longo prazo. Por fim, as atividades que acrescentam valor, são todas aquelas que o cliente consegue identificar no produto final.

- **Criar fluxo contínuo entre operações** – Compreende a criação de um fluxo de produção em contínuo, sem falhas e com níveis de stocks de produto final reduzidos.
- **Produção Pull** – Consiste em produzir o produto no momento em que o cliente final o pretender. Com este conceito os stocks de produto acabado são reduzidos ao mínimo, podendo ser nulos, reduzindo por consequência os custos de produção.
- **Procurar a perfeição, melhoria continua** – Princípio essencial para a eliminação dos desperdícios, o foco da empresa tem de estar direcionado na busca da perfeição.

2.1.4 Os oito tipos de desperdícios

“Uma das atividades mais importantes dentro dos programas *lean* é a identificação e eliminação do desperdício” (Theisens et al., 2016). Este princípio contribui para a redução do investimento da organização em atividades que não são importantes, que não agregam valor, na produção do produto final.

Tendo como principal objetivo identificar e eliminar os desperdícios, a metodologia *lean* classifica os desperdícios em 8 tipos:

- 1- **Sobreprocessamento** – operações desnecessárias ou retrabalho feito na fabricação do produto final.
- 2- **Excesso de stock** – O stock é um custo permanente para a empresa, este é o primeiro desperdício a ser eliminado de acordo com a metodologia *lean*. Elevado stock prende-se por três fatores:
 - Planeamento da produção deficitário
 - Instabilidade do mercado
 - Fraco balanceamento do processo produtivo
- 3- **Movimento** – Movimentos desnecessários não acrescentam valor ao produto final. Um *layout* bem organizado permite uma redução substancial desses movimentos.
- 4- **Transporte** – Os fatores que estão associados ao transporte desnecessário de matérias-primas, produto acabado, são idênticos aos enunciados no desperdício “movimentos”.
- 5- **Tempo de espera** – A redução ou até mesmo a eliminação do tempo de espera é essencial para a redução dos custos associados à produção do produto final. Por exemplo:

- Balanceamento das linhas
- Avarias
- Faltas de material
- Atrasos na produção

6- **Produção em excesso** – Elevado número de operações para a produção do produto final, sendo algumas delas desnecessárias para a conceção do mesmo.

7- **Defeitos/falhas** – Produção que não esteja de acordo com os requisitos impostos pelo cliente final, podendo ser muito penalizadores para a empresa se o produto chegar ao cliente. Os defeitos/ falhas podem acontecer devido aos seguintes fatores:

- Falta de padrões de inspeção
- Falha humana
- Ausência de *Poka-Yoke*

8- **Utilização do potencial humano** – Má gestão dos recursos humanos disponíveis implica uma fraca utilização das potencialidades dos trabalhadores.

Sendo a palavra de ordem a procura e a eliminação dos desperdícios, redução de custos e o aumento da qualidade do produto final, os cinco princípios são sustentados por ferramentas/ metodologias desenvolvidas para o efeito. A figura 2 resume e apresenta os pilares do *lean manufacturing*.

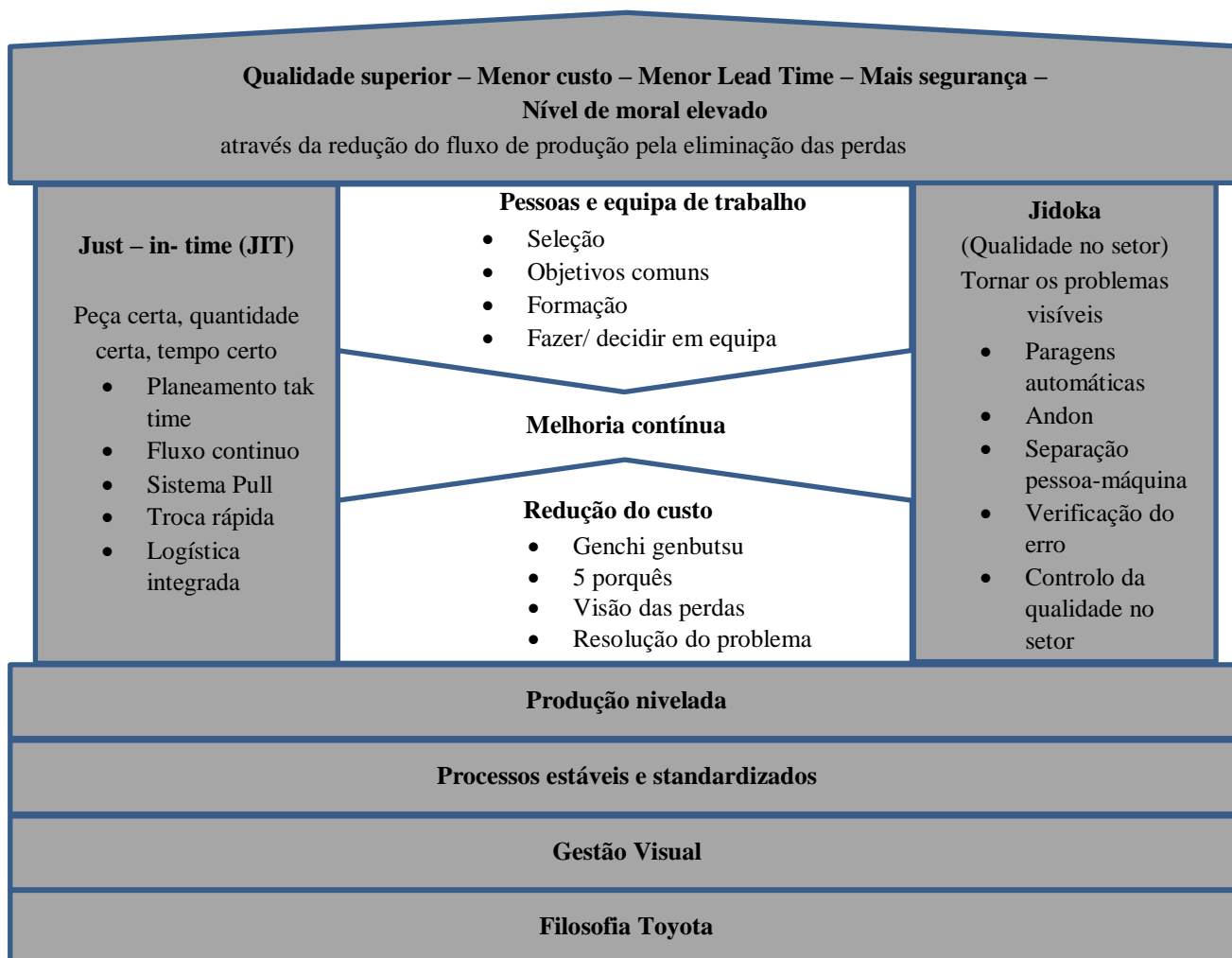


Figura 2- Casa da qualidade Toyota - adaptado (Theisens et al., 2016)

2.1.5 Ferramentas *lean*

2.1.5.1 Kaizen

Kaizen é a prática da melhoria contínua. Esta ferramenta foi originalmente introduzida no Oriente por Masaaki Imai, com o seu livro “*Kaizen: The Key to Japan’s Competitive Success*”, em 1986. Hoje o *kaizen* é reconhecido em todo o mundo como um importante pilar da estratégia competitiva de longo prazo para as organizações. *Kaizen* é a melhoria contínua baseada em certos princípios orientadores, tais como:

- Processos consistentes conduzem aos resultados desejados;
- Ver por si mesmo para compreender a situação atual;
- Falar com dados e gerir com base em factos;

- Tomar medidas para conter e corrigir as causas raiz dos problemas;
- Trabalhar como equipa;
- Kaizen aplica-se a todos. (Kaizen Institute, 2019)

A prática do *kaizen* visa o bem não apenas da empresa, mas do homem que nela trabalha. Parte do princípio que o tempo é o melhor indicador de competitividade, além de atuar, de reconhecer e de eliminar os desperdícios existentes na empresa, quer em processos produtivos, quer na manutenção de máquinas ou mesmo em processos administrativos. (Imai, 1991)

2.1.5.2 Metodologia 5'S

Uma prática de qualidade simples e poderosa, o 5'S ajuda a identificar e eliminar o desperdício no local de trabalho. Também ajuda a estabelecer e manter um ambiente produtivo e de qualidade numa organização. Obriga as empresas de serviços a analisar questões que geralmente são negligenciadas. (Sarkar, 2006)

A metodologia 5'S tem como princípios base 5 palavras japonesas, *Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu* e *Shitsuke*. Em seguida é apresentada a definição de cada S segundo (Imai, 1997).

***Seiri* (triagem):** todos os equipamentos e materiais presentes no local de trabalho devem ser os necessários para o dia-a-dia. Todos aqueles que não são necessários num futuro imediato devem ser alvo de uma triagem e retirados daquele local. Deste modo, apenas se encontra no local de trabalho tudo aquilo que é de extrema necessidade para a realização das tarefas diárias;

***Seiton* (arrumação):** deve ser determinado um local de arrumação para cada material e equipamento. Assim, quando estes forem necessários numa tarefa diária, a sua requisição é fácil e elimina-se o tempo de procura do mesmo;

***Seiso* (limpeza):** equipamentos, materiais, piso e paredes devem encontrar-se sempre limpos;

Seiketsu (normalização): recorrer a símbolos visuais com o intuito de facilitar e interiorizar as rotinas diárias dos S precedentes. Constitui o quarto procedimento das práticas 5S;

Shitsuke (disciplina): é necessário que haja disciplina e que todos os envolvidos no cenário laboral cumpram todas as regras e mantenham os quatro S precedentes.

2.1.5.3 Gestão visual

A disseminação da filosofia *lean* (que utiliza a gestão visual, mapeamento do fluxo de valor e outros mecanismos visuais) ajudou a destacar a relevância da gestão visual, tendo como finalidade, a utilização de meios rápidos e simples que informem os envolvidos sobre o processo e permita que estes colaborem com a organização, bem como com a suas operações e projetos. (Teixeira, 2018)

A gestão visual consiste na utilização de meios visuais que permitam conhecer instantaneamente qual a situação das operações e tomar de imediato as decisões necessárias. Como exemplo temos a afixação de indicadores na forma gráfica, códigos de cores, níveis de stock, sinalização na unidade fabril, instruções de trabalho. (ATEC- Academia de formação, 2018)

2.1.5.4 SMED

SMED, sigla para *Single-Minute Exchange of Die*, é uma teoria e técnicas para executar operações de *setup* em menos de dez minutos. O método SMED foi desenvolvido pelo Sr. Shingo desde 1950 no Japão. (Bendre, 2015) Esta ferramenta permite a diminuição dos tempos *setup*, tempo necessário para que seja efetuada a troca de ferramenta entre lotes de produção.

A redução do tempo é importante porque melhora a eficácia de todo o equipamento, contribui para a implementação de programas de produção nivelada, ajuda a reduzir o *stock* de produto finalizado, dá suporte à metodologia – “Fluxo de Produção”, contribui para a eliminação das perdas e desperdícios, além de aumentar a capacidade da máquina e melhorar a sua qualidade. (Sugai et al., 2007)

Benefícios da redução do tempo de *setup*:

Segundo (Bendre, 2015), os benefícios que são obtidos com a implementação desta ferramenta são:

- Tamanho do lote de produção reduzido;
- Redução de stocks;
- Redução do custo do trabalho de instalação;
- Redução de possíveis problemas de qualidade;
- Aumento de produtividade;
- Aumento da capacidade de produção;
- Melhoria da flexibilidade.

2.1.5.5 VSM

Um fluxo de valor são todas as ações (tanto de valor agregado, quanto de não agregado) atualmente necessárias para promover um produto através dos principais fluxos essenciais a cada produto: o fluxo de produção da matéria-prima para os braços do cliente e o fluxo do projeto a partir do conceito a ser lançando. (Rother & Shook, 2003)

Os mapas do fluxo de valor refletem uma visão ampla do processo, geralmente do fornecedor externo ao cliente externo de uma determinada instalação. Mapas de fluxo de valor alargados têm uma visão ainda mais ampla e geralmente incorporam fornecedores e distribuidores de nível dois e três. (Lee & Snyder, 2006)

2.1.5.6 TPM

Manutenção Produtiva Total (TPM) são atividades de manutenção produtivas e implementadas por todos os funcionários. O TPM envolve todos na organização, desde operadores até à gestão de topo, na melhoria de equipamentos. Ela abrange todos os

departamentos, incluindo: manutenção, operações, instalações, engenharia de projeto, engenharia de construção, stock e lojas, compras, contabilidade e finanças e a gestão de instalações. (Wireman, 2003)

(Nakajima, 1988) define cada letra da ferramenta TPM por:

T- Total

Eficiência global;
Rendimento total dos equipamentos;
Abrangência de todo o ciclo de vida dos equipamentos;
Participação de todos os colaboradores da empresa.

P- Produtividade

Máximo de eficiência do sistema de produção;
Zero acidentes;
Zero defeitos.

M- Manutenção

Conservar os equipamentos;
Apresentar melhorias e conservá-las.

Sintetizando, o objetivo da manutenção produtiva é maximizar a eficácia da unidade fabril e do equipamento, para alcançar ciclos ideais de vida útil do equipamento de produção. (Agustiady & Cudney, 2016)

2.1.6 Seis sigma

Nos anos 80 a Motorola, assim como outras empresas europeias, estavam a ter dificuldades em combater a concorrência das empresas japonesas, oferecendo produtos com qualidade a preço mais reduzido. De modo a combater a concorrência e a melhorar a qualidade dos produtos oferecidos, a Motorola desenvolveu uma nova metodologia.

A metodologia seis sigma foi lançada pela Motorola em 1987. Em 1988, quando a Motorola conquistou o prémio *Malcolm Baldrige National Quality Award*, o seis sigma tornou-

se reconhecido como a razão do sucesso da empresa. Entre os anos 80 e 90, a Motorola obteve ganhos de 2,2 mil milhões de dólares, como resultado da aplicação deste modelo. (Drohomeretski et al., 2014)

O seis sigma foi uma maneira da Motorola expressar sua meta de qualidade de 3,4 defeitos por milhão de peças produzidas (DPMO), onde uma oportunidade defeituosa é uma falha no processo que é crítica para o cliente. A Motorola estabeleceu essa meta para que a variabilidade do processo seja ± 6 sigma da média. (Breyfogle et al., 2001)

Em 1999, a General Eletrics registou 2 mil milhões de dólares em poupanças atribuíveis ao seis sigma, apresentado no relatório anual de 2001. Eles discutiram a conclusão de mais de 6.000 projetos seis sigma e sua probabilidade de gerar mais 3 mil milhões de dólares em poupanças, segundo estimativas conservadoras. Outros pioneiros do seis sigma incluem: Bank of America, Honeywell, raytheron, DuPont, Brunswick Corporation, Borusan, EDS, Shaw Industries, Smith & Nephew, Wildcard Systems, Idex, Starwood (Westin, Sheraton, Meridian) e Bechtel. (Stern, 2016)

2.1.6.1 Definição seis sigma

O seis sigma é uma implementação rigorosa, focada e altamente eficaz de princípios e técnicas de qualidade comprovada. Incorporando elementos do trabalho de muitos pioneiros da qualidade, o seis sigma visa o desempenho comercial praticamente sem erros. Sigma, σ , é uma letra do alfabeto grego usada por estatísticos para medir a variabilidade em qualquer processo. O desempenho de uma empresa é medido pelo nível sigma de seus processos de negócios. Tradicionalmente, as empresas aceitavam três ou quatro níveis de desempenho sigma como norma, apesar desses processos criarem entre 6.200 e 67.000 problemas por milhão de oportunidades! O padrão seis sigma, de 3,4 problemas por milhão de oportunidades, é uma resposta às crescentes expectativas dos clientes e à crescente complexidade dos produtos e processos modernos. (Pyzdek, 2000)

Dessa forma, os processos que atendem aos padrões seis sigma apresentam uma probabilidade de 99,99966% de perfeição, de acordo com as distribuições normais apresentadas estatisticamente. Por conta disso, os projetos seis sigma estão voltados para a criação ou modificação de processos, diferentemente da abordagem tradicional de projetos, quando a

ênfase é dada sob o aspeto de produtos. Normalmente, o desenvolvimento desse tipo de projeto pode ser dividido em cinco fases, de acordo com o ciclo DMAIC. (Brain Engenharia, 2017)

2.1.6.2 Metodologia DMAIC

O DMAIC é uma estratégia de qualidade, que pertence à base da metodologia seis sigma, esta baseia-se nos dados recolhidos para melhorar os processos. A metodologia DMAIC seleciona um problema que foi identificado pela organização e utiliza um conjunto de ferramentas e técnicas de uma maneira lógica, de modo a atingir soluções sustentáveis. (Shankar, 2009)

Os princípios da metodologia DMAIC fornecem definições concisas para processar os clientes, os seus requisitos e as suas expectativas. Com base nessa definição, um plano é desenvolvido para recolher todos os dados do processo e medir o desempenho, as oportunidades e os seus defeitos. (Al-Aomar et al., 2015)

Segundo (Aruleswaran, 2010), o DMAIC dá foco na implantação e implementação de atividades de melhoria contínua na rotina operacional, garante a execução sem falhas e produz resultados rápidos.

Esta metodologia não tem de ser obrigatoriamente utilizada na metodologia seis sigma, pode ser também utilizada como uma ferramenta independente. Esta metodologia subdivide-se em 5 etapas, definir, medir, analisar, melhorar e controlar (fig.3).

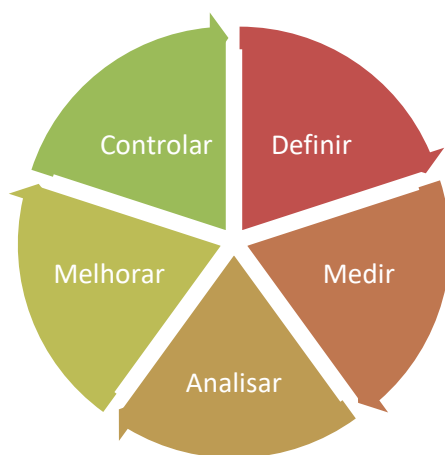


Figura 3 - Cinco etapas da metodologia DMAIC

Segundo (Pyzdek, 2000) a definição das cinco fases é apresentada em seguida:

Definir:

Defina os objetivos da atividade de melhoria. No nível superior, as metas serão os objetivos estratégicos da organização, como um maior ROI ou participação de mercado. No nível das operações, um objetivo pode ser aumentar o rendimento de um departamento de produção. No nível do projeto, as metas podem ser reduzir o nível de defeito e aumentar a taxa de transferência. Aplique métodos de mineração de dados para identificar possíveis oportunidades de melhoria.

Medir:

Meça o sistema existente. Estabeleça métricas válidas e confiáveis para ajudar a monitorizar o progresso em direção às metas definidas na etapa anterior. Comece por determinar a linha de base atual. Use a análise exploratória e descritiva dos dados para ajudar a entender os dados.

Analisar:

Análise o sistema para identificar maneiras de eliminar a lacuna entre o desempenho atual do sistema ou processo e a meta desejada. Aplique ferramentas estatísticas para orientar a análise.

Melhorar:

Melhore o sistema. Seja criativo ao encontrar novas maneiras de fazer as coisas melhor, mais barato ou mais rápido. Use a gestão de projetos e outras ferramentas de planeamento e gestão para implementar a nova abordagem. Use métodos estatísticos para validar a melhoria.

Controlar:

Controlar o novo sistema. Institucionalizar o sistema aprimorado, modificando sistemas de remuneração e incentivo, políticas, procedimentos, MRP, orçamentos, instruções operacionais e outros sistemas de gestão.

Para cada etapa desta metodologia são aplicadas diferentes ferramentas, de modo a que o problema seja bem caracterizado e que os resultados inicialmente propostos sejam alcançados. Na tabela 2 estão representadas as ferramentas que podem ser utilizadas em cada etapa do DMAIC.

Tabela 2 - Ferramentas e resultados do DMAIC – adaptado (Al-Aomar et al, 2015)

Fase de implementação DMAIC	Ferramentas	Resultados
Definir	Gráfico do projeto, Mapa do processo	Objetivos do processo, recursos, plano do projeto
Medir	Recolha de dados, amostras, indicadores	Medição da performance, validação do processo, medição da capacidade do processo
Analisar	Análise estatística, gráficos, <i>Ishikawa</i> , ANOVA	Definição das oportunidades de melhoria, planos de ação, identificação das fontes de variação
Melhorar	Validação, Otimização, Troca de ideias	Escolher as melhores soluções, ajustar as variáveis do processo
Controlar	FMEA,	Monitorizar o plano, documentação, performance estabilizada

Benefícios da aplicação do DMAIC

Segundo (Sander, 2019) as principais vantagens da aplicação do DMAIC são:

- **Maior receita**

Quando as empresas otimizam seus processos por meio do DMAIC, elas terão níveis mais altos de produtividade. À medida que começam a aumentar sua produção com menos defeitos, normalmente começam a gerar mais receita.

- **Custo reduzido**

Muitas empresas não percebem quanto tempo e recursos estão desperdiçando. O DMAIC ajuda a reduzir a quantidade de tempo e recursos desperdiçados, o que economizará dinheiro a longo prazo para o negócio.

- **Produtividade aumentada**

O único propósito de implementar o Seis Sigma é reduzir o desperdício. Isso aumentará a produtividade de uma organização, pois é capaz de produzir mais usando menos recursos.

Excelência operacional

Um desafio comum para muitos projetos de melhoria de processos e excelência operacional é que diferentes partes interessadas têm opiniões diferentes sobre o que é o sucesso.

2.2 Indústria 4.0

2.2.1 Evolução histórica

Segundo (Lasi et al, 2014), “a indústria é a parte da economia que produz bens materiais com processos e mecanismos altamente mecanizados e automatizados”. A indústria, tal como nós a conhecemos no presente, sofreu várias mutações, como representado na figura 4.

Com a invenção do primeiro tear mecânico pelo inglês Edmund Cartwright, no século XVIII, a produção deixou de ser artesanal e passou a ser automatizada. Como consequência, os lucros aumentaram e os preços de venda ao público sofrem uma forte queda, colocando assim,

a empresa em vantagem competitiva em relação à concorrência. Os proprietários das unidades fabris começaram a investir nas máquinas a vapor, dando-se assim o primeiro passo para o início da 1ª revolução industrial.

Na segunda metade do século XIX, com o fim da segunda guerra mundial, o forte desenvolvimento tecnológico aplicado às indústrias elétrica, química, metalúrgica, farmacêutica e dos transportes, deu origem à segunda revolução industrial. Foram introduzidos novos processos de fabricação do aço, ampliou-se as linhas férreas, foi inventado o carro e o avião e na área da medicina foram inventados os primeiros antibióticos, as primeiras vacinas e o estudo e compreensão das doenças que afetavam a população.

Com o fim da segunda guerra mundial, a indústria iniciou a terceira revolução industrial. Esta revolução dá-se com a entrada das tecnologias de ponta no processo de produção industrial. Começaram a utilizar-se diferentes formas de energia, os recursos informáticos foram implementados no processo industrial, um exemplo é a robotização/automação. É com a terceira revolução industrial que se dá a massificação de produtos tecnológicos, muitos deles imprescindíveis no nosso quotidiano.

No século XXI, surgiu a 4ª revolução industrial que consiste em interligar todas as máquinas e fazer com que elas comuniquem entre si e tomem decisões no processo produtivo. O conceito indústria 4.0 foi mencionado pela primeira vez na feira de Hannover, em 2011, pelo governo alemão. Segundo (Santos, 2018), a indústria 4.0 representa a evolução para sistemas ciber-físicos, representando a quarta revolução industrial no caminho para uma cadeia de valor desde o fornecedor ao cliente, com a IoT (Internet of Things) e a inteligência descentralizada na produção, logística e indústria.

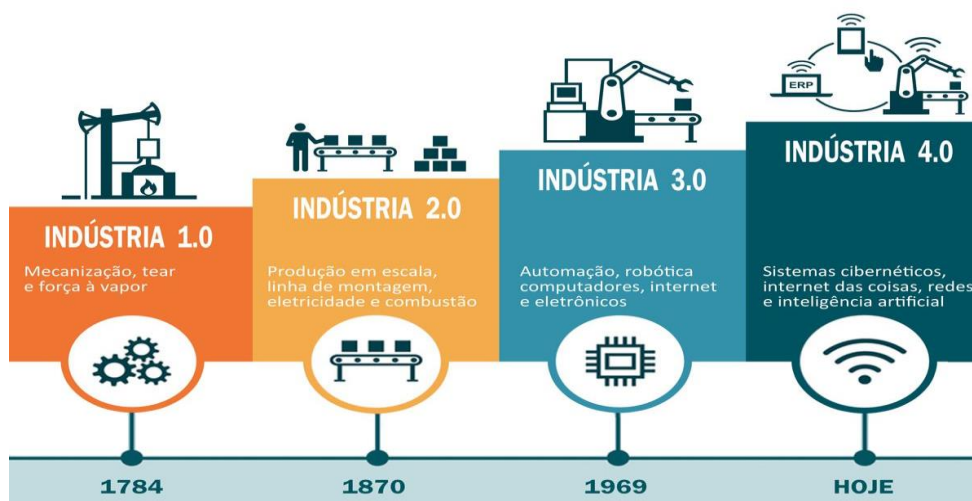


Figura 4 - As 4 revoluções industriais (Perin & Cláudio, 2019)

2.2.2 Definição do conceito

Ao longo das últimas décadas o mundo tem assistido à rápida e grande evolução tecnológica. A tecnologia nos dias de hoje está presente em todo lado, desde uma simples lanterna a uma unidade fabril com todo o processo produtivo automatizado. Ela veio tornar os nossos sonhos realidade, tornar o impossível em possível. No mundo fabril já ocorreram 3 revoluções industriais, estando neste momento a decorrer a 4ª revolução industrial.

“O avanço da tecnologia possibilita que as empresas se tornem mais competitivas à medida que conseguem adaptar os seus processos, por meio de ferramentas tecnológicas, fazendo com que as suas operações sejam mais eficientes, ágeis, confiáveis e fáceis.” (Silva, 2017).

Mas o que levou a que esta revolução se iniciasse? Segundo a *Bosh*, há uma pergunta que tem que ser respondida. O que os clientes querem no futuro? Eles exigirão uma maior diversidade de variantes e produtos mais personalizados. Assim, a produção futura deve ser capaz de se adaptar rapidamente às novas exigências do mercado. A indústria 4.0 é a resposta para esse desafio. (Bosh, 2019)

Segundo (Silva, 2017), o termo indústria 4.0 refere-se a uma evolução tecnológica, desencadeada, principalmente, pela entrada da internet nos processos industriais, com o objetivo de garantir a conectividade e integração entre itens utilizados diariamente nas empresas, como máquinas, softwares e banco de dados. A ideia é que, com o passar dos tempos, os mundos físico e digital se unam, através de dispositivos inteligentes que se entendam, comuniquem entre si e reajam ao ambiente externo.

Esta nova indústria representa a simplificação, a flexibilização das unidades fabris. Esta indústria tem por objetivo ter toda a informação em formato digital, acessível a qualquer momento, ter todos os equipamentos interligados entre si e poderem tomar decisões no processo produtivo. “Neste contexto das unidades fabris do futuro, a quarta revolução industrial (Indústria 4.0) utiliza as inovações tecnológicas para melhorar os processos produtivos através da integração de mais tecnologias de automação, controlo e informação.” (Santos et al., 2017)

2.2.3 Implementação da indústria 4.0

Segundo (Ustundag & Cevikcan, 2017) citando (Wang et al. 2016 e Acatech 2015) para uma adaptação bem sucedida do sistema à Indústria 4.0, três características devem ser tidas em conta: (1) integração horizontal nas cadeias de valor, (2) integração vertical e rede de trabalho ou sistemas de serviço, e (3) engenharia de ponta em toda a cadeia de valor.

A integração vertical requer a interligação inteligente e a digitalização de unidades de negócios em diferentes níveis hierárquicos dentro da organização. Portanto, a integração vertical permite, de preferência, a transformação para uma unidade fabril inteligente de uma maneira altamente flexível e fornece a produção de tamanhos pequenos, de lotes e produtos mais personalizados, com níveis de lucro aceitáveis. Por exemplo, as máquinas inteligentes criam um ecossistema automatizado, que pode ser dinamicamente subordinado, para afetar a produção de diferentes tipos de produtos conseguindo processar uma enorme quantidade de dados, para operar nos processos de fabricação com mais facilidade. Por outro lado, a integração horizontal obtém toda a criação de valor entre as organizações, para enriquecer o ciclo de vida do produto, usando sistemas de informação, gestão financeira eficiente e fluxo de material (Acatech, 2015). A integração horizontal e vertical permite uma maior partilha de dados em tempo real, a produtividade na alocação de recursos, unidades de negócios funcionais e um planeamento preciso, que é crucial para todos os dispositivos conectados. (Wang et al, 2016).

Todos os equipamentos para comunicarem entre si têm de ter as seguintes características, segundo (Ustundag & Cevikcan, 2017):

- Em rede, via Ethernet ou Wi-Fi, para transmissão de dados em alta velocidade;
- Fácil integração nos sistemas de comunicação das máquinas existentes;
- Processamento ótico e de imagem do posicionamento das peças;
- Controlador do robô integrado;
- Mecanismo de aprendizagem baseado na memória ou baseado em casos.

2.2.4 Os nove pilares da indústria 4.0

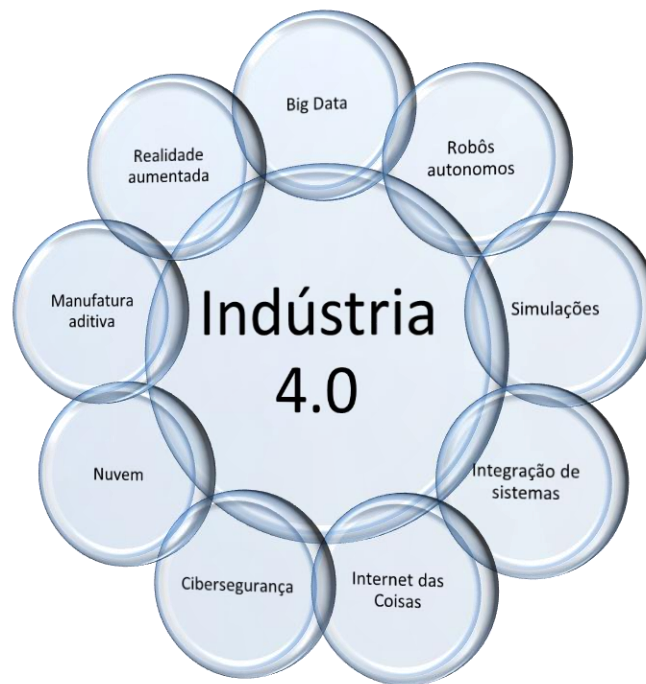


Figura 5 - Os nove pilares da indústria 4.0 – adaptado (Silva, 2017)

A Indústria 4.0 representa uma estratégia de produção em rede de alta tecnologia, sendo suportada por nove pilares, como está representado na figura 5.

1- O Big Data engloba todos os dados e informações enviadas por sensores e sistemas que estão ligados em rede. Esses dados são recolhidos para uma base de dados global, Big Data, onde são analisados, sendo possível a identificação de falhas em tempo real e em qualquer lugar do planeta.

2- Robótica/automação estão presentes no chão de fábrica há algum tempo, existindo a interação homem-máquina, sendo utilizados para lidar com trabalhos complexos. A indústria 4.0 diferencia-se com a introdução da capacidade de os robôs tomarem decisões e trabalharem sem supervisão humana.

3- Simulação 3D de produtos, materiais e processos de produção já são utilizados, podendo ser adaptados a todas as operações no chão de fábrica. A simulação permite testar

produtos e processos que ainda estão em fase de desenvolvimento, sendo possível corrigir e melhorar o produto final.

4- Sistemas integrados. Com a Indústria 4.0, empresas, departamentos e funções vão poder partilhar toda a informação entre si, sendo abrangida toda a cadeia produtiva, fornecedores, distribuidores, produtores e clientes.

5- Internet das coisas (IoT) consiste na ligação de todos os sistemas em rede, estando os dados de todo o processo acessíveis a qualquer pessoa, melhorando assim o processo produtivo. Os equipamentos trocam dados entre si, tais como a temperatura, o desempenho, prevendo eventuais falhas.

6- Cibersegurança é um pilar fundamental na indústria 4.0, pois com o crescente volume de dados recolhidos e partilhados em rede, é necessário existir regras e protocolos de segurança, para garantir a confidencialidade e a segurança dos dados e da própria empresa.

7-Nuvem ou Cloud, de modo a ser possível a utilização dos dados recolhidos em qualquer parte do mundo, esses dados estão armazenados na *cloud*, sendo também possível aceder aos equipamentos remotamente.

8- Manufatura aditiva, tais como a impressão 3D, será possível fazer protótipos e peças finais com elevado grau de personalização. Com ela, é possível fabricar pequenos lotes, elevado grau de flexibilização e capacidade de impressão de desenhos complexos. Por exemplo, as empresas aeroespaciais já estão a usar a manufatura aditiva nos novos projetos, para diminuir o peso das aeronaves.

9- Realidade aumentada consiste na interação do mundo digital com o mundo real, facilitando o processo produtivo e de manutenção. O conceito pode ser utilizado na criação de tutoriais para que o trabalhador possa seguir na linha de montagem dando todas as indicações necessárias para concluir a tarefa.

3. Apresentação da empresa

O caso de estudo que deu origem a esta dissertação baseia-se numa questão real de uma empresa multinacional, fabricante de componentes para a indústria automóvel, que emprega mais de 500 colaboradores, a operar no distrito de Viseu. A empresa está instalada numa área de 18000 m², sendo 9100 m² de área coberta. Esta unidade fabril produz componentes para o sistema de refrigeração do motor, para o sistema de ar e vácuo e também para o sistema de óleo. É uma empresa certificada pelas normas internacionais IATF 16949 (qualidade), ISO 14001 (ambiente) e OHSAS 18001 (higiene e segurança), sendo obrigatório a implementação de metodologias para nos mantermos mais competitivos e organizados. O processo produtivo está representado na figura 6, abaixo representada.

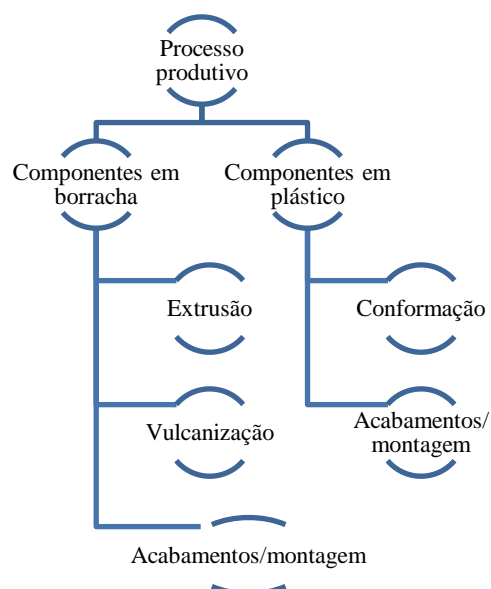


Figura 6 - Processo produtivo

A produção dos componentes em borracha começa pela extrusão da borracha, podendo ser extrudida com o diâmetro compreendido entre 1.9mm e 90mm. Terminado este processo, e cumprido o tempo necessário para a estabilização da borracha, é iniciada a segunda etapa do processo, a vulcanização. Este processo consiste na “cozedura” da borracha, através da temperatura e da pressão, para que esta adquira as propriedades requeridas, os tubos são colocados em formas, *shapes*, de modo a que seja conferida a geometria pretendida. O último processo é a montagem/acabamento, onde são adicionados componentes aos tubos de borracha, tais como, *crimp rings*, elementos metálicos, plásticos e é realizada tampografia.

Paralelamente à produção dos tubos em borracha é executado o processo de conformação de tubos em plástico. Este processo permite conferir aos tubos de plástico a geometria requerida, adicionando posteriormente componentes metálicos e plásticos.

Nos últimos anos a empresa tem vindo a crescer significativamente, tendo o seu ponto máximo no final do ano de 2018. Com este crescimento repentino não foi possível realizar a aplicação das metodologias de forma correta e organizada. De modo a não falhar o compromisso com os nossos clientes, a empresa deixou de parte a implementação destas metodologias, tendo como consequência direta o agravamento da desorganização já existente.

4. Caso de estudo

Sendo o principal objetivo desta dissertação chegar à causa raiz dos problemas já identificados, encontrar soluções para a sua resolução e implementá-las, optou-se pela utilização e respetiva aplicação da metodologia DMAIC. Esta dissertação foi desenvolvida e aplicada no departamento de manutenção de uma empresa multinacional, fabricante de componentes para a indústria automóvel, apresentada anteriormente. Este departamento é responsável pela manutenção, reparação e conservação de todos os equipamentos e ferramentas presentes na unidade fabril, de modo a garantir o total funcionamento desta unidade.

No departamento de manutenção são efetuadas reparações aos equipamentos, melhorias dos mesmos, reparação de ferramentas e fabricação de ferramentas essenciais para o processo produtivo, nomeadamente, no processo de colagem e de carimbar. Este departamento tem 18 colaboradores diretos, suportados por mão-de-obra subcontratada. O organigrama do departamento é constituído da seguinte forma: 1 diretor do departamento, 1 administrativo (compras e gestão do SAP), 1 responsável pela oficina, 6 ferramenteiros (responsáveis pela montagem das formas – vulcanização), 1 pessoa responsável pelo torno, 1 pessoa afeta à fabricação das ferramentas de apoio à produção, 1 pessoa afeta reparação dos *jig's* em madeira, 1 pessoa responsável pelas manutenções preventivas e implementação de melhorias e 5 pessoas afetas à reparação dos equipamentos e reparação de formas.

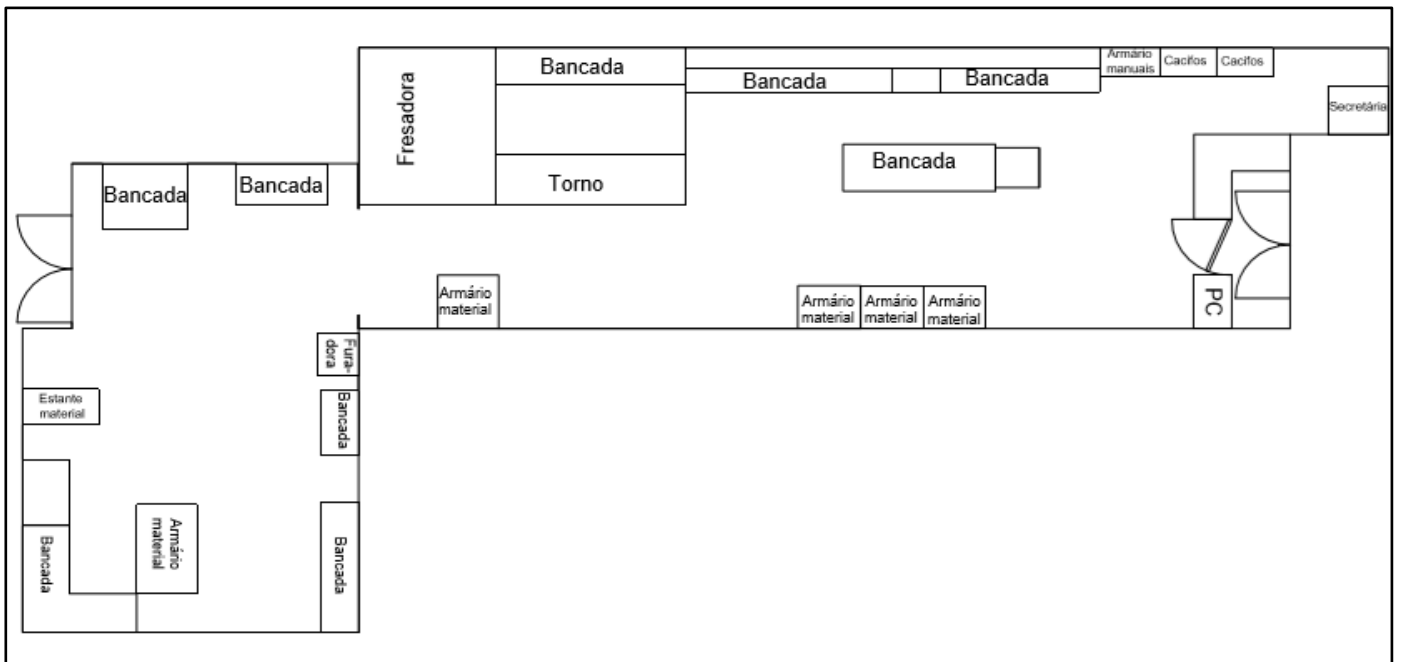


Figura 7 - *Layout* inicial departamento de manutenção

Na figura 7 está representado o *layout* inicial da manutenção. A manutenção era constituída, em termos de maquinaria, por um torno, uma fresadora, uma furadora e três máquinas de soldar, equipamentos fundamentais na fabricação de ferramentas e também na fabricação de peças para reparação de determinados equipamentos. Para além do espaço representado na figura 7 a manutenção tem em sua posse um segundo espaço, esse local está reservado para arrumação e acondicionamento de todo o material de substituição que o departamento de manutenção possui em stock. Como este espaço tem influência direta na eficiência das reparações efetuadas, e do tempo utilizado para a realização das mesmas, este espaço foi também englobado neste estudo. A área total desta intervenção é cerca de 165 m².

Devido ao facto de a unidade fabril laborar 24 horas por dia, 5 dias por semana, a implementação total do projeto tornou-se impossível de ser realizada de uma só vez. Desde o início da elaboração deste projeto ficou determinado que o projeto iria ser implementado em duas fases distintas. Na primeira fase, o espaço a ser intervencionado irá ser o local onde os colaboradores desenvolvem o seu trabalho diariamente, espaço prioritário. A sua implementação irá processar-se em duas etapas, na figura 8 está representada a divisão das áreas a intervencionar. A área 1, representada por o retângulo mais expressivo, será a primeira a sofrer alterações, sendo a área 2, o espaço restante da manutenção, posteriormente intervencionada.

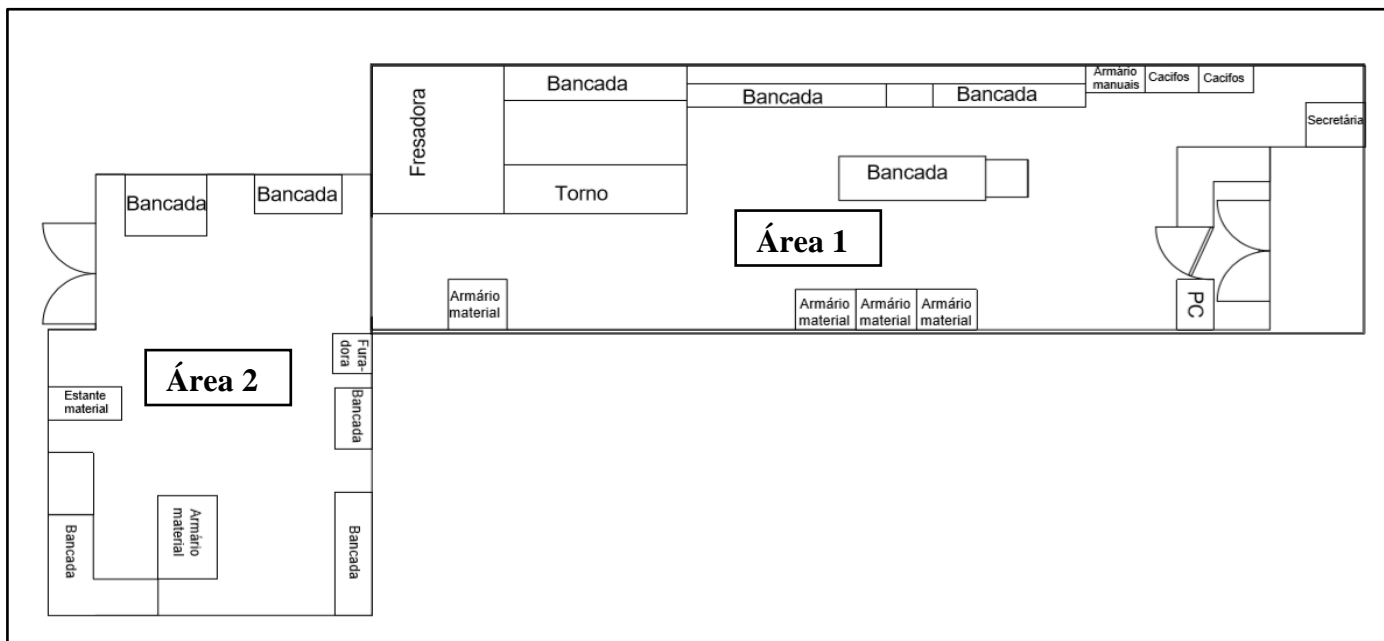


Figura 8 - Representação gráfica das divisões da área da manutenção

Na segunda e última fase, a área a ser intervencionada será o espaço reservado para arrumação de todo o material em stock, armazém de *spares*. O *layout* inicial está representado graficamente na figura 9.



Figura 9 - *Layout* inicial armazém de *spares*

4.1 Fase um – Definir (*Define*)

Como o próprio nome indica, a etapa definir é caracterizada pela definição do problema encontrado, assim como, o contexto onde se encontra o problema. São também definidos o contexto da aplicação do projeto e os seus objetivos. A fase definir começa com a identificação do problema que requer uma solução e termina com a compreensão clara da dimensão do problema e com a evidência do suporte por parte da chefia, que autoriza o avanço do projeto, com o compromisso da utilização de recursos. (Shankar, 2009)

Definição do projeto

O projeto foi desenvolvido numa multinacional, fabricante de componentes para a indústria automóvel, a operar no distrito de Viseu, sendo o seu foco principal a reorganização e otimização do *layout* do departamento de manutenção.

A voz do cliente

Apesar de este departamento não ter contacto direto com o cliente final da unidade fabril, este é considerado um departamento prestador de serviços internos. Os nossos clientes são o departamento de projeto, o departamento de processos e o departamento de produção, entre outros, sendo este último o nosso maior e mais importante cliente. Tendo como principal objetivo a prestação de serviços de qualidade ao cliente, garantindo assim a sua satisfação, foram definidos padrões de qualidade, representados na figura 10.

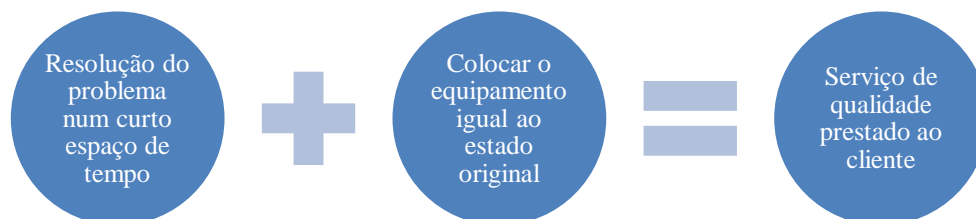


Figura 10 - Compromisso com o cliente

Definição do problema

O serviço prestado ao cliente era normalmente prestado de forma demorada e muitas das vezes não era possível a conclusão da intervenção devido à falta de material. Num contexto em que todos os segundos sem produzir contam e as intervenções realizadas, ou falta delas, interferem diretamente com a satisfação e com o cumprimento dos objetivos do cliente, é essencial a implementação de ações de melhoria dos processos e metodologias internas. Para além deste problema, é notória a não organização do espaço destinado ao departamento de manutenção e do espaço reservado para o armazenamento do material que é consumido, implicando que a gestão de stocks seja feita diariamente e de modo visual, aumentando o risco de falha.

Sendo o departamento de manutenção responsável pela reparação e manutenção de todos os equipamentos e ferramentas existentes, e laborando 24h por dia, é imprescindível ter stocks de segurança de peças críticas para garantir o seu funcionamento a 100%. É no armazém de *spares* que são armazenadas as peças de substituição ou *spare parts*. Com o passar dos anos, e o acumular de diferentes tipos de peças e materiais, o nível de desorganização e acumulação de peças obsoletas foi aumentando significativamente.

A unidade industrial tem implementada a ferramenta TPM (*Total Productive Maintenance*). Um dos pilares fundamentais para a correta e eficaz aplicação desta ferramenta é a ferramenta 5'S. Esta ferramenta é auditada mensalmente, através de auditorias internas, a todos os departamentos existentes na unidade fabril. Os auditores têm de seguir uma *check-list* e verificar se esses pontos estão conformes, ou não conformes, sendo posteriormente dada uma pontuação a cada item da *check-list*. Historicamente, a pontuação obtida nas auditorias realizadas no departamento de manutenção foi sempre média, tendo uma pontuação média de 77%, sendo muitas vezes referenciada como ponto negativo nas auditorias externas.

Ferramenta 5W1H

Sendo necessária uma boa caracterização do problema, para que seja bem compreendido e que as soluções encontradas tenham o impacto desejado, recorreu-se à utilização da ferramenta “5W1H”. Este método consiste em fazer um conjunto sistemático de perguntas de modo a recolher todos os dados necessários para elaborar um relatório do estado atual, com o objetivo de identificar a verdadeira natureza do problema e descrever precisamente o contexto.

(Humanperf, 2018). Esta ferramenta consiste na colocação de perguntas de modo a obter informações importantes, informações-chave, que serão úteis na fase de planeamento do projeto. O nome “5W1H” provém das siglas em inglês What (O quê?), Why (Porquê?), Where (Onde?), When (Quando?), Who (Quem?), How (Como?).

- **What (O quê?)** – Descreve o que será feito;
- **Who (Quem?)** – Define quem são os intervenientes;
- **When (Quando?)** – São definidos os prazos de execução do projeto;
- **Where (Onde?)** – É definido o local de execução do projeto;
- **Why (Porquê?)** – São caracterizadas as razões que levaram à equação do projeto;
- **How (Como?)** – São definidas as atividades a serem realizadas para a execução do projeto.

Com a aplicação desta ferramenta foi possível elaborar a tabela 3, abaixo representada, com todas as informações essenciais para que o estudo e planeamento do projeto seja iniciado.

Tabela 3 - Aplicação da ferramenta 5W1H

O quê?	Intervenções demoradas, impossibilidade de concluir as intervenções por falta de material, excesso de movimentações feitas e baixa pontuação obtida nas auditorias internas 5'S.
Quem?	Departamento de manutenção.
Quando?	Desde 2017.
Onde?	No departamento de manutenção de uma empresa multinacional, fabricante de componentes para a indústria automóvel.
Porquê?	Número de movimentações elevadas para a execução de tarefas simples, perda de tempo à procura do material pretendido, inexistência de inventário de material e pontuação média nas auditorias internas 5'S.

Definição dos objetivos do projeto

Após a recolha de toda a informação, foram definidos os objetivos a serem alcançados com a implementação do projeto, representados na figura 11.

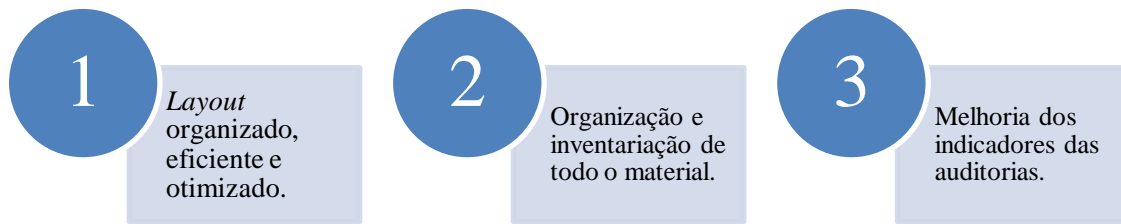


Figura 11 – Objetivos propostos a atingir

Para que o departamento de manutenção preste um serviço de qualidade aos seus clientes, é essencial que estejam garantidos à priori o cumprimento dos objetivos propostos anteriormente.

Primeiro objetivo, ter um *layout* organizado, eficiente e otimizado, para que a manutenção funcione a 100% da sua capacidade, com total segurança, realizando intervenções com o menor tempo possível e com qualidade. Para que o trabalho seja bem executado, e em segurança, é necessário dotar a manutenção com um espaço organizado, ferramentas e maquinaria necessária, onde qualquer colaborador possa reparar o equipamento sem ter que perder tempo a andar à procura do material que precisa e a fazer deslocações desnecessárias.

O segundo objetivo tem impacto direto no primeiro, pois a manutenção vive essencialmente de reparação de equipamentos, e para essa reparação, na maior parte das situações, é necessário que sejam substituídos alguns componentes. Uma boa gestão do material em *stock* torna-se essencial para que o processo de produção não pare ou que trabalhe de forma parcial. Para isso, é necessário identificar e organizar todo o material presente na unidade fabril, fazer uma triagem do que é útil e do que pode ser dispensado, e garantir sempre um *stock* mínimo de segurança, sendo essencial o uso da ferramenta SAP (sistema integrado de gestão) para um controlo mais rigoroso e eficaz.

O terceiro e último objetivo está totalmente dependente do cumprimento dos objetivos anteriores. As auditorias 5'S são um indicador muito importante para a empresa, sendo prioritário a obtenção da pontuação máxima de 100% nos indicadores propostos.

Como referido na parte inicial, o departamento de manutenção tem um espaço separado, destinado ao armazenamento de material de substituição. Este espaço também se apresentava desorganizado e sem inventário de material realizado. Com a reestruturação e organização deste espaço, vai-nos permitir alcançar o segundo e o terceiro objetivos propostos, a organização do material em *stock* e o aumento da pontuação obtida nas auditorias internas 5'S, respetivamente. Para a reestruturação e organização deste espaço foi utilizada novamente a metodologia DMAIC.

Finda a caracterização da primeira fase, o projeto vai ser dividido em duas etapas distintas, como referido anteriormente. Na primeira etapa, o espaço a ser intervencionado é a área ocupada pela manutenção, sendo esta mesma área intervencionada em dois períodos distintos. Em primeiro lugar vai ser intervencionada a área 1 onde são feitas todas as reparações aos equipamentos existentes na unidade fabril, posteriormente será intervencionada a área 2, onde é feita a reparação das formas e a fabricação de ferramentas de apoio à produção. Na segunda e última etapa, a área a ser intervencionada será o armazém de *spares*, o espaço reservado para a arrumação e acondicionamento do material em *stock*, *spare parts*. A figura 12, demonstra graficamente o processo de aplicação do projeto.

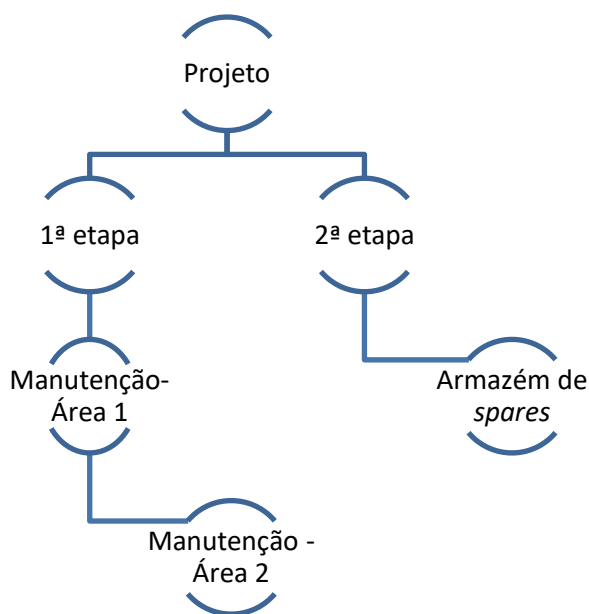


Figura 12 - Etapas da aplicação do projeto

Cronograma da implementação do projeto

Terminada a definição da estratégia de intervenção na manutenção foi definido o cronograma para a realização das intervenções. Na tabela 4 está representado o cronograma dos trabalhos a realizar. A partir do mês de abril são iniciados os trabalhos na área número 1 da manutenção. Concluída esta etapa, é iniciada a intervenção na área número 2 da manutenção, estando previsto o término dos trabalhos no final do mês de maio. A intervenção no armazém de *spares* será iniciada no início do mês de julho, tendo o seu término previsto na terceira semana de agosto. Entre a última semana do mês de maio e o início do mês de julho não está

prevista nenhuma intervenção, esta interrupção é justificada devido à preparação da paragem e às auditorias externas que estão previstas neste intervalo temporal.

Tabela 4 – Cronograma da intervenção ao departamento de manutenção

Ano	2019				
	abril	maio	junho	julho	agosto
Etapas					
Etapa 1 - Intervenção manutenção (área 1)					
Retirar todo o material e estantes existentes	■				
Fazer inventário do material	■				
Converter as bancadas existentes		■			
Colocar as novas bancadas e armários respeitando o novo layout		■			
Etapa 1 - Intervenção manutenção (área 2)					
Retirar todo o material e bancadas existentes			■		
Converter as bancadas existentes			■		
Colocar as novas bancadas e máquinas respeitando o novo layout			■		
Etapa 2 - Armazém de spares					
Retirar todo o material existente					■
Fazer inventário do material					■
Retirar as estantes existentes e converte-las					■
Colocar as novas estantes respeitando o novo layout					■

Legenda: ■ Tarefa em execução

4.2 Fase dois – Medir (*Mesure*)

Concluída a caracterização do projeto e definidos os objetivos a serem atingidos, a segunda fase da metodologia DMAIC é então iniciada. Nesta etapa são recolhidos todos os dados e informações da situação atual da manutenção na empresa. O objetivo desta fase, durante o processo seis sigma, é obter o máximo de informação possível sobre o processo atual, de modo a compreendê-lo na sua totalidade, como funciona e o quão bem ele pode funcionar. Várias ferramentas / técnicas quantitativas e qualitativas estão disponíveis para a medição. (Singh & Khanduja, 2015)

O processo de medição foi dividido em 5 etapas, elaboração do *layout* inicial da manutenção e do armazém de *spares*, elaboração do diagrama de *sphagetti*, medição do tempo gasto no trajeto manutenção – armazém de *spares* – manutenção, a elaboração de uma lista de consumíveis de maior consumo e, por último, a análise do histórico das pontuações obtidas nas auditorias 5'S.

1ª etapa – layout manutenção e do armazém de spares

Manutenção:

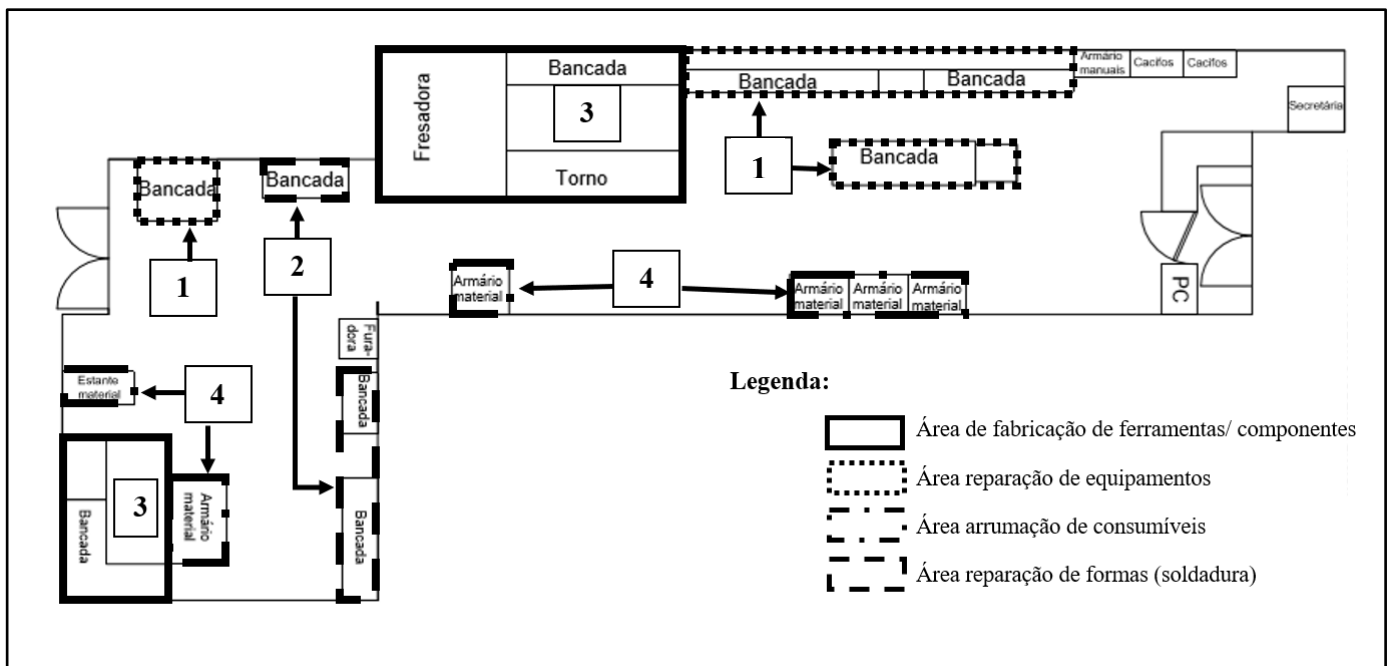


Figura 13 - Divisão das áreas - layout inicial

A figura 13, representa a disposição dos equipamentos, bancadas, armários de arrumação de ferramentas e armários para armazenamento de consumíveis. A figura 13 encontra-se também disponível no apêndice I.

Representado pelo número 1 estão as áreas destinadas à reparação de todos os equipamentos, como por exemplo, torres de colagem, máquinas de montagem de conectores e abraçadeiras, bombas de circulação e refrigeração, cabeças de tecer e *jig's* de verificação.

No espaço definido pelo número 4 estão representadas as áreas destinadas à arrumação dos consumíveis e ferramentas de apoio à reparação dos equipamentos e também na fabricação de ferramentas.

Na área representada pelo número 3 é a área onde são fabricadas as ferramentas de apoio à produção, tais como, *jig's* de colagem, *jig's* de carimbar e *jig's* para a colocação de mangas retráteis.

Por último, a área definida pelo o número 2 é o local onde são reparados os *shapes* e *formings*, ferramentas utilizadas no processo de vulcanização dos componentes em borracha e no processo de conformação dos componentes em plástico, respetivamente.

Armazém de *sparcs*

A figura 14, representa a disposição inicial das bancadas e dos armários presentes neste espaço. A imagem abaixo representada encontra-se também disponível no apêndice II.

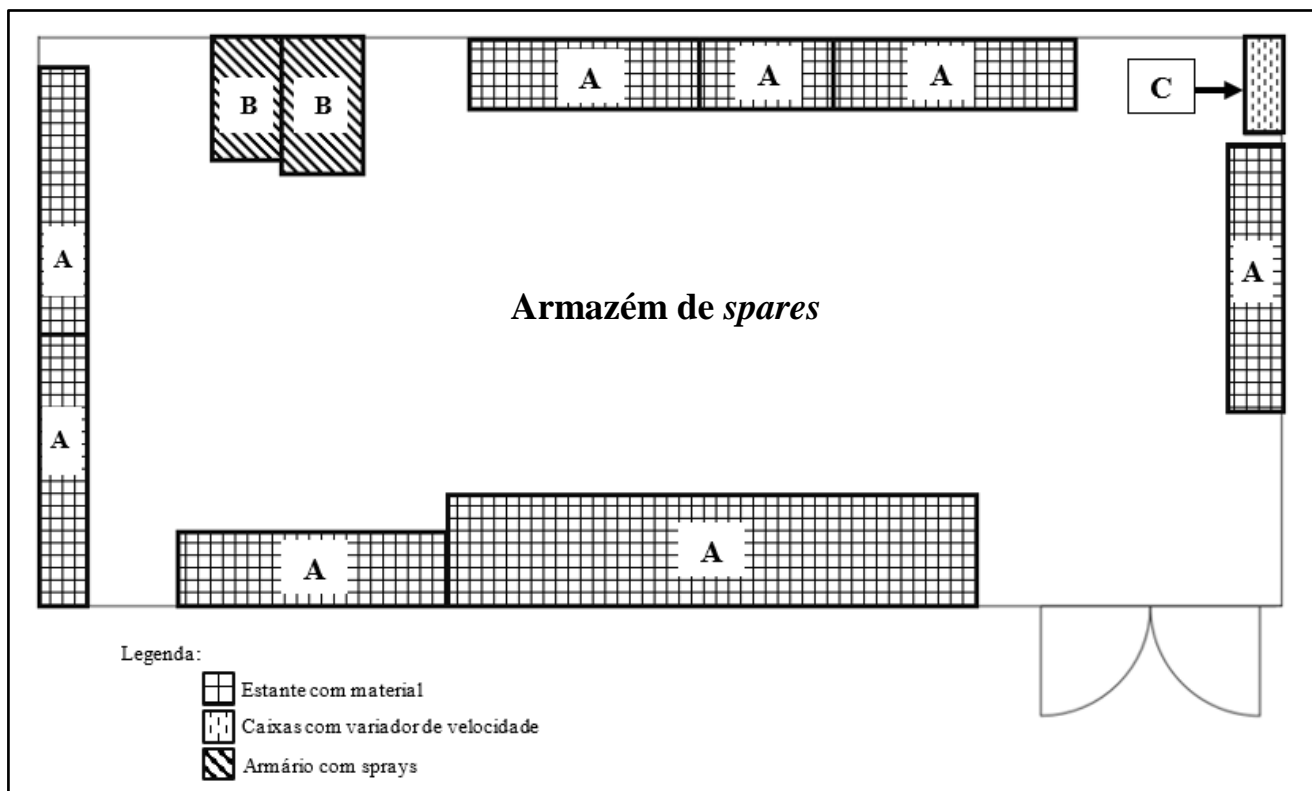


Figura 14- Divisão inicial das estantes – armazém de *sparcs*

Na área definida pela letra A estão representadas as estantes onde o material em *stock* é armazenado. Representada pela letra C está o armário onde são guardados os *sprays*. E por último, representada pela letra B, estão duas caixas onde são guardados os variadores de velocidade.

2ª etapa – Diagrama de *sphagetti*

Nesta etapa foram contabilizadas e representadas graficamente, através do diagrama de *sphagetti*, todas as movimentações feitas por um colaborador num dia normal de trabalho, de notar que a recolha dos dados foi efetuada nas áreas que estão englobadas neste estudo, todas

as deslocações efetuadas no interior da área fabril não foram consideradas. A recolha dos dados foi feita a três colaboradores escolhidos aleatoriamente, em dias e turnos de trabalho diferentes. Na figura 15, está o diagrama de *sphagetti* do colaborador 1, nos apêndices III, IV e V estão representados os diagramas com as deslocações realizadas pelos três colaboradores em estudo.

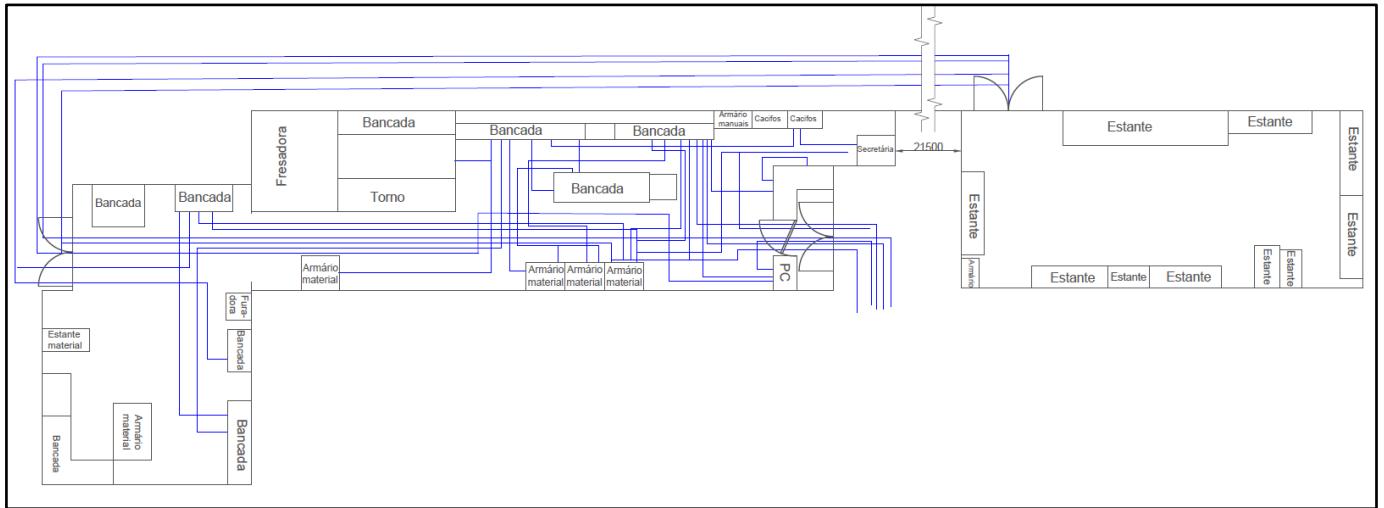


Figura 15 - Deslocações realizadas pelo colaborador 1

De modo a retratar os resultados obtidos numericamente, foi contabilizada a distância total percorrida pelos colaboradores, os valores estão representados na tabela 5.

Tabela 5 – Distância percorrida pelos colaboradores

Colaborador	Distância percorrida [m]
1	432.95
2	327.84
3	265.92

3ª etapa – Medição do tempo das deslocações ao armazém exterior

Em grande parte das intervenções realizadas era necessário realizar, pelo menos, uma deslocação ao armazém exterior (armazém de *sparcs*). A redução do tempo e do número de deslocações pode representar um ganho significativo, aumentando assim a eficiência da manutenção. Os dados presentes na tabela 6 foram obtidos através da medição do tempo que três colaboradores, de forma aleatória, demoravam a fazer o trajeto manutenção - armazém de *sparcs* – manutenção, incluindo também o tempo que necessitava para encontrar o material

necessário. Os dados foram retirados em turnos diferentes e em alturas do dia diferentes, de modo a que todas as situações fossem expressas nos dados obtidos.

Tabela 6 - Tempos retirados na deslocação ao armazém de *sparcs*

Medição	Trabalhador 1 (min)	Trabalhador 2 (min)	Trabalhador 3 (min)
1	5,25	1,25	13,56
2	10,14	4,57	2,24
3	7,51	2,6	5,99
4	5,27	1,03	4,51
5	1,59	9,24	1,24
Média	5,95	3,74	5,51
Desvio padrão	3,16	3,38	4,87

Desvio padrão

Desvio padrão de uma amostra (ou coleção) de dados, de tipo quantitativo, é uma medida de dispersão dos dados relativamente à média, que se obtém tendo em conta a raiz quadrada da variância amostral. (Martins, 2013) Na tabela 6 foi calculado o desvio padrão, sendo possível afirmar que os tempos retirados são muito dispersos, sendo o trabalhador 3 o que apresenta os valores com maior dispersão.

4ª etapa – Levantamento dos consumíveis mais utilizados para a reparação de equipamentos

Para proceder à organização do material, sentiu-se a necessidade da criação de uma listagem do material que tem maior consumo, não existindo essa listagem anteriormente, tais como:

- Joelhos ar comprimido m5 – tubo 4
- Joelhos ar comprimido m6 – tubo 4
- Cilindro pneumático
- Joelho regulador de caudal m5 – tubo 4
- Sensor Omron E2E
- Agulhas para cola
- Botão sinalização ABB
- Led's de sinalização
- Sensor Pepperl+Fuchs ml100-8h

- Seletor ABB mts1
- Sensor indutivo Telemeq pam8
- Bobine SMC v111-5lou
- Botão pressão ABB
- Sensor ótico Contrinex lhr-c23pa-pms-403
- Cabo de ligação 3 pinos
- Cabo ligação v111-5lou
- Te ar comprimido tubo 6
- Sensor indutivo Telemeq xs7f1pal01m8
- Sensor ótico Contrinex lhr-c12pa-nsv-303
- Sensor ótico Contrinex lhr-c12pa-nmv-303
- Sensor ótico Contrinex lhs-3131-303
- Parafusos de tamanhos diversos para a reparação de *jig's* de madeira

5ª etapa – Análise do histórico de resultados auditorias 5'S

A empresa adotou a utilização das auditorias 5'S de modo a controlar, a promover a melhoria e a limpeza de todos os espaços. O departamento de manutenção não é exceção, e esta metodologia também foi aplicada.

Manutenção

No gráfico 1 está representada a pontuação média anual, obtida nos últimos anos, nas auditorias 5'S. No primeiro ano de implementação da metodologia a pontuação obtida foi baixa, 62,7%. Nos anos seguintes a pontuação teve sempre tendência de subida até ao ano de 2015. A partir desse ano a tendência inverteu-se e os resultados foram piorando nos anos seguintes. Estes resultados comprovam que a manutenção estava a ficar degradada e necessitava da implementação de ações de mudança. Todos os dados recolhidos e que deram origem aos gráficos abaixo representados estão presentes no apêndice VI.

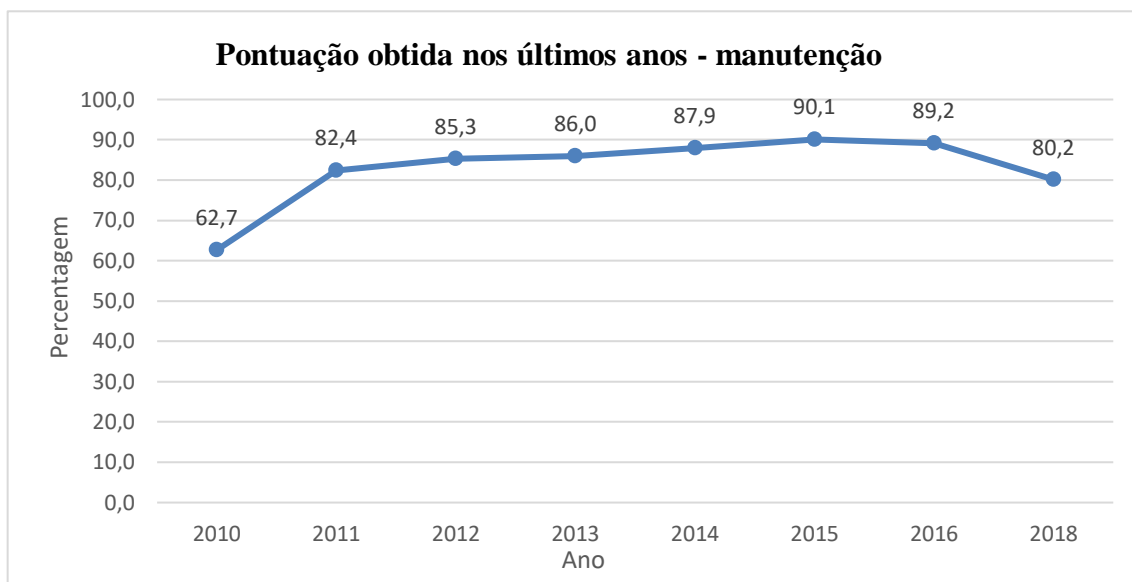


Gráfico 1- Evolução histórica da pontuação obtida nas auditorias internas 5'S - Manutenção

Armazém de *spares*

No gráfico 2, estão representados os resultados obtidos na auditoria ao armazém de *spares* desde que há registo. No início este espaço teve pontuações baixas, mais precisamente nos dois primeiros anos, tendo a pontuação mais baixa desde que há registos (46.3%), tendo em seguida a pontuação apresentado uma tendência de subida. Entre o ano de 2013 e 2016 as pontuações obtidas apresentaram uma pequena oscilação, podendo considerar-se que se mantiveram num valor constante. No ano de 2016, deu-se uma inversão tendo a pontuação seguido a tendência descendente.

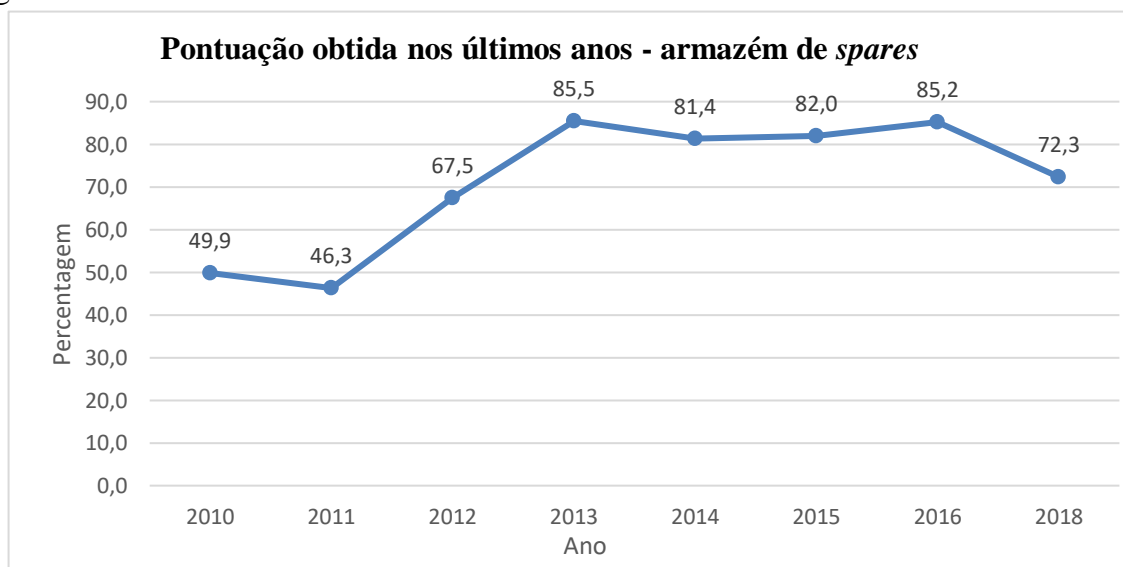


Gráfico 2- Evolução histórica da pontuação obtida nas auditorias internas 5'S - armazém de *spares*

4.3 Fase três – Analisar (*Analyze*)

Recolhidos todos os dados, seguimos para a implementação da terceira fase da metodologia DMAIC. O objetivo desta fase é usar os dados recolhidos na fase anterior para identificar, organizar e validar as potenciais causas raiz. O resultado desta fase é uma lista de causas que se mostraram responsáveis pelos defeitos ocorridos no processo. A fase de análise envolve o trabalho de detetive puro, usando as pistas dos dados obtidos para estabelecer uma hipótese, que é então testada usando ferramentas estatísticas simples ou avançadas. (Strong, 2003)

A análise dos dados foi dividida em três etapas. Na primeira etapa foi realizado um *brainstorming* com todos os colaboradores da manutenção, com o objetivo de fazer uma lista das principais dificuldades que o dia-a-dia de trabalho lhes impunha. Na segunda etapa, utilizando os dados obtidos no *brainstorming*, assim como, os dados da fase medir, fizemos um diagrama de *Ishikawa*, diagrama de causa efeito, de modo a ser encontrada a possível causa/origem do problema. Na terceira e última fase, foi utilizada a ferramenta dos cinco porquês, sendo essencial para que seja aprofundada a determinação da(s) causa(s) raiz.

1ª etapa – *Brainstorming*

Trata-se de uma técnica utilizada para auxiliar um grupo de pessoas a criar o máximo de ideias no menor tempo possível e visa ajudar os participantes a vencer as suas limitações em termos de inovação e criatividade. (Sofia Santos, 2015) Foi pedido a todos os colaboradores pertencentes ao departamento de manutenção que dessem as suas opiniões sobre as dificuldades que tinham de enfrentar no dia a dia. No apêndice VII estão presentes fotografias do estado inicial da manutenção e do armazém de *spares*.

Principais dificuldades:

- Falta de organização;
- Demasiado tempo “gasto” à procura de material;
- Inexistência de locais definidos para a colocação do material;
- Excesso de deslocações;
- Excesso de deslocações ao exterior;
- Falta de material;

- Iluminação insuficiente;
- Falta de ferramentas e material de diagnóstico;
- Falta de formação, principalmente de soldadura;
- Falta de espaço dentro da empresa.

2ª etapa – Diagrama de *Ishikawa* (Diagrama causa-efeito)

Para facilitar a análise de todas as informações recolhidas recorreu-se à aplicação do diagrama de *Ishikawa*, de modo a conseguir agrupar e sintetizar essas mesmas informações.

Segundo (Saeger, 2015), o diagrama de *Ishikawa* é uma ferramenta gráfica usada pelas empresas, que oferece uma visão global das causas criadoras de um problema e dos efeitos resultantes. Como as causas são priorizadas, é possível identificar com precisão as origens do problema.

O modelo é dividido em cinco categorias diferentes, chamadas 5Ms. As cinco categorias estão explicadas na tabela 7.

Tabela 7 - Cinco categorias diagrama de *Ishikawa* – adaptado (Saeger, 2015)

<i>5 Ms</i>	<i>Classes do diagrama de Ishikawa</i>
<i>Material</i>	Refere-se a todos os aspetos que são consumíveis ou úteis ao projeto, como matérias-primas, papel, água, eletricidade, etc.
<i>Método</i>	Inclui os procedimentos existentes, o fluxo de informações, pesquisa e desenvolvimento, modos operatórios, etc.
<i>Meio ambiente</i>	Corresponde ao ambiente, que pode ter um impacto no projeto (local de trabalho, espaços verdes, etc.)
<i>Máquina</i>	Diz respeito ao equipamento necessário para o projeto. Por exemplo: instalações, peças sobressalentes, equipamentos, hardware, software, tecnologia, maquinaria ou equipamento fabril. Essa categoria geralmente requer investimento.
<i>Operador</i>	Refere-se aos recursos humanos envolvidos no projeto e às qualificações da equipa.

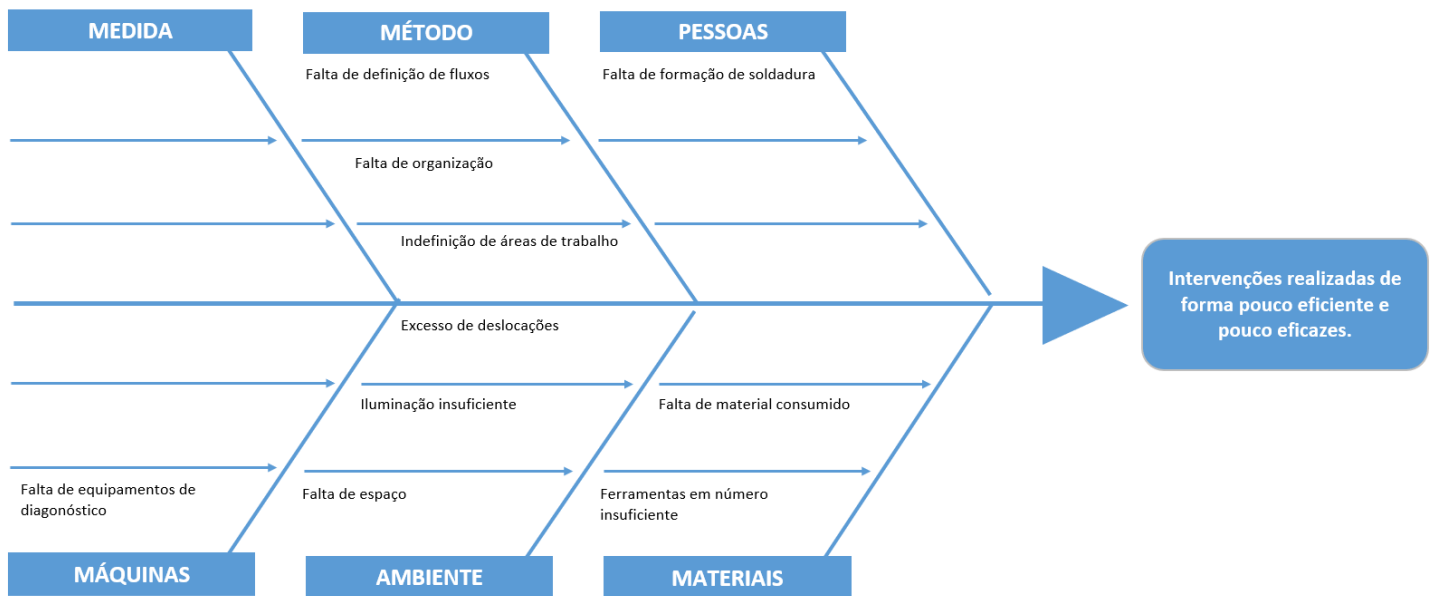


Figura 16 - Diagrama de *Ishikawa*

Em seguida, foram colocadas as dificuldades sentidas no diagrama de *Ishikawa*, figura 16, de modo a ser encontrada a causa/ origem dos problemas encontrados.

3ª etapa – Ferramenta 5 porquês

Com o objetivo de encontrar a(s) causa(s) raiz do problema, recorreu-se à utilização da ferramenta 5 porquês. Segundo (Rafinejad, 2007), o método "Cinco-porquês" é uma técnica eficaz que pode ser usada para garantir que os sintomas e efeitos não sejam confundidos com as causas-raiz de um problema. Os "5-Porquês" começam a fazer a pergunta "porquê" ao problema que ocorreu; pergunta-se "porquê" novamente à resposta; repetindo a pergunta "porquê" cinco vezes, ou até que responder à pergunta "porquê" se torne difícil. Neste caso, a causa raiz provavelmente foi identificada.

Segundo (Wang, 2008), os benefícios da utilização desta ferramenta são:

- Ajuda a identificar a causa raiz de um problema rapidamente;
- Determina a relação entre diferentes causas-raiz de um problema;
- Uma das ferramentas implícitas;
- Fácil de aprender e aplicar;
- Fácil de completar sem análise estatística matemática.

Identificada a possível causa do problema é necessário aprofundar mais a determinação da causa raiz, de modo a que esta seja eliminada na totalidade. Para isso, recorreu-se à utilização da ferramenta dos 5 porquês para a determinação da(s) verdadeira(s) causa(s) raiz, tabela 8.

Tabela 8 -Análise da causa raiz - 5 porquês

5 Porquês - Análise da causa raiz					
Definição do problema: Intervenções realizadas de forma pouco eficiente e eficazes.					
Possível causa	Porque?	Porquê?	Porquê?	Porquê?	Porquê?
Intervenções realizadas de forma pouco eficiente e pouco eficazes	Tempo de intervenção elevado	Falta de material	Não existe inventário do material existente na unidade fabril	Manutenção está desorganizada e confusa	
		Falta de equipamentos e ferramentas			
		Excesso de deslocações ao exterior	O material que está no armazém de <i>spares</i> não está organizado nem inventariado		

Após a aplicação desta ferramenta foi possível determinar as causas raiz do problema que foi colocado inicialmente. As causas encontradas foram: a manutenção está desorganizada e confusa, como se pode verificar na figura 18, falta de equipamentos e ferramentas e o material que está no armazém de *spares* não se encontra devidamente organizado nem inventariado, figura 17.



Figura 18 - Desorganização da manutenção



Figura 17 - Desorganização do armazém de *spares*

4.4 Fase quatro – Melhorar (*Improve*)

Encontradas as causas raiz para o nosso problema, entramos na quarta fase, a fase melhorar. Nesta fase são propostas ideias e soluções para a eliminação das causas raiz encontradas. Esta é a fase mais crucial em que, ao identificar as causas-raiz, as soluções serão geradas e testadas através da condução do piloto. Durante essa fase, a criatividade da equipa geralmente ajuda a gerar soluções e alcançar um resultado que emerge em grandes ganhos. (Aruleswaran, 2010)

Manutenção:

Desde o início deste projeto, foi decidido que todos os colaboradores do departamento de manutenção seriam envolvidos, tendo como principal objetivo a criação de uma manutenção à imagem de todos, onde todos possam contribuir para a sua melhoria. Tendo este princípio em mente, a primeira fase foi pedir a cada um dos colaboradores da manutenção que representassem graficamente a sua opinião e visão em relação ao novo *layout*, por exemplo, como deveria ser a disposição das máquinas, a disposição das bancadas, a possibilidade de divisão da manutenção em duas áreas distintas, entre outras. Os desenhos elaborados estão presentes no apêndice VIII, estando um exemplo representado na figura 19. Em seguida, fez-se a análise de todos os desenhos apresentados e elaborou-se uma lista com todos os pontos em comum encontrados.

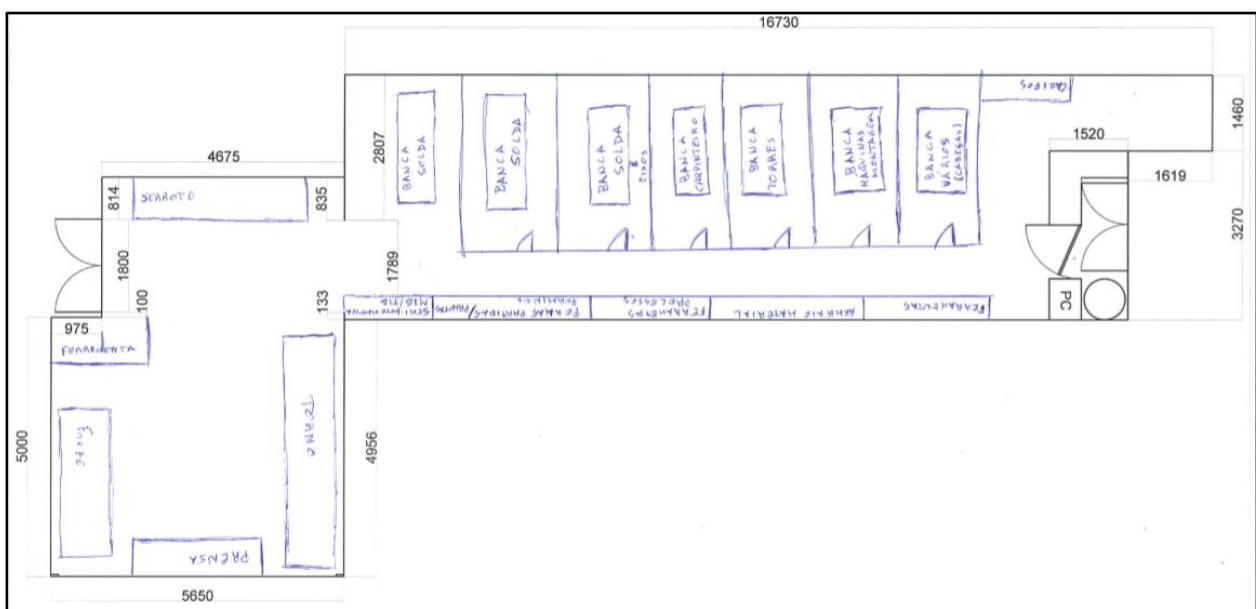


Figura 19 - Desenho elaborado por um colaborador da manutenção

Pontos em comum encontrados:

1. - Divisão em duas áreas distintas, área de reparação de equipamentos e área de fabricação de ferramentas (soldadura).
2. - Definição de áreas distintas para a reparação dos diversos equipamentos existentes na unidade fabril.
3. - Criação de bancadas com todo o material necessário à reparação disponível.

Tendo em conta os pontos comuns encontrados nos projetos elaborados pelos colaboradores, a lista de material necessário a cada área de trabalho e os três objetivos propostos inicialmente, deu-se início ao desenho do novo *layout* da manutenção.

1º Passo – Divisão e separação da manutenção em duas áreas.

Na figura 20 estão representadas as duas divisões efetuadas, a área 1 ficou destinada a todo o tipo de reparações de equipamentos, acondicionamento de material em stock, reparação de *jig's* em madeira e também para a fabricação de componentes no torno mecânico e na fresadora, é importante salientar que nesta área não existe o processo de soldadura. A área 2 ficou reservada para o processo de reparação de *shapes, forming jigs*, fabricação de ferramentas e reparação de eixos. Neste local é permitido o uso do processo de soldadura.

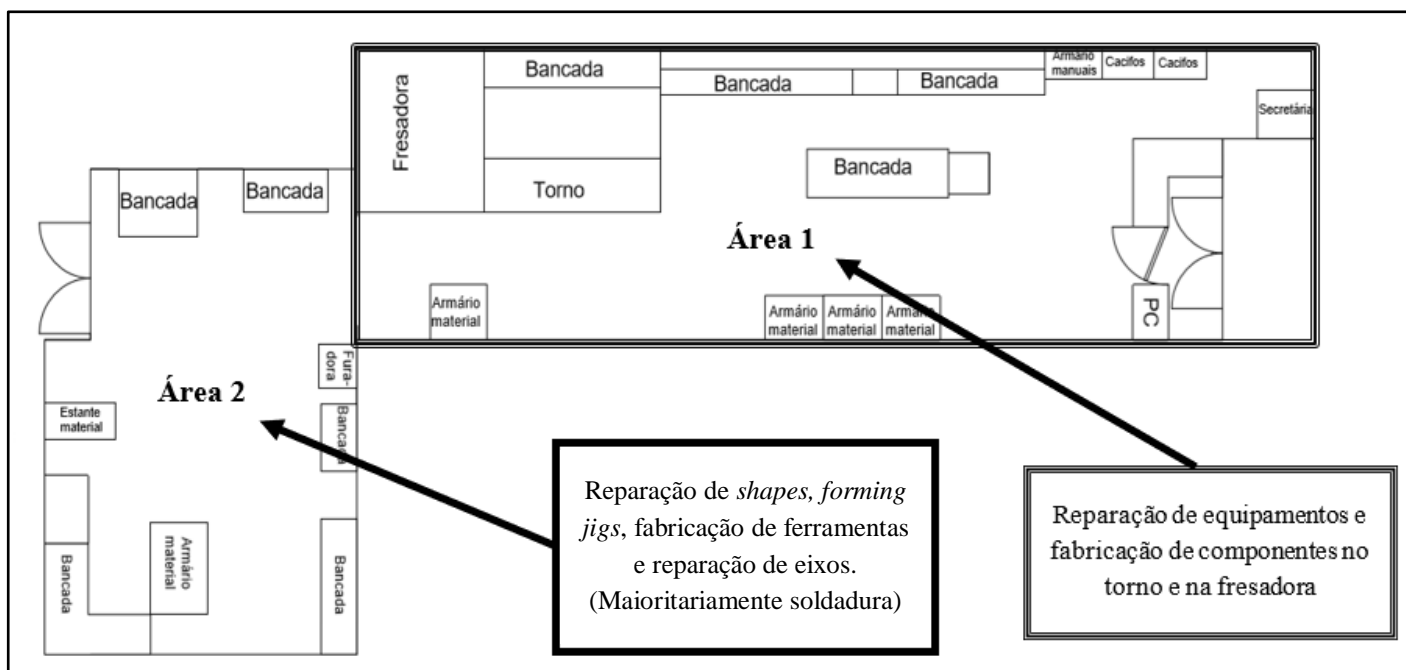


Figura 20 - Divisão da área da manutenção

2º Passo- Definição do número de bancadas necessárias

Analisando todos os dados recolhidos foi possível realizar uma lista com as bancadas necessárias, tabela 9.

Tabela 9 - Lista de bancadas necessárias

Área 1	Área 2
Bancada reparação torres de colagem e eletrónica	Bancada para reparação de formas (<i>shapes</i>) – 2 bancadas
Bancada reparação máquinas de conectores/ abraçadeiras	Bancada para fabricação de ferramentas – 2 bancadas
Bancadas de reparações diversas (bombas, motores, cabeças de tecer)	Bancada para a reparação dos eixos
Bancada reparação <i>jig's</i> de madeira	
Bancada de suporte ao torneiro	

3º Passo – Elaboração do *layout* final

Considerando todos os pontos e sugestões anteriormente abordadas, procedeu-se ao desenho do novo *layout* da manutenção. O *layout* proposto, apêndice IX, após ser analisado, não foi aprovado, pois apresentava pontos negativos na sua configuração.

1º Ponto – Muito espaço livre, propicio à acumulação de material.

2º Ponto – Apesar de existir divisão entre bancadas, o espaçamento entre elas permitia o uso das duas bancadas em simultâneo.

3ª Ponto – Impossibilidade de trabalhar nos dois lados da bancada, esse ponto é importante, pois foi retirada a bancada central, e há certas reparações que são necessárias duas pessoas.

4º Ponto – Local para a colocação do material específico de cada área de trabalho, podia atrapalhar a reparação de equipamentos.

5º Ponto – Na área de soldadura (área 2) existe a possibilidade de projeção de faíscas e material que está a ser removido para o corredor, podendo afetar as pessoas que passam por lá.

Com todos os pontos negativos mencionados anteriormente e recolhendo mais opiniões dos colaboradores da manutenção, o *layout* foi corrigido e redimensionado. O *layout* final está presente no apêndice X.

Ao analisar o novo *layout* podemos salientar, na área 1, a disposição das bancadas de trabalho, todas elas permitem que se trabalhe dos dois lados, figuras 21 e 22. O material específico ficou colocado na parede, junto a cada bancada, ocupando o menor espaço possível, como se pode verificar no apêndice XI. Foi também adicionado um local específico para carregar as baterias dos equipamentos. Foi igualmente criada uma área de arrumação para todos os parafusos. Acrescentou-se uma área reservada a todo o material não conforme ou material que tenha que ser devolvido ao fornecedor. Na área 2, a disposição das bancadas de trabalho seguiu o *layout* adotado na área 1, sendo as bancadas protegidas na parte frontal, evitando a projeção de faíscas e material que esteja a ser removido. Foi adicionada uma prensa hidráulica, importante no processo de reparação de eixos. No apêndice XII estão presentes algumas fotografias a retratar as mudanças feitas com a implementação deste novo *layout*.



Figura 22 - Bancada após a intervenção



Figura 21 - Disposição das bancadas após intervenção

Armazém de *spar*s

Este espaço é reservado exclusivamente ao acondicionamento de todas as peças de substituição para todos os equipamentos essenciais para o total funcionamento da unidade fabril. O processo para a elaboração do *layout* foi realizado de forma diferente. Numa fase inicial, a equipa definiu 3 pontos a ter em conta para a definição do novo *layout*.

Pontos a ter em consideração:

- Divisão do armazém de *spar*s consoante as áreas presentes no processo de produção;
- Redução do número de deslocações, assim como, a distância percorrida;
- Reaproveitar as estantes já existentes.

Tendo em conta os pontos mencionados anteriormente e após um *brainstorming* realizado por todos os colaboradores e posterior aprovação das chefias foram seleccionadas duas sugestões para o novo *layout*.

1ª Sugestão

Na figura 23 está representado a primeira sugestão apresentada.

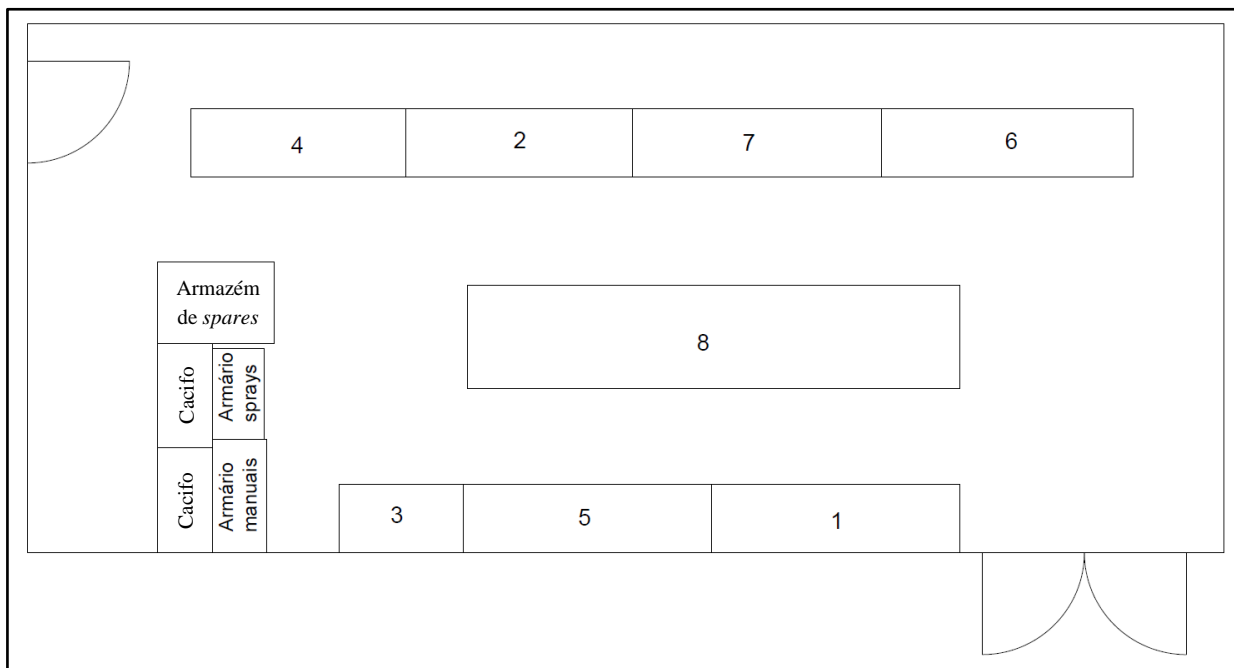


Figura 23 - Primeira sugestão *layout* armazém de *spar*s

2ª Sugestão

Na figura 24 está representada a segunda sugestão apresentada.

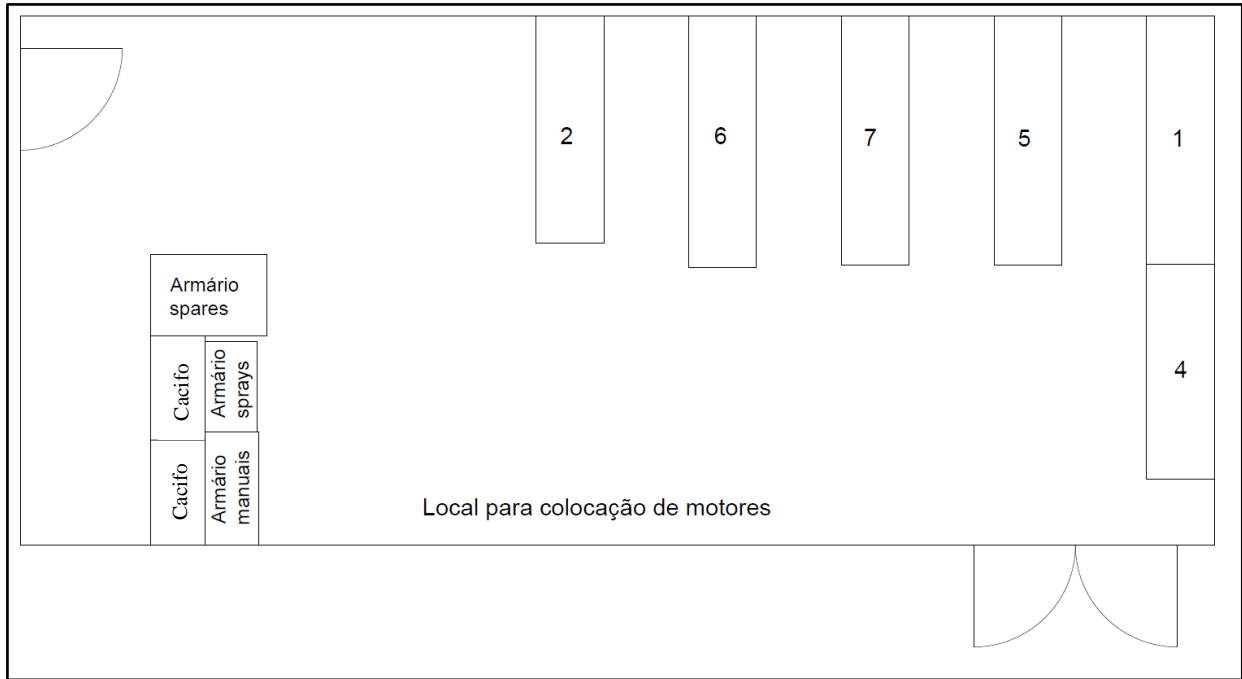


Figura 24 - Segunda sugestão *layout* armazém de *spares*

Em seguida procedeu-se à análise das duas sugestões apresentadas. Todos os colaboradores do departamento de manutenção reuniram-se com o objetivo de serem encontrados os pontos positivos e negativos das duas sugestões selecionadas. Os pontos positivos e negativos estão representados na tabela 10.

Tabela 10 - Comparação dos pontos fortes e fracos das duas sugestões

Sugestão 1		Sugestão 2	
Pontos fortes	Pontos fracos	Pontos fortes	Pontos fracos
Abertura de uma segunda porta, permitindo a redução da distância percorrida	Divisão em áreas distintas pode tornar-se confusa	Abertura de uma segunda porta, permitindo a redução da distância percorrida	Impossibilidade de utilizar as estantes 1 e 4 dos dois lados – diminuindo o espaço útil para armazenamento
Aproveitamento de todas as estantes presentes	Impossibilidade de utilizar as estantes 1,3 e 5 dos dois lados – diminuindo o espaço útil para armazenamento	Possibilidade de divisão em áreas distintas, sem causar enganos	Não utiliza todas as estantes – possibilidade de falta de espaço para arrumação
	Impossibilita a colocação de motores de grandes dimensões – obstrui o corredor de passagem	Contém área para a colocação de motores de grandes dimensões	

A sugestão que contém menor número de pontos fracos é a sugestão número 2, mas como ainda apresenta alguns pontos fracos, optou-se por realizar melhorias do *layout* apresentado. Na figura 25, consta o *layout* final apresentado.

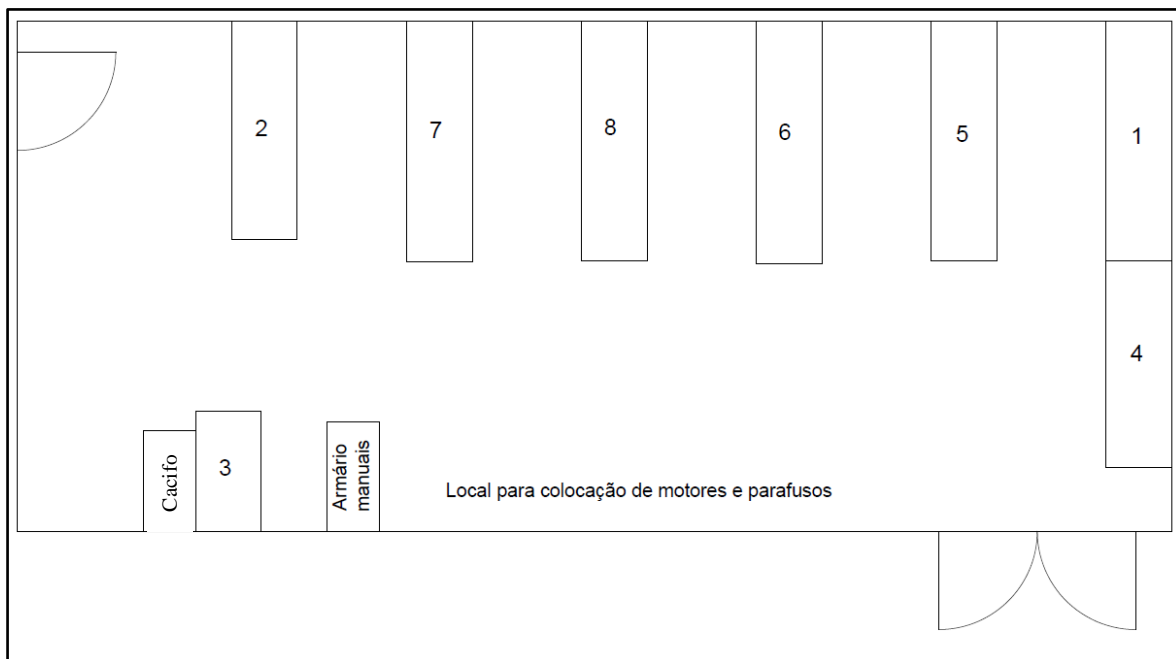


Figura 25 - *Layout* final armazém de *spares*

Com este *layout* foi possível eliminar os pontos fracos apresentados anteriormente. De salientar que a estante número 8 sofreu uma alteração, foi-lhe reduzido o comprimento, todas as outras estantes mantiveram o seu estado inicial. A estantes foram distribuídas da seguinte forma:

- Estante 1 - Material da vulcanização
- Estante 2 – Material elétrico
- Estante 3 – Consumíveis (*sprays*, lixa, rolos de fita cola, pinceis)
- Estante 4 – Vedantes e tubos hidráulicos
- Estante 5 – Material da extrusão
- Estante 6 – Material dos acabamentos
- Estante 7 – Material pneumático e material elétrico
- Estante 8 – Material diverso

Foi também criado um espaço reservado aos colaboradores da manutenção, para colocarem os seus objetos pessoais. A área para a colocação de motores de grandes dimensões foi também aproveitada para a colocação de uma estante com toda a variedade de parafusos que são utilizados, criando assim um *stock* de segurança.

4.5 Fase cinco – Controlar (*Control*)

Após a conclusão de todas as alterações propostas à alteração do *layout* da manutenção e do armazém de *sparcs* é necessário controlar e manter a disciplina de modo a manter os espaços sempre arrumados e o mais otimizados possível. Na fase de controlo, as melhorias identificadas durante a fase de melhoria são capturadas e documentadas. Todas as informações são recolhidas, consolidadas e priorizadas para auxiliar uma implementação final ou completa. Os planos de implementação, bem como os procedimentos de gestão de mudanças, serão desenvolvidos para assegurar uma transição bem-sucedida da solução para a equipa que será responsável por sustentar o novo processo.(Aruleswaran, 2010)

Apresentação de resultados

De modo a avaliar a eficácia das intervenções efetuadas, o processo de medição voltou a ser utilizado. Foi novamente elaborado o diagrama de *sphagetti* e foram também medidos os tempos gastos nas deslocações efetuadas ao armazém de *spares*, de salientar que o processo de recolha dos dados, assim como, os pressupostos tidos em conta na etapa medir, foram mantidos nesta nova medição. Por último, foram os resultados obtidos nas auditorias 5'S após a realização das intervenções.

Diagrama de *sphagetti*

Na figura 26, está o diagrama de *sphagetti* do colaborador 1, nos apêndices XIII, XIV e XV estão representados os diagramas com as deslocações realizadas pelos três colaboradores em estudo.

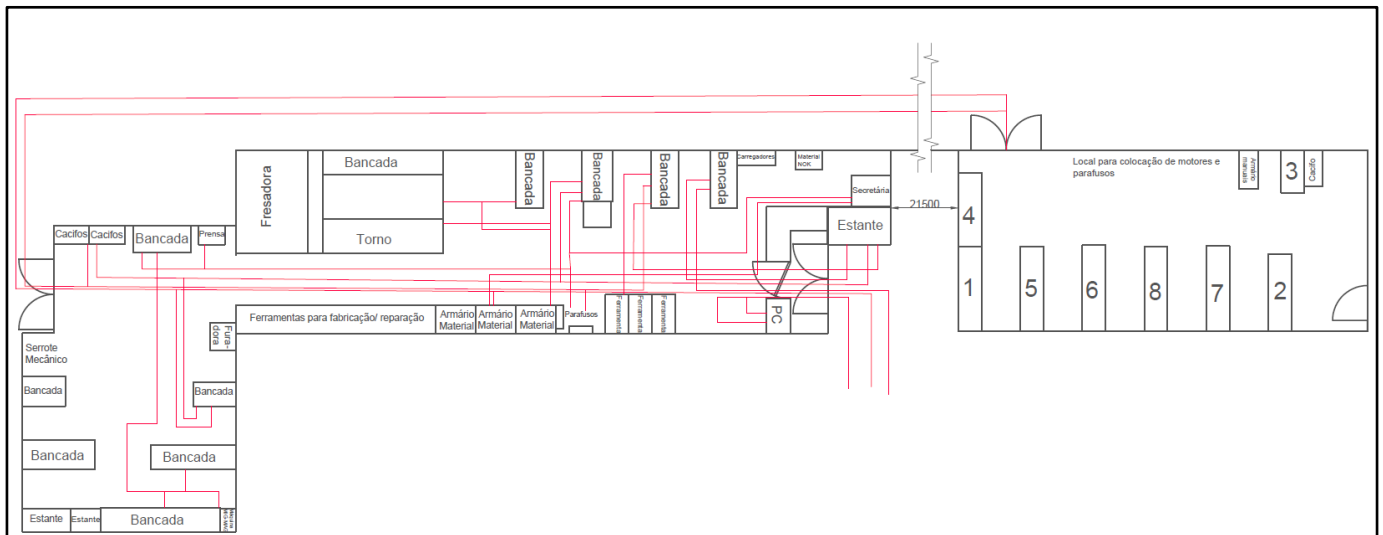


Figura 26 - Deslocações realizadas pelo colaborador 1 depois da intervenção

De modo a retratar os resultados obtidos numericamente, foi contabilizada a distância total percorrida, distância medida em metros, pelos colaboradores (tabela 11).

Tabela 11 - Distância percorrida após as intervenções

Colaborador	Distância percorrida [m]
1	275.91
2	312.31
3	240.74

Medição do tempo das deslocações ao armazém exterior

Depois de todas as intervenções planeadas serem executadas foi novamente recolhido o tempo necessário para realizar a deslocação manutenção – armazém de *spares* – manutenção. Os dados recolhidos estão presentes na tabela 12. Os resultados do cálculo do desvio padrão apresentam valor inferiores aos obtidos antes da intervenção, sendo também valor pouco dispersos, o valor mais alto obtido foi de 1,06, contrastando com o 4,87 obtidos na primeira medição.

Tabela 12 - Tempos recolhidos após a realização das intervenções

Medição	Trabalhador 1 (min)	Trabalhador 2 (min)	Trabalhador 3 (min)
1	2,32	3,18	1,25
2	2,15	3,02	1,10
3	1,59	2,88	2,41
4	2,36	1,22	1,52
5	1,99	4,15	2,17
Média	2,08	2,89	1,69
Desvio padrão	0,31	1,06	0,57

Auditorias 5'S

A modificação do *layout* e a sua organização, quer da manutenção quer do armazém de *spares*, já tem resultados refletidos nas auditorias 5'S internas. As auditorias são realizadas até ao dia 15 do respetivo mês.

A primeira fase da intervenção teve o seu término no final do mês de abril, estando os resultados repercutidos no mês de maio. Como podemos ver no gráfico 3 a pontuação obtida no mês de maio não apresentou nenhuma melhoria em relação ao mês anterior. Esta estagnação

é justificada pela necessidade de ocupar a área 2 com material e ferramentas da área 1, prejudicando a arrumação e a definição do *layout* dessa área. A segunda etapa da intervenção na manutenção terminou no final do mês de maio. Os resultados dessa intervenção estão refletidos na auditoria relativa ao mês de junho. Os resultados apresentam uma melhoria significativa, tendo um crescimento de 17% face aos resultados obtidos no mês de maio.

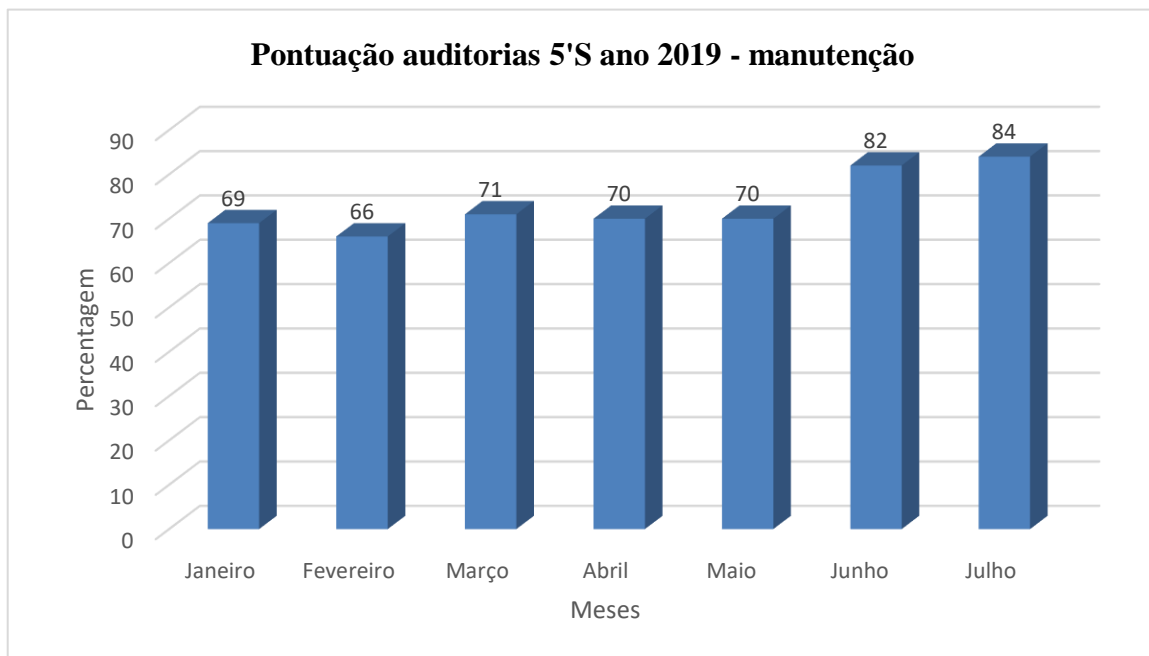


Gráfico 3- Pontuação obtida nas auditorias internas 5'S – ano 2019

Armazém de *spares*

Respeitando o cronograma elaborado na primeira fase da metodologia DMAIC, a intervenção/ reorganização do armazém de *spares* teve o seu início na primeira semana do mês de julho e o seu término na terceira semana do mês de agosto. Analisando o gráfico 4 a pontuação obtida desde o início do ano até ao mês de junho apresentou uma tendência de queda. O decréscimo da pontuação verificada nos meses de abril, maio e junho é justificada pela colocação de material e maquinaria resultantes da intervenção realizada na área da manutenção. No mês de julho a pontuação inverteu a tendência de decréscimo apresentada nos meses anteriores, tendo aumentado cerca de 33%. De notar que, como no mês de agosto não são realizadas auditorias 5'S, a auditoria relativa ao mês de julho foi adiada até à conclusão da intervenção do armazém de *spares*.

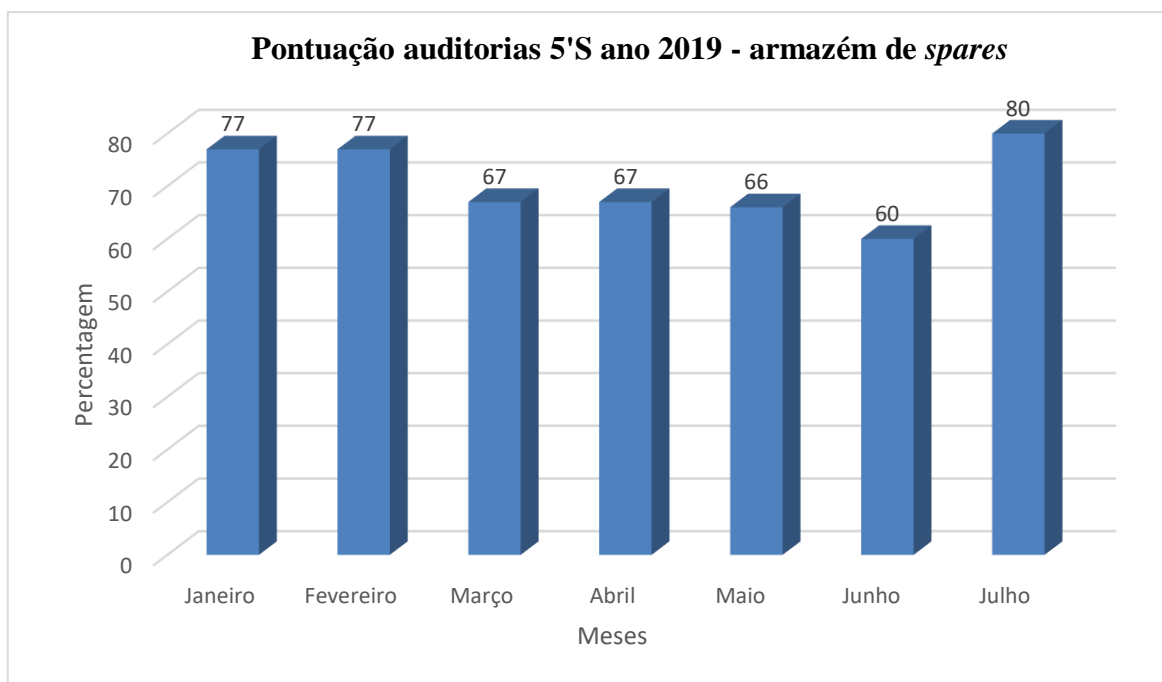


Gráfico 4 - Pontuação obtida nas auditorias internas 5'S – ano 2019

Definição do plano de controlo

O plano de controlo é composto por as auditorias 5'S feitas internamente, para assegurar que tudo está a ser cumprido e conforme o projeto que foi apresentado, corrigindo se necessário, as não conformidades apontadas pelo auditor. Serve também para controlar as auditorias feitas por auditores externos, dando seguimento a todas as não conformidades ou oportunidades de melhoria encontradas. O principal objetivo é estar sempre a implementar melhorias, ano após ano, permitindo o aumento da eficiência nas intervenções realizadas e também uma boa gestão do espaço e do material necessário.

5. Conclusões

Com a alteração do paradigma no mundo dos negócios, é cada vez mais importante a implementação da metodologia *lean* para a redução e eliminação dos desperdícios, aumentando assim a eficiência do processo produtivo e por consequência direta o aumento dos lucros da empresa.

O principal objetivo deste trabalho foi a total reorganização do *layout* do departamento de manutenção, reduzindo o tempo necessário para a realização de uma intervenção, a gestão mais simples e eficaz das *spare parts* e a criação/ melhoria de fluxos.

A opção pela utilização da ferramenta DMAIC foi pelo facto de esta ser aplicada na resolução de problemas nos processos produtivos, permitindo uma análise mais profunda ao problema, permitindo chegar à(s) causa(s) raiz do problema. Com as várias etapas que esta metodologia proporciona permitiu que o problema fosse bem definido, envolvendo todos os colaboradores do departamento de manutenção e direção fabril com o objetivo de encontrar soluções para criar um departamento à imagem de todos.

Com a aplicação desta ferramenta, os três objetivos propostos inicialmente foram cumpridos. O cumprimento do primeiro objetivo, reorganização/ reestruturação do *layout*, permitiu que as intervenções realizadas pelo departamento de manutenção aumentassem o grau de eficiência e qualidade, cumprindo com todas as normas de segurança. O segundo objetivo, organização e inventariação de todo o material, foi igualmente cumprido. Com a listagem de todo o material presente e a sua distribuição pelas diversas bancadas de reparação criadas,

permitiu uma redução significativa das deslocações e do tempo necessário para a realização das intervenções. A melhoria da pontuação obtida nas auditorias 5'S, após a realização das intervenções inicialmente propostas veio comprovar a necessidade de mudança e reorganização do departamento de manutenção. Após a análise dos resultados obtidos conclui-se que o grupo de trabalho chegou à causa raiz do problema e as soluções definidas tiveram impacto positivo na eliminação da causa raiz e do problema inicialmente proposto.

Trabalhos futuros

Até à conclusão desta dissertação não foi possível a abertura da segunda porta, estando essa obra agendada para uma data próxima. Esta pequena modificação no armazém de *spares* vai originar a diminuição do tempo desperdiçado na deslocação, aumentando ainda mais a eficiência e a rapidez do serviço prestado pelo departamento de manutenção. Nesta dissertação também é abordado o tema da indústria 4.0. Neste primeiro projeto optou-se por não introduzir e implementar este tema. Com a conclusão deste projeto, o próximo passo passa pelo estudo e posterior introdução da indústria 4.0 no departamento de manutenção, um exemplo disso é a criação de um programa que permita controlar todos os equipamentos existentes na unidade fabril, que estão a ser controlados pela manutenção (compressores, caldeiras, central de incêndio e ETAR).

6. REFERÊNCIAS

- Agustiady, T. K., & Cudney, E. A. (2016). *Total Productive Maintenance: Strategies and Implementation Guide*. CRC Press.
- Al-Aomar, R., Williams, E. J., & Ulgen, O. M. (2015). *Process Simulation Using WITNESS*. John Wiley & Sons.
- Aruleswaran, A. (2010). *Changing With Lean Six Sigma*. Changing with Lean Six Sigma.
- ATEC - Academia de formação. (2018). Gestão Visual. Obtido 28 de Setembro de 2019, de ATEC - Academia de Formação website: <https://www.atec.pt/lexico/e-g/gestao-visual-2.html>
- Bendre, P. (2015). *SMED: Single Minute Exchange Of Die*. Prashant Bendre.
- Singh, B., Khanduja, D. (2015). *Wrap the scrap with DMAIC: Strategic Deployment of Six Sigma in Indian*. Anchor Academic Publishing.
- Brain Engenharia. (2017). Six Sigma - Origem e aplicação. Obtido 22 de Setembro de 2019, de <https://brain-engenharia.com/brain/3/155/six-sigma---origem-e-aplicacao.html>
- Breyfogle, F. W., Cupello, J. M., & Meadows, B. (2001). *Managing Six Sigma: A Practical Guide to Understanding, Assessing, and Implementing the Strategy That Yields Bottom-Line Success*. John Wiley & Sons.
- Corbett, S. (2007). *Beyond manufacturing: The evolution of Lean Production*. McKinsey & Company.
- Saeger, A. (2015). *Ishikawa Diagram: Anticipate and solve problems within your business*. 50 Minutes.
- Drohomeretski, E., Gouvea da Costa, S., Pinheiro de Lima, E., & Garbuio, P. (2014). Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: An analysis based on operations strategy. *International Journal of Production Research*, 52.

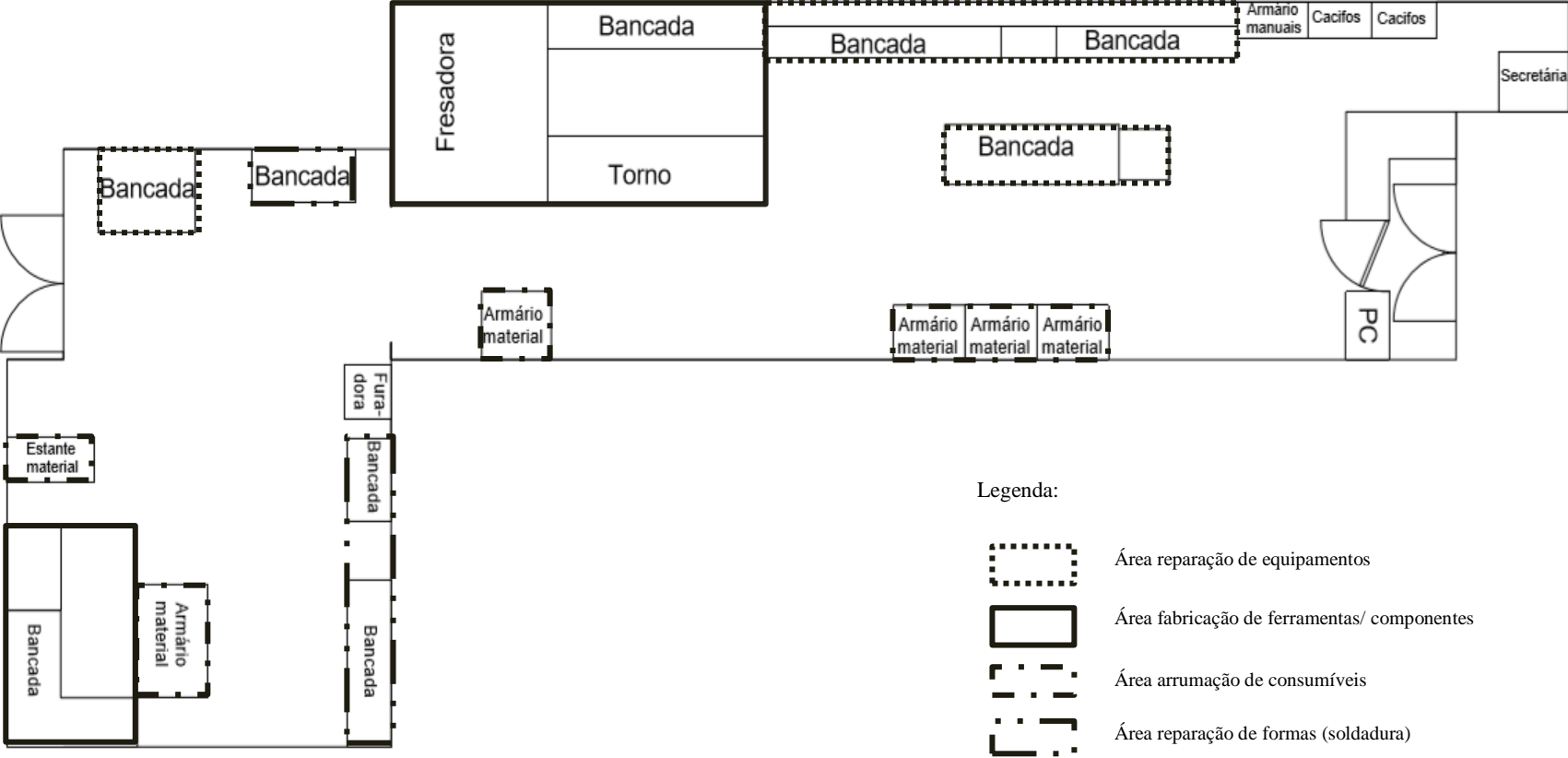
- Fujimoto, T. (1999). *The Evolution of a Manufacturing System at Toyota*. Oxford University Press.
- Hines, & Taylor. (2000). *Going Lean, Lean enterprise Research Center*. Cardiff.
- Humanperf. (2018). The 5W1H method. Obtido 4 de Novembro de 2019, de <https://www.humanperf.com/en/blog/nowiunderstand-glossary/articles/5W1H-method>
- Imai, M. (1991). *Kaizen (Ky'zen): The Key to Japan's Competitive Success*.
- Imai, M. (1997). *Gemba kaizen: A commonsense, Low-Cost Approach to Management*. New York: McGraw-Hill.
- Kaizen Institute. (2019). O que é Kaizen? Obtido 26 de Setembro de 2019, de <https://pt.kaizen.com/quem-somos/significado-de-kaizen.html>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.
- Lean Enterprise Institute, Inc. (2019). A Brief History of Lean. Obtido 28 de Setembro de 2019, de <https://www.lean.org/WhatsLean/History.cfm>
- Lee, Q., & Snyder, B. (2006). *The Strategos Guide to Value Stream & Process Mapping*—Quarterman Lee, Brad Snyder.
- Martins, M. E. G. (2013). Desvio padrão amostral. *Revista de Ciência Elementar*, 1(01):0021. <https://doi.org/10.24927/rce2013.022>
- Melton, T. (2005). The Benefits of Lean Manufacturing. *Chemical Engineering Research and Design*, 83(6), 662–673. <https://doi.org/10.1205/cherd.04351>
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*. CRC Press.
- Pyzdek, T. (2000). *The Six Sigma Revolution*. <http://www.pyzdek.com/six-sigma-revolution.htm>.

- Rafinejad, D. (2007). *Innovation, Product Development and Commercialization: Case Studies and Key Practices for Market Leadership*. J. Ross Publishing.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute.
- Sander, C. (2019). O que é DMAIC: As 5 fases do Lean Six Sigma. Obtido 11 de Novembro de 2019, de <https://www.linkedin.com/pulse/o-que-%C3%A9-dmaic-5-fases-do-lean-six-sigma-carlos-sander>
- Santos, M. Y., Oliveira e Sá, J., Andrade, C., Vale Lima, F., Costa, E., Costa, C., ... Galvão, J. (2017). A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy. *International Journal of Information Management*, 37(6), 750–760.
- Santos, Sandro. (2018). *Introdução à Indústria 4.0: Saiba tudo sobre a revolução das máquinas*. ssinvestimentos.
- Santos, Sofia. (2015). Como Fazer Brainstorming Eficiente—Pme.pt. Obtido 12 de Agosto de 2019, de Pme.pt Portal PME - Portal Da Empresa website: <https://pme.pt/como-fazer-brainstorming/>
- Sarkar, D. (2006). *5S for service Organizations and Offices: A lean book at improvements*.
- Shankar, R. (2009). *Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide*. ASQ Quality Press.
- Silva, E. M. da. (2017). Os Pilares Tecnológicos da Indústria 4.0. Obtido 3 de Novembro de 2019, de <https://www.linkedin.com/pulse/os-pilares-tecnol%C3%B3gicos-da-ind%C3%A9ria-40-edson-miranda-da-silva>
- Stern, T. V. (2016). *Lean Six Sigma: International Standards and Global Guidelines, Second Edition*. CRC Press.
- Strong, R. &. (2003). *Rath & Strong's Six Sigma Leadership Handbook*. John Wiley & Sons.

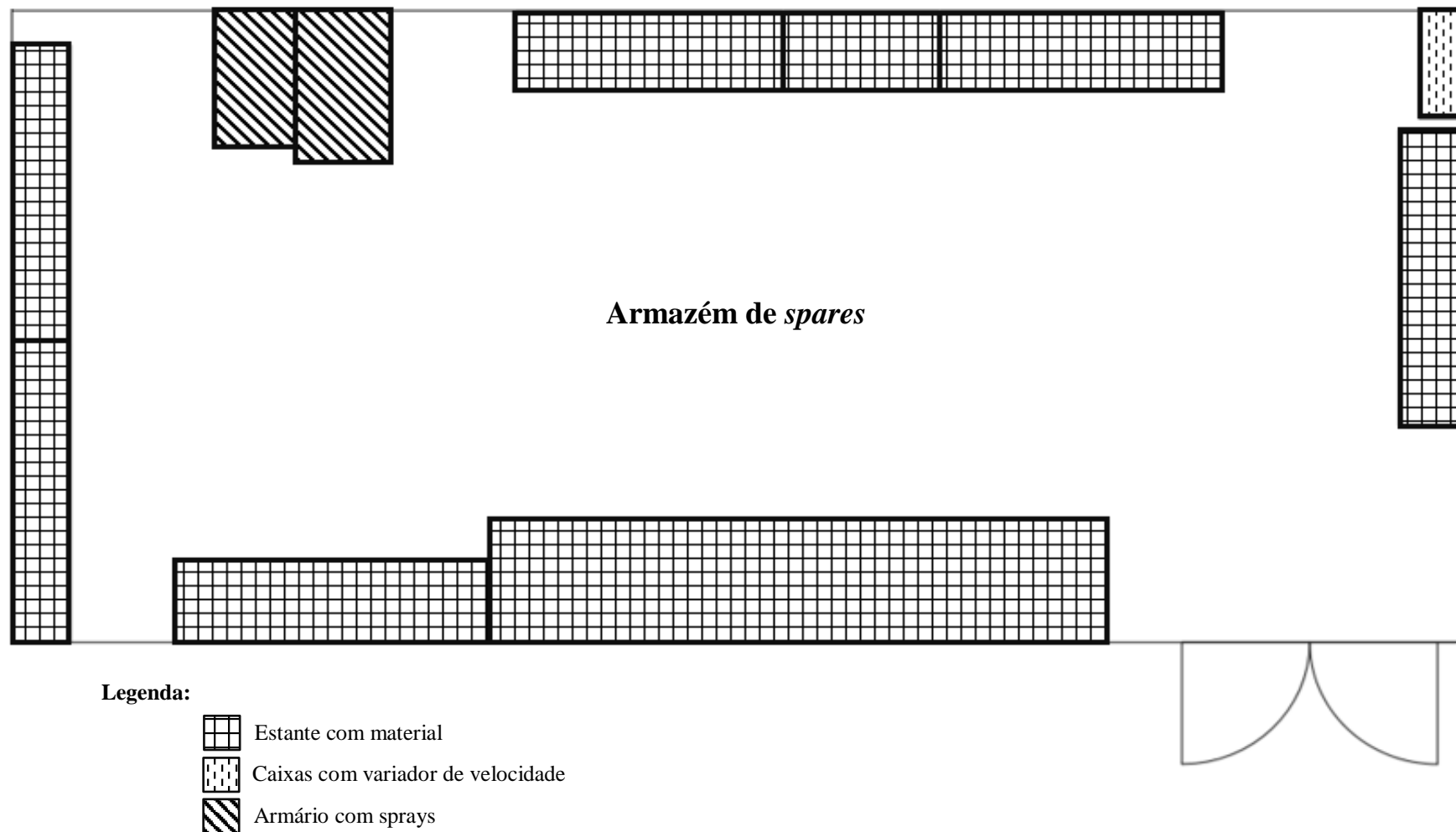
- Sugai, M., McIntosh, R. I., & Novaski, O. (2007). Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): Análise crítica e estudo de caso. *Gestão de Produção*, 14, 323–335.
- Tapping, D., & Inc, M. M. (2003). *The Lean Pocket Guide: Tools for the Elimination of Waste!* MCS Media, Inc.
- Teixeira, J. M. (2018). *Gestão Visual de Projetos: Utilizando a informação para inovar*. Alta Books Editora.
- Theisens, H. C., Harborne, D., Hesp, T. J., & Meek, A. (2016). *Lean Six Sigma Green Belt Mindset, Skill set and tool set*, 3^a ed.
- Ustundag, A., & Cevikcan, E. (2017). *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer.
- Wang, J. X. (2008). *What Every Engineer Should Know About Business Communication*. CRC Press.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2013). *Lean Thinking: Banish Waste And Create Wealth In Your Corporation*. Simon and Schuster.

7. Apêndices

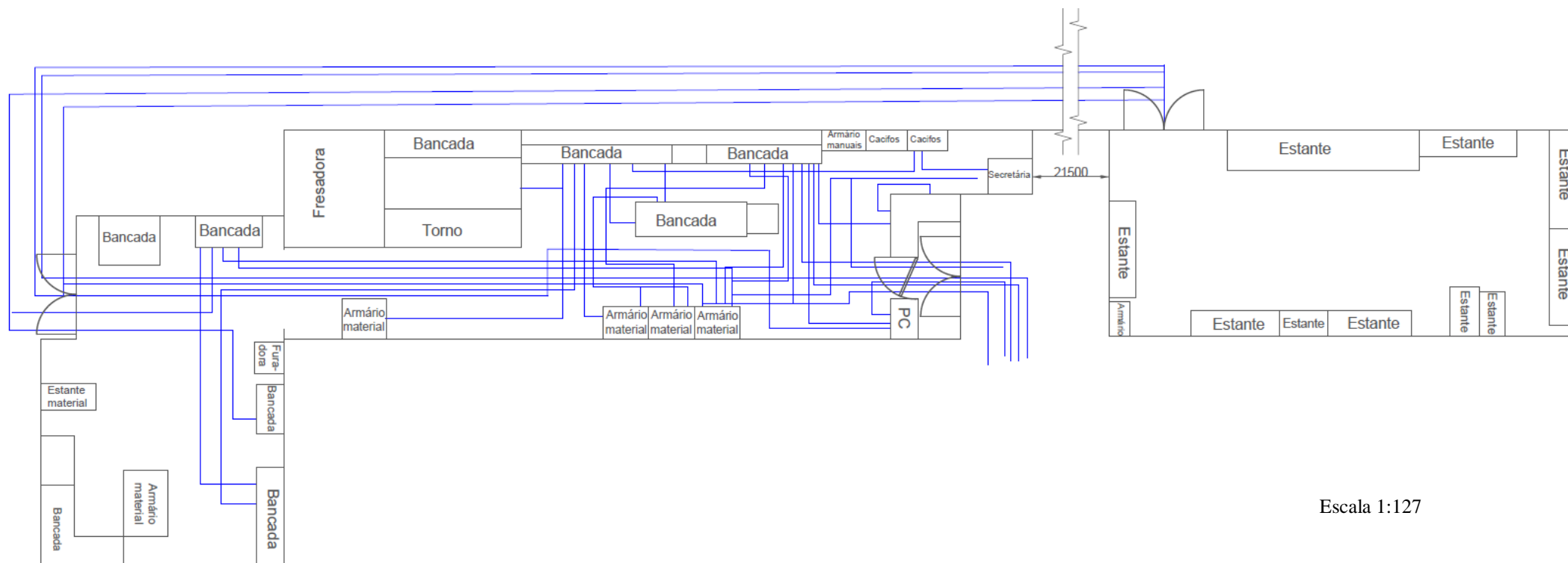
Apêndice I – Manutenção (layout inicial) – divisão das áreas de trabalho



Apêndice II – Armazém de *spares* – divisão inicial das bancadas

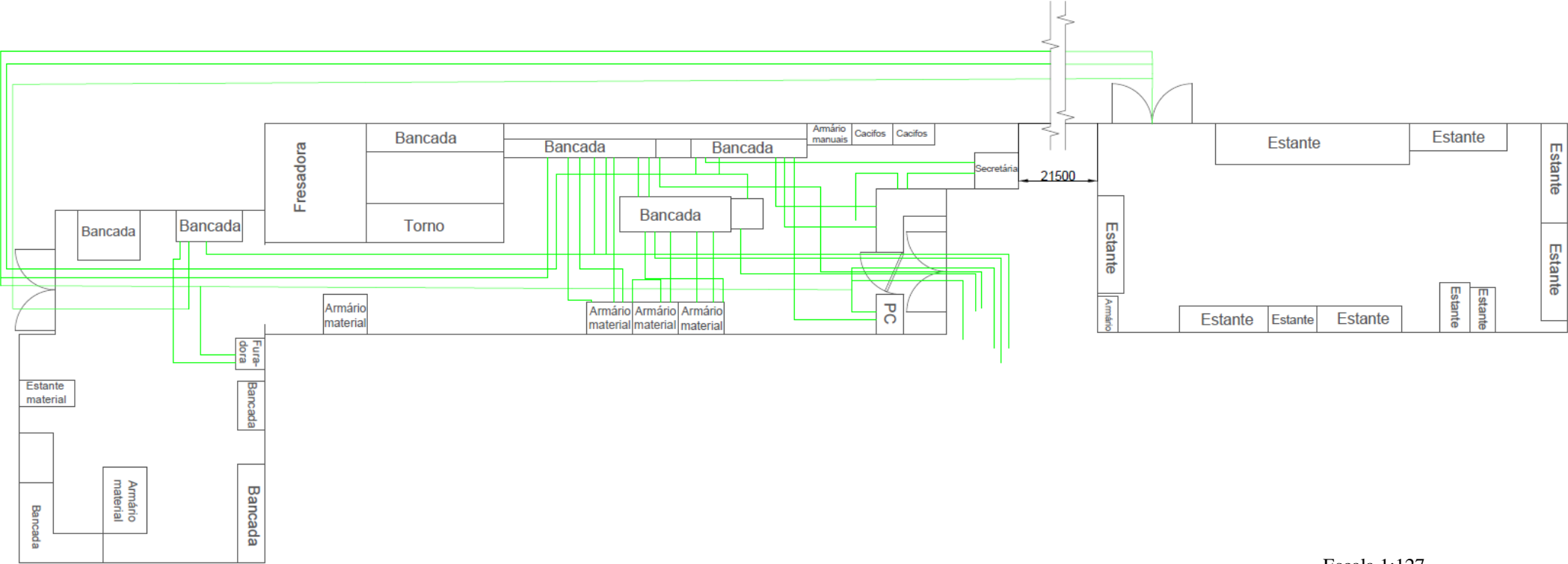


Apêndice III – Deslocações efetuadas pelo colaborador 1



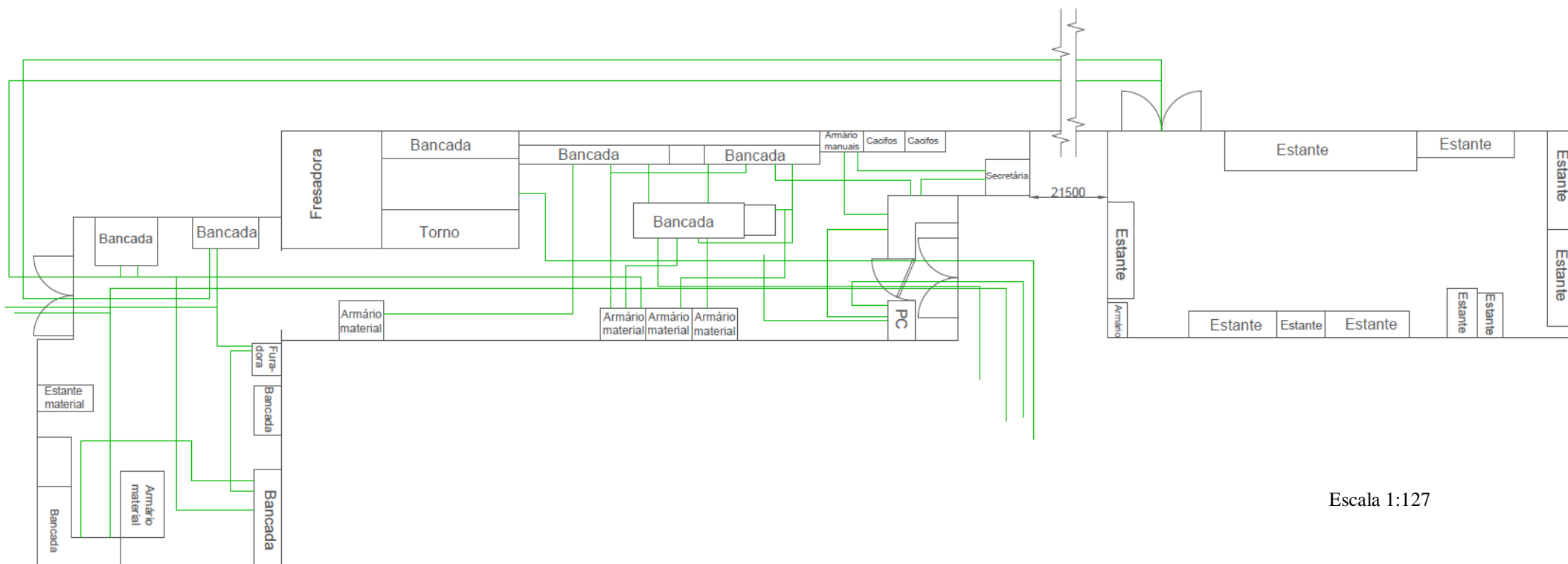
Escala 1:127

Apêndice IV- Deslocações efetuadas pelo colaborador 2



Escala 1:127

Apêndice V- Deslocações efetuadas pelo colaborador 3



Escala 1:127

Apêndice VI – Histórico dos dados recolhidos das auditorias 5's

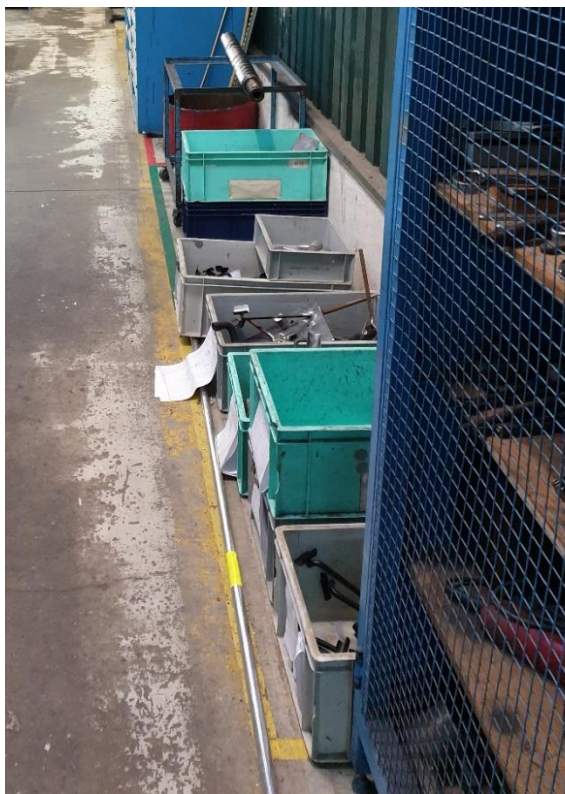
2010			2011			2012			2013		
	Manutenção	Armazém de spares		Manutenção	Armazém de spares		Manutenção	Armazém de spares		Manutenção	Armazém de spares
Janeiro	63	54	Janeiro	81	44	Janeiro	85	45	Janeiro	86	86
Fevereiro	66	54	Fevereiro	81	44	Fevereiro	80	45	Fevereiro	85	84
Março			Março	80	58	Março	86	45	Março	87	80
Abril	74	54	Abril	81	48	Abril			Abril	87	85
Maio	48	51	Maio	84	44	Maio	87	76	Maio	85	87
Junho	59	47	Junho	83	45	Junho	87	80	Junho	86	88
Julho	67	47	Julho	82	45	Julho			Julho	85	88
Agosto	65		Agosto			Agosto			Agosto		
Setembro	73		Setembro	82	45	Setembro	86	80	Setembro	84	85
Outubro	76		Outubro	84	45	Outubro	87	83	Outubro	84	84
Novembro	83	48	Novembro			Novembro	84	86	Novembro	84	86
Dezembro	78	44	Dezembro	86	45	Dezembro			Dezembro	93	87
Média	62,67	49,88	Média	82,4	46,3	Média	85,25	67,5	Média	86	85,45
2014			2015			2016			2018		
	Manutenção	Armazém de spares		Manutenção	Armazém de spares		Manutenção	Armazém de spares		Manutenção	Armazém de spares
Janeiro	92	87	Janeiro	97	79	Janeiro	84	83	Janeiro		
Fevereiro	90	83	Fevereiro	97	79	Fevereiro	92	88	Fevereiro	82	73
Março	83	83	Março	92	80	Março	92	88	Março	83	78
Abril	84	81	Abril	88	80	Abril	88	88	Abril		
Maio	81	78	Maio	89	81	Maio	88	89	Maio	85	72
Junho	85	82	Junho	89	81	Junho	90	89	Junho		
Julho	89	80	Julho	93	88	Julho	89	88	Julho		
Agosto			Agosto			Agosto			Agosto		
Setembro	85	78	Setembro	93	87	Setembro			Setembro	87	71
Outubro	85	82	Outubro	87	83	Outubro	94	90	Outubro	71	67
Novembro	96	80	Novembro	83	82	Novembro	88	74	Novembro	73	73
Dezembro	97	81	Dezembro	83	82	Dezembro	87	75	Dezembro		
Média	87,91	81,36	Média	90,09	82	Média	89,2	85,2	Média	80,17	72,33

Apêndice VII – Fotografias do estado inicial da manutenção e do armazém de *spares*

Manutenção



Apêndice VII – Fotografias do estado inicial da manutenção e do armazém de *spares*

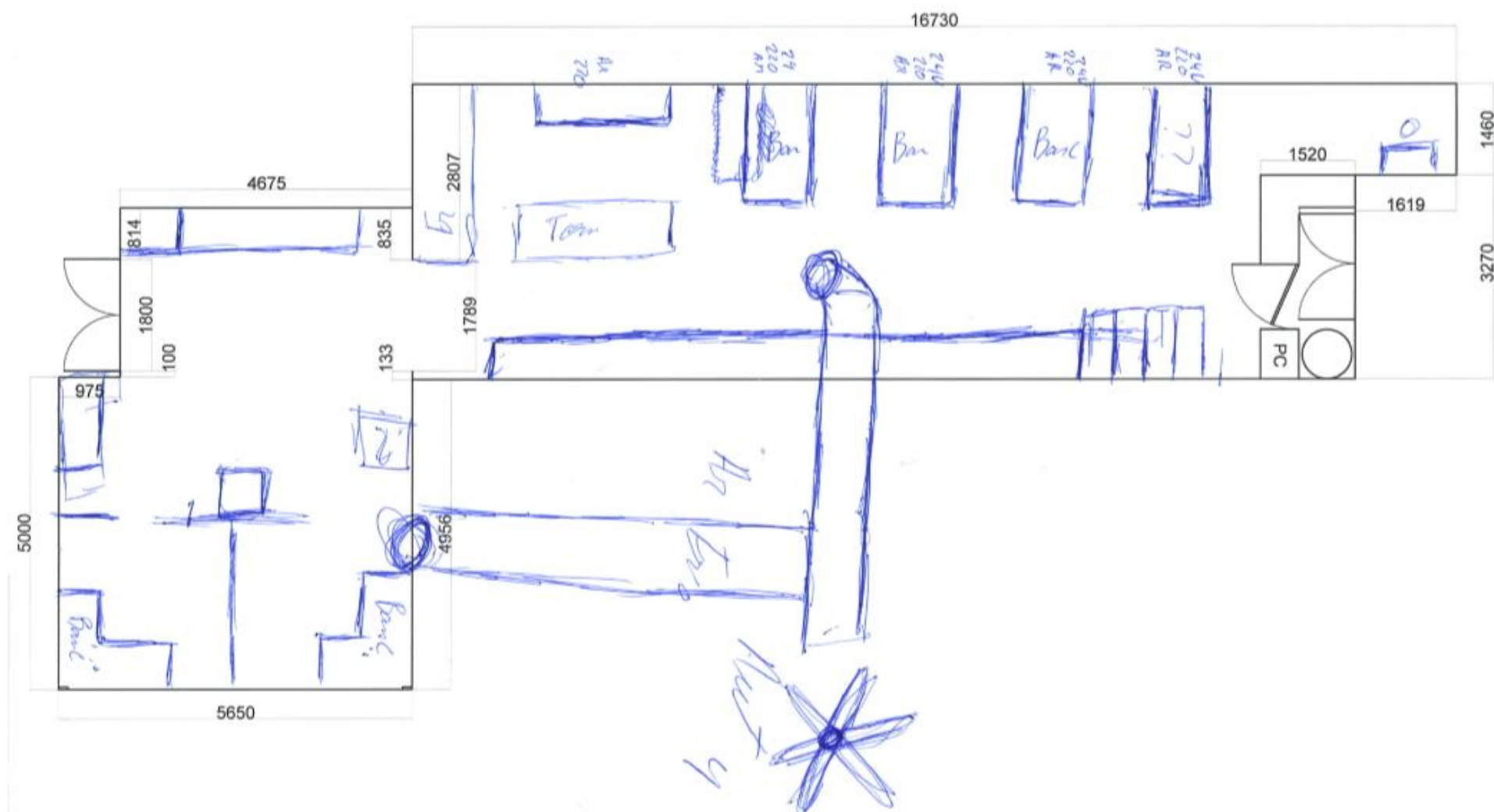


Armazém de *spares*



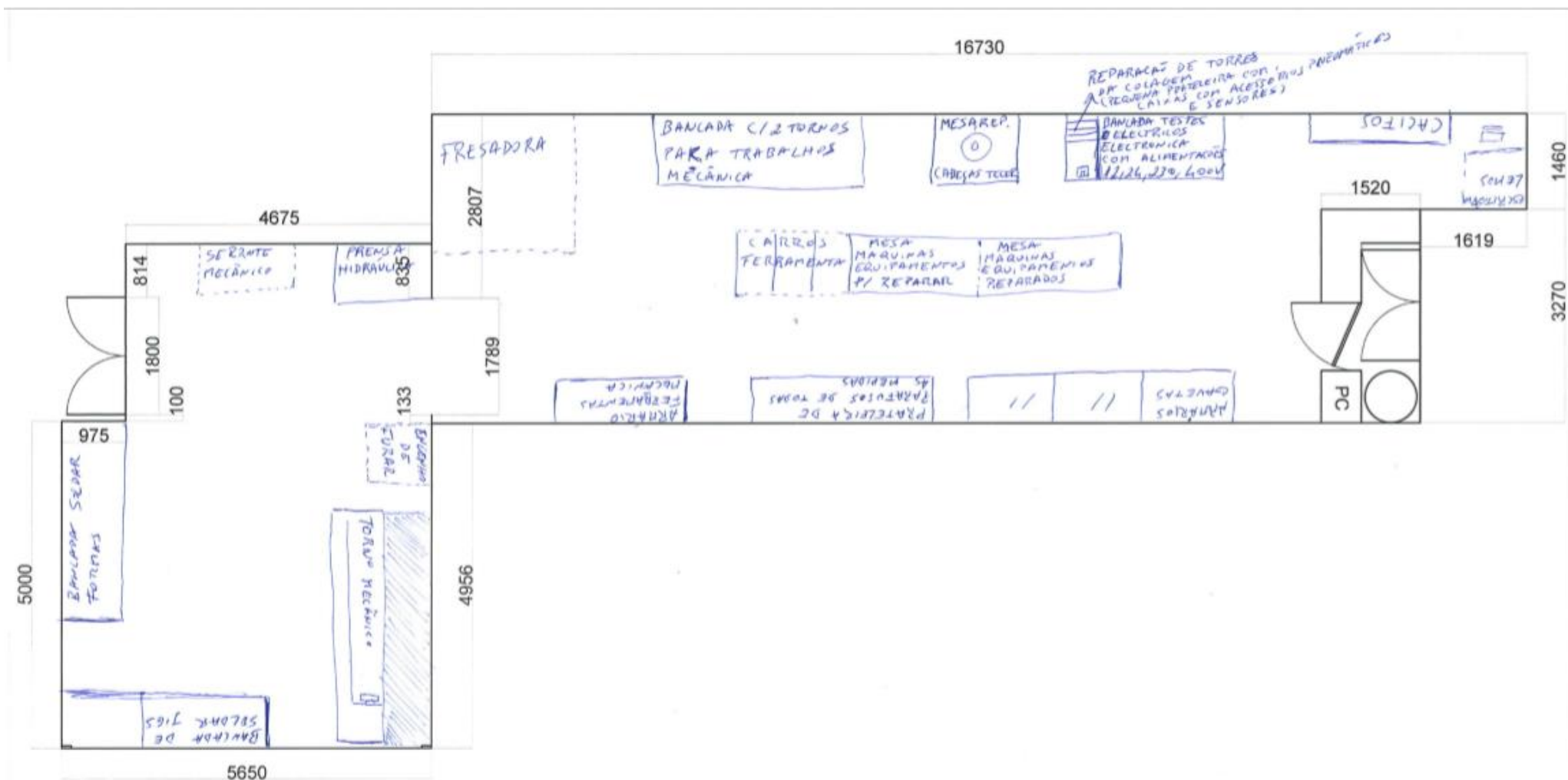
Apêndice VIII – Representação gráfica feita pelos colaboradores do departamento de manutenção

Colaborador 2

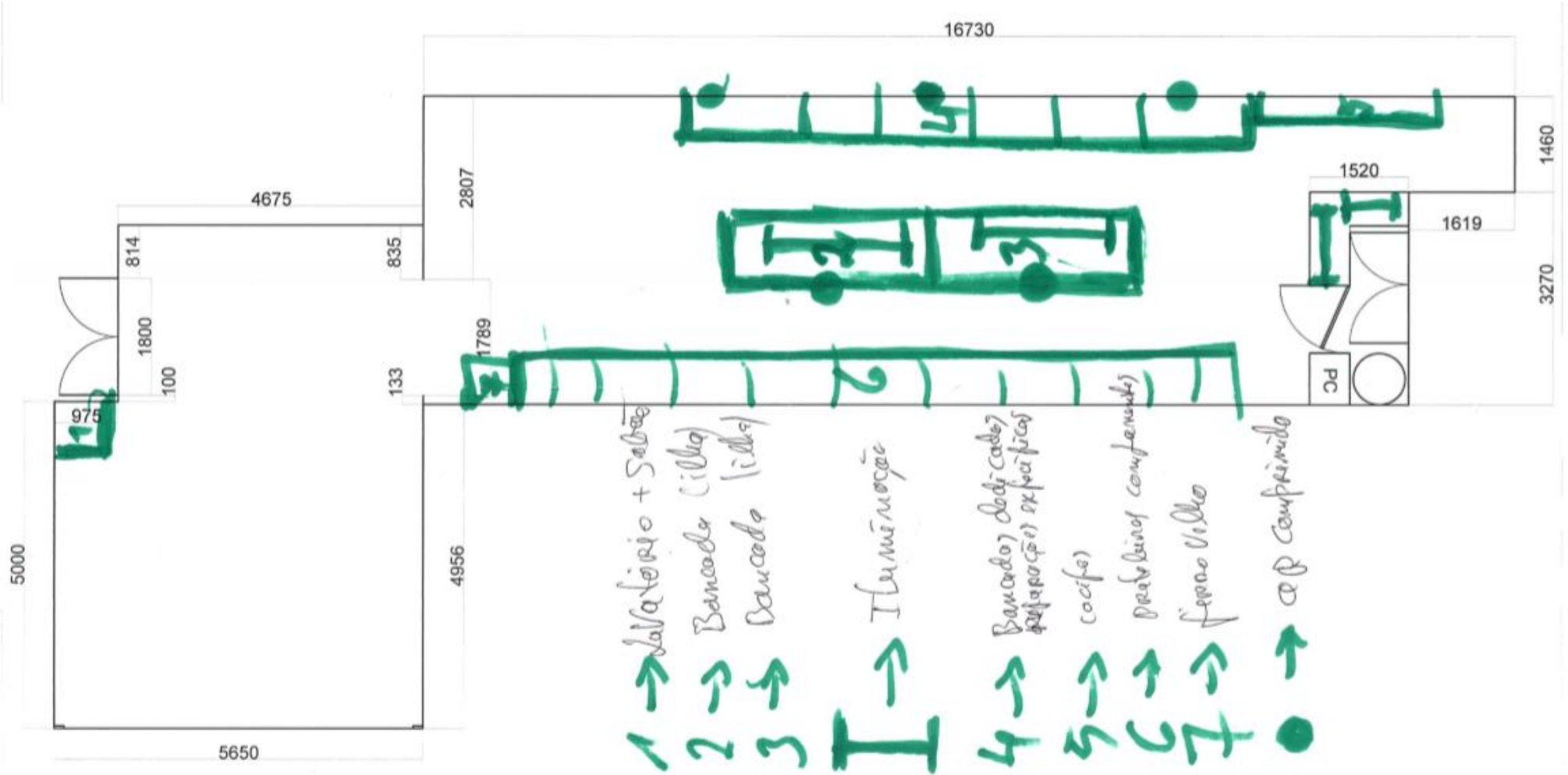


Apêndice VIII – Representação gráfica feita pelos colaboradores do departamento de manutenção

Colaborador 3

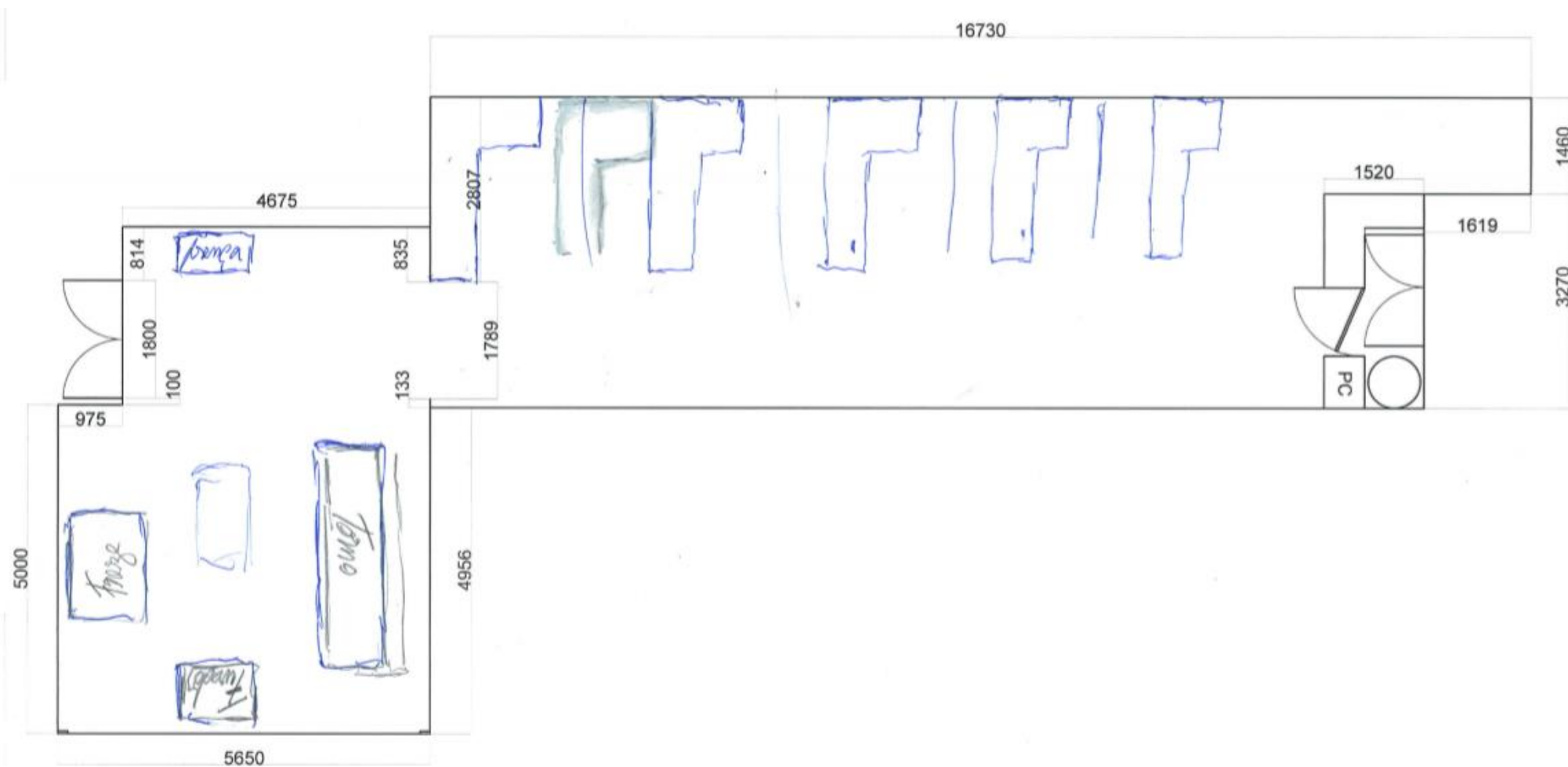


Colaborador 4



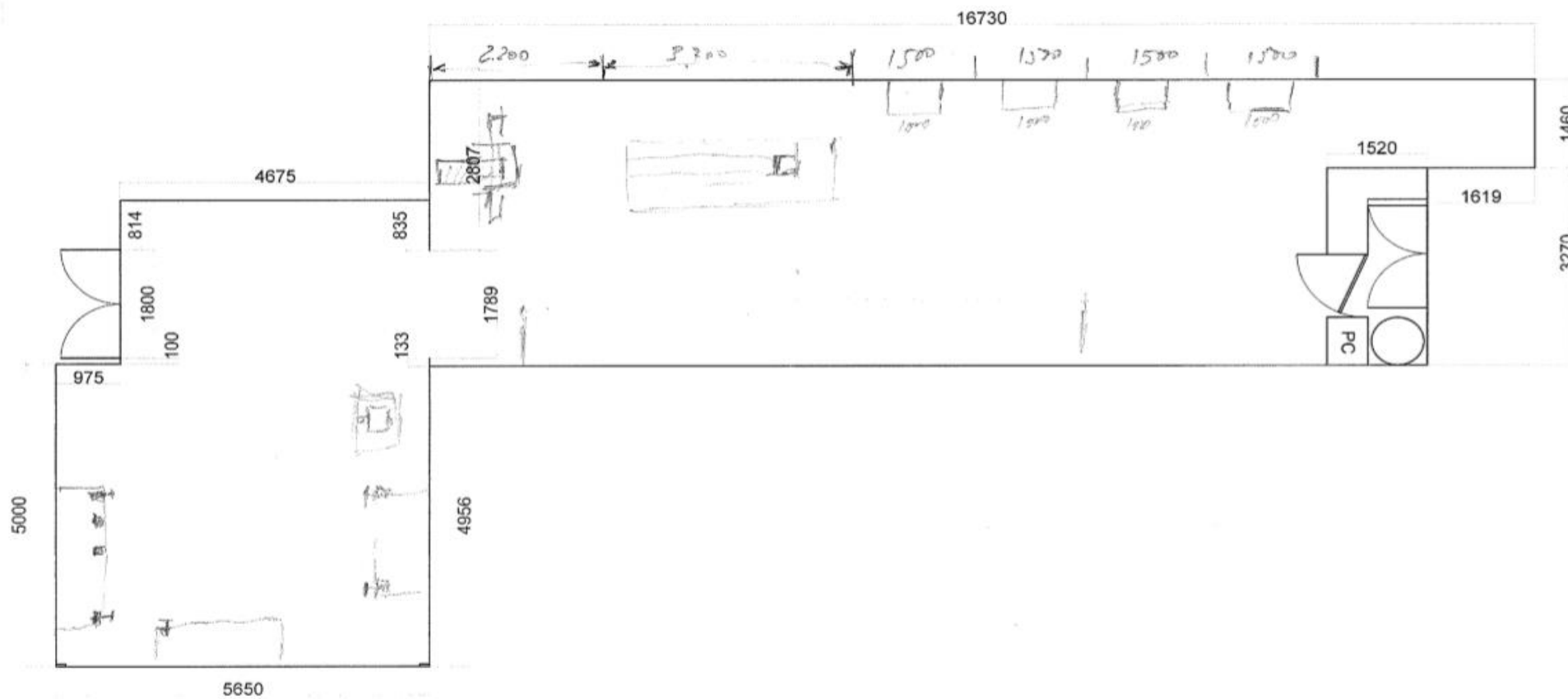
Apêndice VIII – Representação gráfica feita pelos colaboradores do departamento de manutenção

Colaborador 6

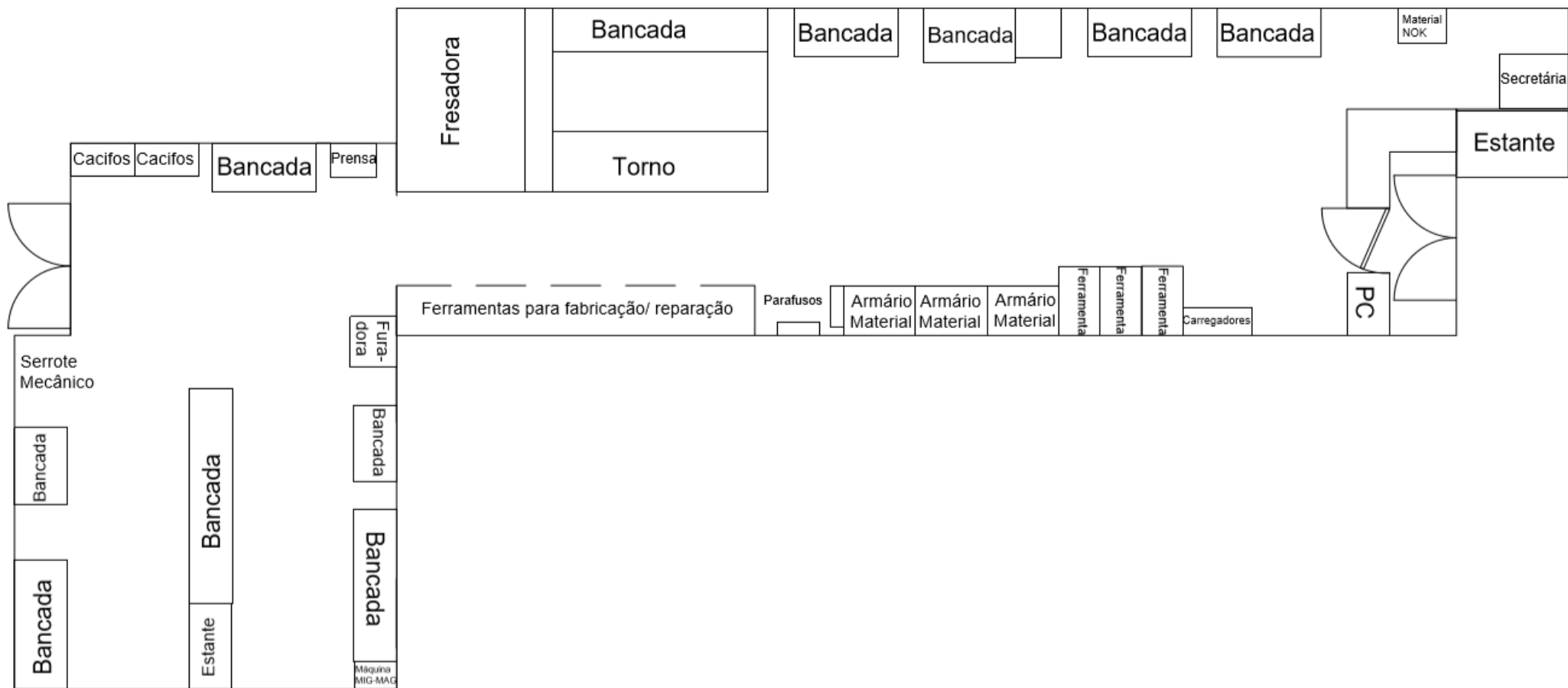


Apêndice VIII – Representação gráfica feita pelos colaboradores do departamento de manutenção

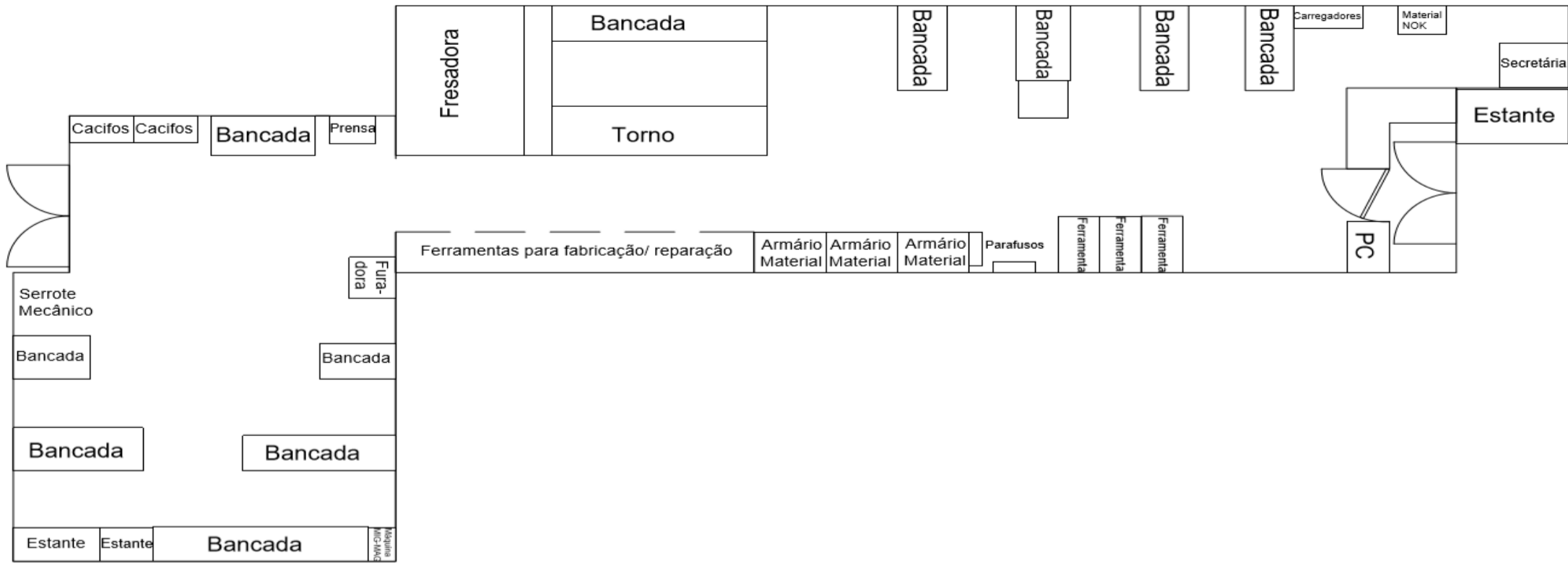
Colaborador 7



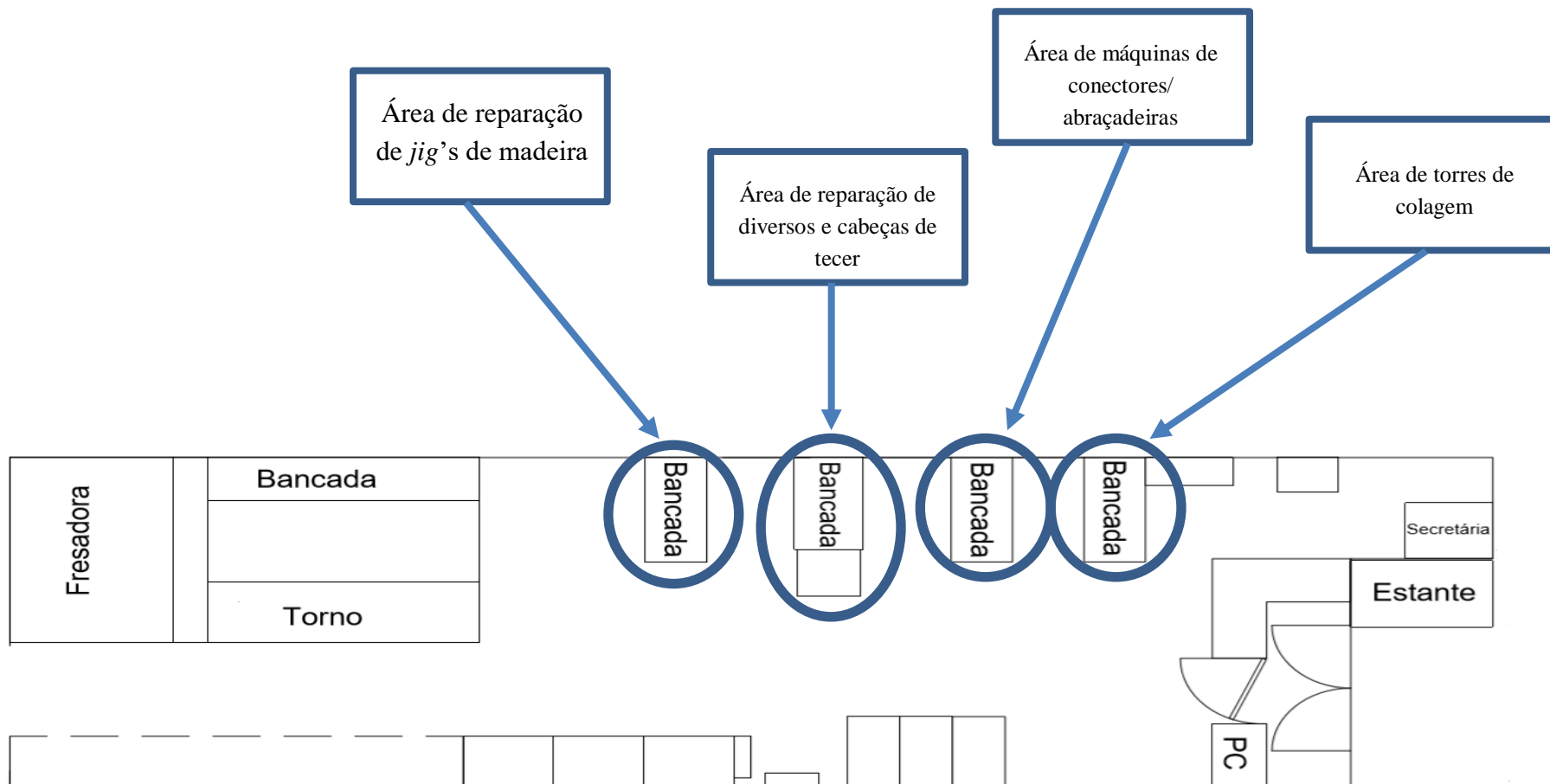
Apêndice IX – Primeira proposta do novo *layout* da manutenção



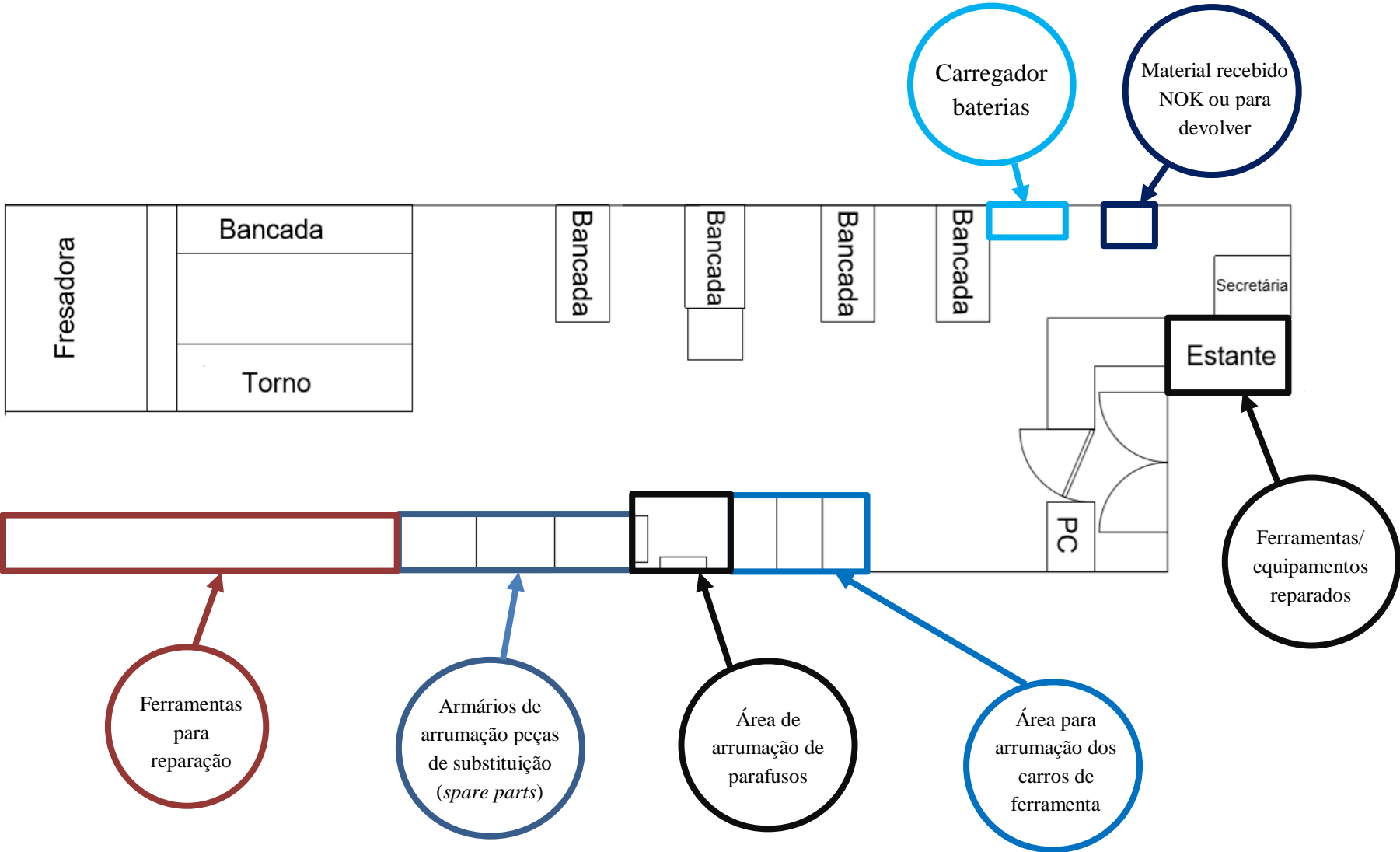
Apêndice X – Layout da manutenção – segunda proposta



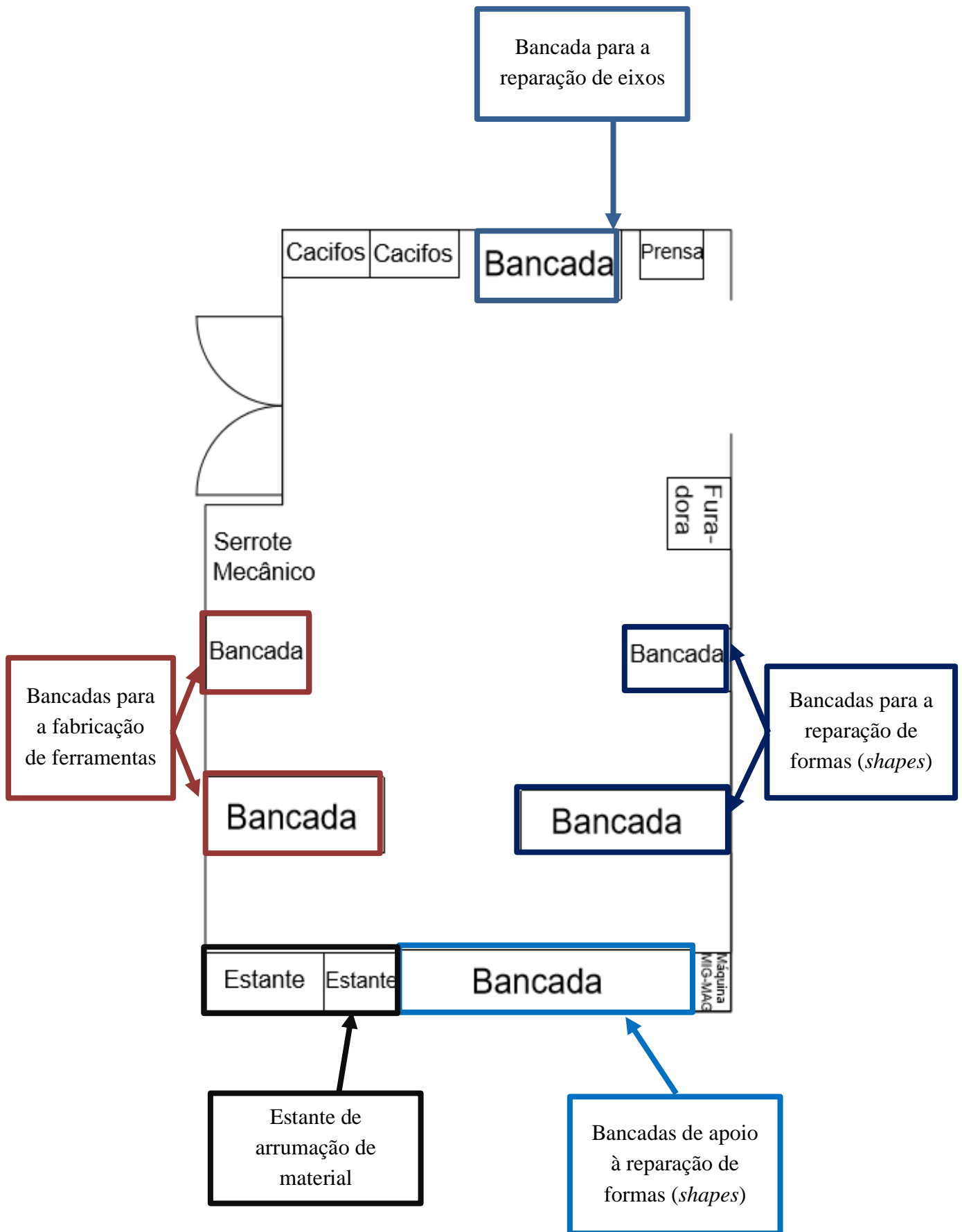
Apêndice X – Layout da manutenção – segunda proposta






Apêndice X – Layout da manutenção – segunda proposta



Apêndice X – Layout da manutenção – segunda proposta



Apêndice XI – Distribuição do material pelas bancadas

Bancada 1	Bancada 2	Bancada 3
Joelhos ar comprimido m5 – tubo 4	Sensor Pepperl+Fuchs ml100-8h	Parafusos de tamanhos diversos para a reparação de <i>jig's</i> de madeira
Joelhos ar comprimido m6 – tubo 4	Seletor ABB mts1	
Cilindro pneumático	Sensor indutivo Telemecanique pam8	
Joelho regulador de caudal m5 – tubo 4	Bobine SMC v111-5lou	
Sensor Omron E2E	Botão pressão ABB	
Agulhas cola	Sensor ótico Contrinex lhr-c23pams-403	
Botão sinalização ABB	Cabo de ligação 3 pinos	
Led's de sinalização	Cabo ligação v111-5lou	
	Te ar comprimido tubo 6	
	Sensor indutivo Telemecanique xs7f1pa01m8	
	Sensor ótico Contrinex lhr-c12pansv-303	
	Sensor ótico Contrinex lhr-c12panmv-303	
	Sensor ótico Contrinex lhs-3131-303	
		

Apêndice XII – Fotografias após a implementação do novo *layout*

Manutenção:

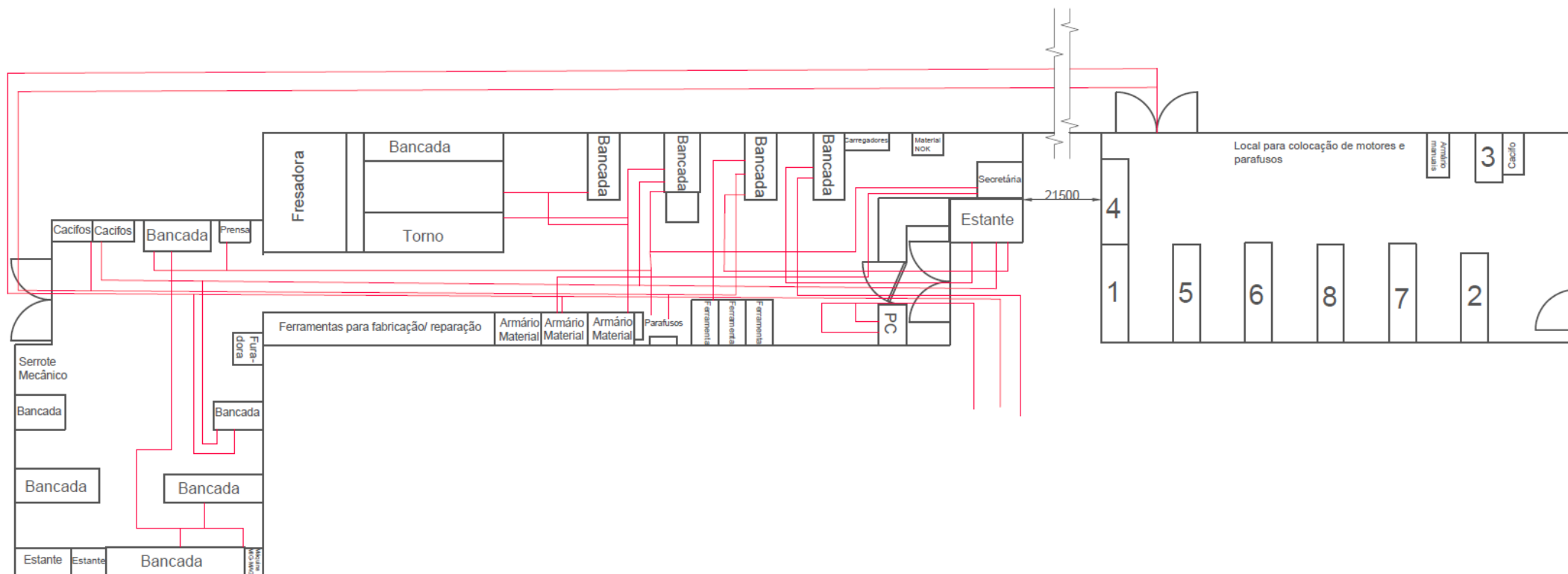


Apêndice XII – Fotografias após a implementação do novo *layout*

Armazém de *spares*

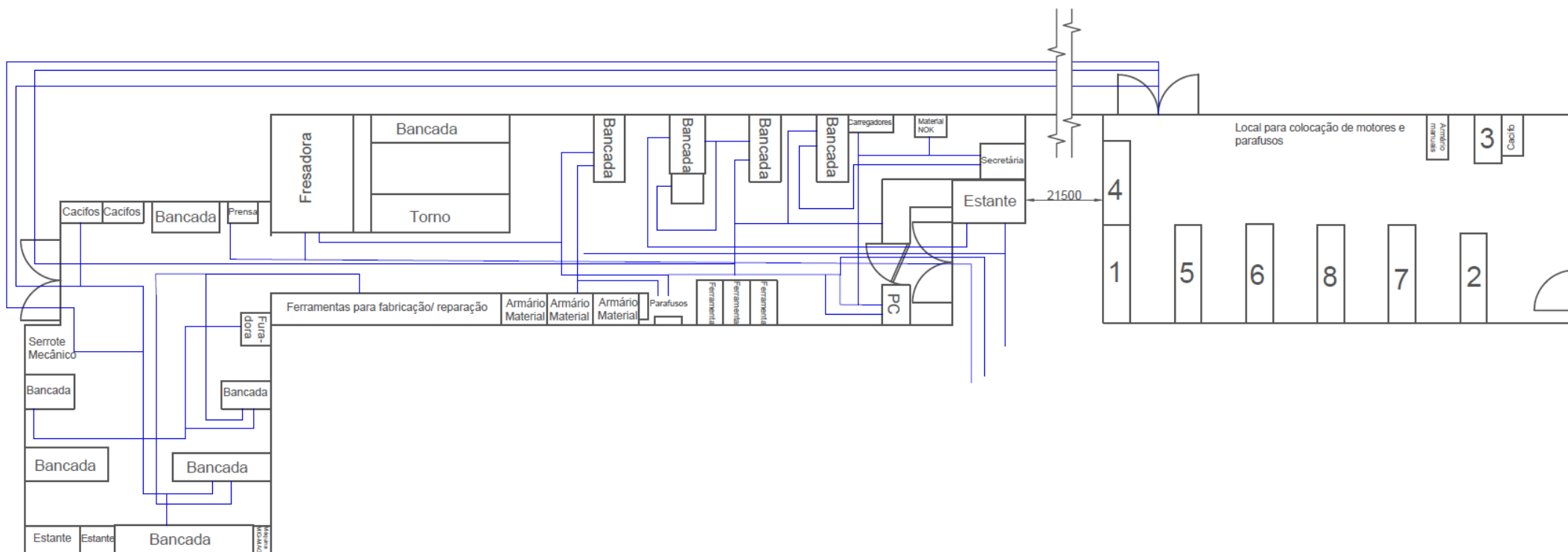


Apêndice XIII – Deslocações trabalhador 1 depois da intervenção



Escala 1:127

Apêndice XIV - Deslocações trabalhador 2 depois da intervenção



Escala 1:127

Apêndice XV - Deslocações trabalhador 3 depois da intervenção

