

Aplicação da Metodologia Lean na Área de Linhas de Montagem na GE Power Controls Portugal

António Manuel Faria Machado Brasil

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Engenheiro Paulo Luís Cardoso Osswald

Orientador na GE: Engenheiro Rui Pedro Inácio Amaro



FEUP

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

2011-07-21

À minha família e à Ana.

Resumo

A realização deste projecto prevê analisar e implementar, através das ferramentas da metodologia Lean, melhorias na produção de disjuntores em linhas de montagem numa empresa de carácter multinacional. Pretende-se um aumento de produtividade conseguido essencialmente através da eliminação de desperdícios e desenvolvimento de acções de melhoria contínua ao longo do processo de montagem.

Respeitando o custo do produto no mercado, a percentagem de mão-de-obra incorporada no mesmo deve ser suficientemente competitiva de modo a levar a cabo novos investimentos por parte dos investidores. Assim, tornar mais eficiente o processo é a chave para atingir esse fim.

O projecto em concreto, confinado às linhas de montagem, tem o objectivo de eliminar desperdício através do uso de ferramentas Lean. Estas têm dois propósitos bem definidos: identificar e eliminar desperdício. Neste projecto desenvolveu-se uma célula de montagem como alternativa ao método existente de produção em linha de montagem, especificamente para o produto de maior produção, que representa 36,34% da produção.

Começou-se por conhecer o produto e o processo, analisou-se este último para o modelo do disjuntor em causa realizando-se análises dos tempos de produção e no que diz respeito ao sequenciamento das operações, dissecou-se todo o processo de montagem com vista à detecção de desperdícios. Sobre este levantamento propuseram-se duas opções de melhoria: balanceamento da situação inicial ou desenvolvimento de uma célula de montagem. A gestão da empresa optou pelo projecto mais arrojado de desenvolvimento de uma nova célula de montagem que fosse à procura de novas formas de montagem de disjuntores.

Nos dados obtidos após implementação denota-se que a opção de implementação de células de produção, na forma que foi desenvolvida através de reengenharia de processo e produto, proporcionou melhorias significativas, ou seja, aumentos de produtividade em 32% traduzido pelo rácio "Nº peças/Operário", face às tradicionais linhas de montagem e possui ainda potencial de crescimento.

O exercício de eliminação de desperdício e o respeito pelas pessoas, ao longo do desenvolvimento e implementação deste projecto, permitiram ainda desenvolver a cultura de resolução de problemas na empresa.

Palavras-chave: Lean, produtividade, células de montagem, eliminação de desperdício.

Application of Lean Methodology in the Area of Assembly Lines

Abstract

The realization of this project will analyze and implement, through the tools of Lean, improvements in the production of circuit breakers on assembly lines in a multinational company. It is intended to increase productivity, achieved mainly through the elimination of waste and development of continuous improvement actions throughout the assembly process.

Respecting the cost of the product on the market, the share of labor embodied in it, must be sufficiently competitive in order to carry out new investments by investors. So, make the most efficient process is the key to achieving this end.

The specifically project, confined to assembly lines, aims to eliminate waste through the use of Lean tools. These are two well-defined purposes: to identify and eliminate waste. This project has developed an assembly cell as an alternative to the existing method of production on assembly line, specifically to the product of increased production, which represents 36,34% of production.

First, it was known the product and the process, analyzed the last one for the model of the circuit breaker in question by performing analysis of production times and with regard to the sequencing of operations, dissecting the entire assembly process with a view to detection of waste. About this survey are two proposed options for improvement: balancing baseline or development of an assembly cell. The company's management opted for a bold project to develop a new assembly cell that was looking for new ways to mount circuit breakers.

In data obtained after implementation, indicates that the option of implementing manufacturing cells, in the form that was developed through re-engineering process and product, provided significant improvements, or in other words, increased in productivity ratio "No. pieces/Worker" by 32%, compared to traditional assembly lines and still has growth potential.

The pursuit of waste elimination and respect for people, throughout the development and implementation of this project, allowed yet to develop a culture of solving problems in the company.

Keywords: Lean, productivity, assembly cells, elimination of waste.

Agradecimentos

Chegando ao fim de mais uma etapa pessoal e profissional, expresso formalmente os meus agradecimentos a todos os que contribuíram para o sucesso da mesma.

Ao Eng.º Rui Amaro pelo apoio e liberdade de acção.

Ao Eng.º Michal Godziszko pela amizade e disponibilidade na discussão.

Às operadoras de linhas, pela vontade em melhorar e adoptar uma cultura de resolução de problemas, assumindo uma posição proactiva.

Aos colegas de estágio, pela companhia e motivação proporcionada.

Ao Eng.º Paulo Osswald pela atenção, disponibilidade e profissionalismo prestado.

À minha família por ter proporcionado todas as oportunidades na minha vida, nomeadamente, a minha mãe Emília pela dedicação, o meu pai Manuel pela capacidade vencedora e de liderança e os meus irmãos Adriana, Andreia e Pedro por serem os melhores amigos.

À minha namorada Ana, pela presença, cumplicidade e apoio incondicional.

Também, a todos os que, mais ou menos, directa ou indirectamente, me proporcionaram as condições e me ajudaram a atingir o objectivo.

Índice de Conteúdos

1. Introdução	1
1.1 Apresentação da Empresa GE Power Controls Portugal	1
1.2 O Projecto "Aplicação da metodologia Lean na área de linhas de montagem" na Empresa GE Power Controls Portugal	2
1.3 Método seguido no projecto	3
1.4 Temas Abordados e sua Organização no Presente Relatório	4
2. Estado da arte	5
2.1 Toyota Production System	5
2.2 Cultura Lean.....	8
2.3 Análise ABC	10
2.4 Mapeamento da Cadeia de Valor: VSM.....	10
2.5 Ferramenta 3P	11
2.6 Gestão Visual.....	12
2.7 Os cinco S (5S)	12
2.8 Uniformização	13
2.9 Estudo dos tempos	15
2.10 Células de produção	16
2.11 Gráficos Yamazumi.....	18
3. Situação Actual nas Linhas de Montagem.....	19
3.1 Análise ABC e Value Stream Mapping.....	19
3.2 O produto 2P1545S	21
3.3 Linha de montagem actual.....	23
3.4 Medição dos tempos de operação do produto 2P1545S	24
3.5 Estudo dos tempos de operação do produto 2P1545S.....	26
3.6 Estudo do estado de balanceamento da actual linha de montagem	27
4. Apresentação de propostas de melhoramento	28
4.1 Proposta 1 - Balanceamento da actual linha de montagem.....	28
4.2 Proposta 2 - Desenvolvimento e implementação de nova célula de montagem	29
5. Implementação da nova célula de montagem	33
5.1 Célula de montagem	33
5.2 Melhorias contínuas	35
5.3 Medição dos tempos de operação do produto 2P1545S	45
5.4 Estudo dos tempos de operação do produto 2P1545S.....	46
5.5 Estudo do estado de balanceamento da célula de montagem.....	47
6. Benefícios obtidos, conclusões e trabalhos futuros	48
Referências	51
7. ANEXO A: Organigrama - GE Power Controls Portugal.....	52
8. ANEXO B: Superfícies máximas e normais de trabalho para os planos horizontal e vertical	53
9. ANEXO C: Value Stream Mapping 2P1545S	54
10. ANEXO D: Subdivisão do processo montagem do disjuntor 2P1545S	56

11.ANEXO E: Compilação dos tempos de operação de montagem do 2P1545S na linha.....	57
12.ANEXO F: Aplicação 3P no design da célula	58
13.ANEXO G: Instruções de trabalho do posto 1	59
14.ANEXO H: Tabela de reabastecimentos diários da célula de montagem do disjuntor 2P1545S.....	62
15.ANEXO I: Compilação dos tempos de operação de montagem do 2P1545S na célula implementada.....	63
16.ANEXO J: Erros linha vs erros célula	64

Siglas

3P	Production, Preparation, Process
5S	Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke
CT	Cycle Time
EHS	Environment, Health & Safety
ELCB	Earth Leakage Circuit Breaker
GE	General Electric
IT	Instrução de Trabalho
JIT	Just In Time
PDCA	Plan, Do, Check, Act
SMED	Single Minute Exchange of Dies
TPS	Toyota Production System
TT	Takt Time
VSM	Value Stream Mapping
WIP	Work In Process

Índice de Figuras

Figura 1 – Vista exterior dos disjuntores de 2 pólos - (1 Fase + Neutro) à esquerda e 4 pólos - (3 Fases + Neutro) à direita.	2
Figura 2 – Eliminação de desperdício no tempo de ciclo.	8
Figura 3 – Ciclo PDCA.	10
Figura 4 – Exemplo de quadro andon em linhas de montagem.	12
Figura 5 – Os 6S (5+1) e eliminação do desperdício.	13
Figura 6 – Índice de actividade laboral.	16
Figura 7 – Quantidades vendidas por modelo de disjuntor em 2010.	20
Figura 8 – Destaque do VSM do processo de montagem.	21
Figura 9 – Disjuntor 2P1545S, vista interior e exterior.	21
Figura 10 – Legenda referente à subdivisão do produto 2P2545S.	22
Figura 11 – Subdivisão do processo de montagem do produto 2P1545S.	22
Figura 12 – Linha de montagem do ELCB, do produto 2P1545S.	23
Figura 13 – Exemplo de folha de registo de tempos de produção do posto 1 da linha para o produto 2P1545S.	25
Figura 14 – Gráfico Yamazumi das operações de montagem do produto 2P1545S nas linhas de montagem do ELCB.	26
Figura 15 – Gráfico Yamazumi previsional para 7 postos na montagem do 2P1545S.	28
Figura 16 – Estação de trabalho modular projectada para a célula de montagem.	30
Figura 17 – Esquema de montagem dos módulos térmico, neutro e diferencial no ramal principal.	31
Figura 18 – Layout célula baseado na reengenharia do processo de montagem do 2P1545S.	32
Figura 19 – Protótipo da estação de trabalho modular modelo para a célula de montagem.	33
Figura 20 – Célula implementada para montagem do produto 2P1545S.	34
Figura 21 – Evolução output diário na célula.	35
Figura 22 – Ferramenta de calibração bimetálica no controlo de qualidade do produto 2P1545S.	36
Figura 23 – Sistema de ar comprimido destinado ao fecho do disjuntor.	36
Figura 24 – JIG de aparafusamento dos três módulos do produto 2P1545S.	37
Figura 25 – JIG de aparafusamento do shunt: antes (à esquerda) e após melhoria (à direita).	37
Figura 26 – JIG de medição da força de disparo no controlo de qualidade do produto 2P1545S.	38
Figura 27 – JIG de soldadura do terminal, relê e resistência.	38
Figura 28 – Pontos de substituição de operações soldadas por rebitagem.	39
Figura 29 – Operação de lubrificação no disjuntor: antiga à esquerda e nova à direita.	39
Figura 30 – Pontos de furação das patilhas do núcleo do conjunto diferencial.	40

Figura 31 – Alteração em 180° da posição de soldadura da trança do borne longo no térmico de fase.	40
Figura 32 – Alterações propostas de uniformização na porca do shunt.	41
Figura 33 – Alterações propostas na resistência: à esquerda, a verde a solução proposta e a vermelho a situação antiga; à direita, a sua aplicação nos módulos do disjuntor.	42
Figura 34 – Aplicação 5S na célula de montagem. À esquerda a desorganização na linha actual e no meio e à direita as medidas tomadas na nova célula.	42
Figura 35 – Imagem do bordo de linha e das identificações nos contentores de abastecimento.	43
Figura 36 – Aplicação 5S no armário de ferramentas do ELCB. À esquerda antes da aplicação 5S e à direita depois da metodologia 5S.	43
Figura 37 – Sistema lateral e deslizante de abastecimento de módulos plásticos.	44
Figura 38 – Sistema de abastecimento frontal de tampas plásticas.	44
Figura 39 – Gestão visual aplicada à estação montagem do módulo térmico (estação 1).	45
Figura 40 – Gráfico Yamazumi da montagem do produto 2P1545S na célula de montagem.	46

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Distribuição dos tempos de operação no processo de montagem produto 2P1545S.	25
Tabela 2 – Dados de produção na linha de montagem.....	27
Tabela 3 – Distribuição dos tempos de operação no processo de montagem na célula.	46
Tabela 4 – Comparação da situação antes e depois das implementações realizadas.	48

1. Introdução

1.1 Apresentação da Empresa GE Power Controls Portugal

A GE Power Controls Portugal é uma área da **GE Energy Industrial Solutions**, um dos dez principais negócios da General Electric Company (USA). A área Energy Industrial Solutions apresenta receitas superiores a \$14B provenientes das seguintes áreas: aplicações, iluminação e eléctrica.

A GE Power Controls Portugal é um dos principais fornecedores europeus de produtos de baixa e média tensão, incluindo aparelhagem de manobra, aparelhagem industrial e residencial de corte e protecção, aparelhos de controlo, invólucros e quadros de distribuição. Os seus principais clientes são fabricantes de máquinas, instaladores eléctricos e distribuidores em todo o mundo.

A GE Power Controls Portugal está sediada em Vila Nova de Gaia. O seu Core Business é produzir e comercializar equipamento de baixa tensão, para áreas residenciais e industriais, tal como: disjuntores, interruptores, tomadas, fichas, conectores, quadros, entre outros. Os disjuntores perfazem aproximadamente 70% das vendas face aos restantes 30% distribuídos pela secção de Wiring (interruptores, tomadas, fichas, entre outros).

Ao nível produtivo, a GE Power Controls Portugal divide-se entre produção de componentes (Metais e Plásticos) e manufactura de produtos (Wiring e ELCB), seguidamente descritos:

Processos de conformação metálica: observam-se essencialmente processos de conformação de chapa, essencialmente por recurso a prensas.

Processos de conformação plástica: São produzidos componentes plásticos que serão incorporados em vários produtos. Na produção estão presentes técnicas como a injeção (onde se transformam produtos termoplásticos) e a compressão (transformação de materiais termo-endurecíveis).

Processos de montagem de acessórios de comando (Wiring): Traduz-se por operações de montagem de tomadas, mecanismos, acessórios, quadros e campainhas.

Processo montagem de disjuntores ELCB - *Earth Leakage Circuit Breaker*: Secção alvo do presente trabalho, esta secção é o coração da empresa sendo o seu bom funcionamento vital. Esta secção consiste actualmente num processo de montagem sequencial de pequenas operações distribuídas por postos típicos de uma linha de montagem. No último posto da linha o produto passa por um primeiro teste de qualidade seguindo depois para o forno onde ocorre estabilização térmica dos materiais e finalmente passa pela linha de teste final onde se realizam controlo de qualidade a 100%, gravação e embalamento.

A estrutura organizacional da *GE Power Controls Portugal* encontra-se no Anexo A.

1.2 O Projecto "Aplicação da metodologia Lean na área de linhas de montagem" na Empresa GE Power Controls Portugal

A aposta na melhoria contínua na GE Power Controls Portugal é motivação suficiente para o desenrolar deste projecto.

Actividades consistentes de Lean na empresa foram iniciadas em 2005 e desde então têm vindo a demonstrar ser capazes de tornar mais competitivo o processo de montagem no ELCB - *Earth Leakage Circuit Breaker*. Durante este projecto, ocorreu total liberdade de acção no seu desenvolvimento proporcionada e incentivada pela gestão de topo.

Os ELCBs são disjuntores diferenciais que têm a função de protecção diferencial (correntes residuais), térmica (sobrecargas) e magnética (curto-circuitos). Nesta área são produzidos, montados e embalados os diferentes tipos de disjuntores diferenciais comercializados pela empresa.

Os vários modelos de disjuntores diferem entre si tendo em conta três aspectos (figura 1):

- ✓ número de pólos, podendo ser bipolares (2 pólos) ou tetrapolares (4 pólos);
- ✓ tipo, variando entre selectivo (S), diferencial (AC) e não diferencial (ND);
- ✓ regulação de corrente (calibre), desde 5A até 90A.

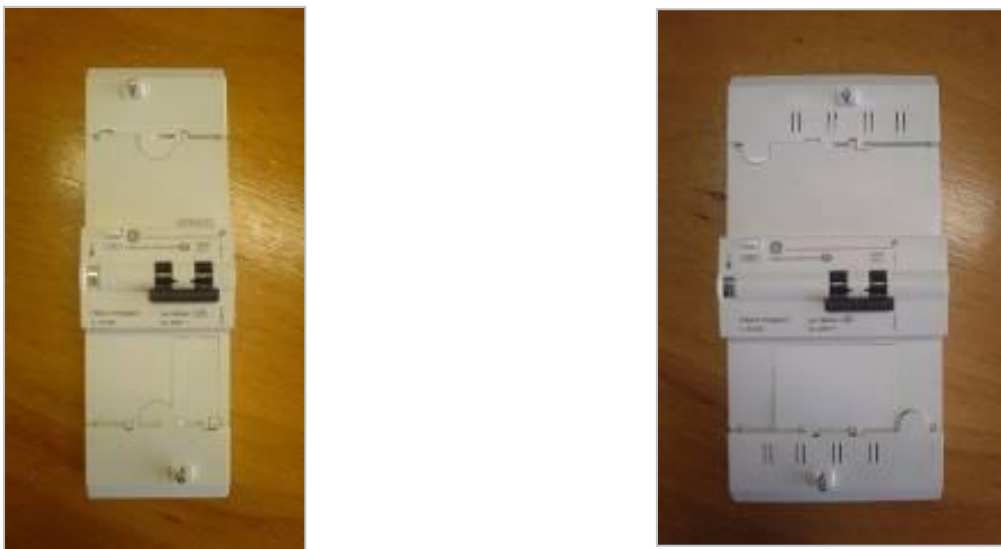


Figura 1 – Vista exterior dos disjuntores de 2 pólos - (1 Fase + Neutro) à esquerda e 4 pólos - (3 Fases + Neutro) à direita.

Relativamente à questão em estudo, existem actualmente, dedicadas ao ELCB, 5 linhas de montagem internas de 2 e 4 pólos e também uma linha de montagem de disjuntores de 2 pólos em subcontrato.

Este projecto enquadra-se num objectivo global da empresa em atingir um aumento de produtividade de 35%. Os objectivos deste projecto passam por aumentar a produtividade em 35% nas linhas de montagem do ELCB, através da redefinição do processo, balanceamento de postos e abastecimentos e melhorias contínuas, i.e., através da eliminação de todos os tipos de desperdício. Pretende-se um output diário em média de 3200 disjuntores/dia e um máximo previsto de 4000 disjuntores/dia distribuídos na produção interna e subcontrato.

O presente trabalho foi desenvolvido na área das linhas de montagem e focou-se na manufatura do produto de maior volume de vendas e projecção no ELCB, o disjuntor 2P1545S-L.

1.3 Método seguido no projecto

Dado que este projecto se insere num objectivo global da empresa de aumento de produtividade em 35% pela eliminação de todo o tipo de desperdícios nas linhas de montagem, ocorre a necessidade de saber onde exactamente actuar, dada a diversidade de produtos.

Ferramentas Lean apresentam propósitos bem definidos, servindo para identificar desperdício com vista á sua eliminação.

Assim, uma análise ABC é a resposta para identificarmos o produto onde nos devemos focar. Seguidamente a ferramenta VSM permitiu mapear o fluxo de informação e materiais e com isso apontar constrangimentos e desperdícios visíveis, interessando para este projecto destacar a parte da cadeia de valor referente às linhas de montagem.

Na abordagem a novas formas de montagem de disjuntores usou-se a ferramenta 3P como auxílio de design e tomada de decisão face a várias possibilidades.

A necessidade de controlo do processo no *gemba* levou à aplicação da ferramenta 5S e gestão visual. Os quadros *andon* são óptimos para controlar em tempo real a montagem e uma metodologia 5S leva à manutenção das condições óptimas dos locais de trabalho, necessárias para uma gestão visual adequada.

No sentido de diminuir toda a variabilidade existente no processo actual de montagem foi necessário recorrer ao uso de ferramentas para garantir trabalho standard ou uniforme. Assim, o cumprimento do *takt time* garante determinadas cadências de produção de modo a cumprir o target diário, o sequenciamento adequado na montagem de equipamentos reduz variabilidades de montagem, diminuindo possibilidades de erro e um standard WIP definido obriga a cumprir os níveis de stocks intermédios existentes.

A falha no balanceamento do processo actual requer que seja estudado esse mesmo estado e para isso o estudo dos tempos e gráficos Yamazumi foram ferramentas eficazes e eficientes.

1.4 Temas Abordados e sua Organização no Presente Relatório

Este relatório está organizado em seis capítulos. O presente capítulo faz uma breve introdução à GE Power Controls Portugal e descreve os objectivos para o Projecto "Aplicação da metodologia Lean na área de linhas de montagem" descrevendo sinteticamente a posição tomada na abordagem ao tema.

No capítulo dois, Estado da Arte, é feita uma contextualização teórica da filosofia Lean e das metodologias e ferramentas que utiliza para pôr em prática essa mesma filosofia.

O terceiro capítulo é fundamentalmente a Baseline ou situação actual nas linhas de montagem. Este ponto é fundamental pois permite-nos saber de onde viemos, i.e., ter um ponto base que espelhe qual foi a evolução introduzida pela prática Lean.

No quarto capítulo são apresentadas duas propostas de melhoria com uma introdução a cada uma delas, fazendo referência à proposta referente à tomada de decisão.

O quinto capítulo descreve fundamentalmente a implementação da proposta escolhida e das melhorias aí desenvolvidas, caracterizando-a de forma quantitativa e qualitativa.

No sexto capítulo desta tese são comparadas as situações iniciais e após implementação das melhorias propostas, destacando-se os benefícios obtidos. Apresentam-se ainda as conclusões da presente tese, conjugando com estas sugestões a trabalhos futuros.

2. Estado da arte

"Toda a teoria deve ser feita para poder ser posta em prática, e toda a prática deve obedecer a uma teoria (...) Foram feitas uma para a outra". (Fernando Pessoa, in 'Palavras iniciais da Revista de Comércio e Contabilidade')

Este capítulo tem como objectivo enquadrar os métodos e algumas das ferramentas Lean no projecto em análise e permitir com isso perceber a descrição existente nos capítulos posteriores.

2.1 Toyota Production System

"O Sistema Toyota de Produção começou quando eu desafiei o sistema antigo" (Ohno, 1996).

O Sistema de Produção Toyota (TPS) demonstrou há muito a vantagem competitiva da melhoria contínua. E, por isso, um leque alargado de diferentes tipos de empresas - aeroespacial, processamento de metais e mesmo produtos de consumo - tentaram já imitar esse tão famoso sistema de produção. A grande maioria falhou (Spear, 1999)!

Sakichi Toyoda (1867-1930) foi o fundador da empresa e também o criador do Jidoka, tendo transmitido os seus ensinamentos ao seu filho Kiichiro Toyoda (1894-1952) que se tornou o primeiro presidente da Toyota e o criador do carro de passageiros Japonês (Ohno, 1996).

Como havia feito anteriormente Kiichiro Toyoda em 1929, na primavera de 1950, Eiji Toyoda, sobrinho de Kiichiro visita os EUA, mais propriamente a fábrica da Ford em Detroit. No final de 1949, um colapso nas vendas levava à instabilidade laboral na Toyota, originando greve dos trabalhadores até à demissão de Kiichiro, que assumiu responsabilidades perante as falhas na gestão. A ambição de Eiji e a sua habilidade foram fundamentais para despoletar uma evolução na Toyota que não mais parou até aos tempos de hoje. Assim, após estudar o processo de manufactura da fábrica da Ford em Detroit, o maior e mais eficiente processo de montagem do mundo, afirmou que pensava haver algumas possibilidades de melhorar o sistema de produção. No entanto, como mais tarde deu conta, esse sistema de produção em massa nunca funcionaria no Japão. Mais tarde, foi com Taiichi Ohno que nasceu o conhecido Sistema de Produção Toyota (Womack, 2007).

Depois da crise do petróleo no início dos anos 70, a Toyota destacou-se à medida que as pessoas notavam a sua capacidade de gerar resultados positivos quando os restantes construtores não o conseguiam fazer.

A chave para o sucesso era o TPS, que foi descrito por uma evolução da necessidade. O mercado exigia cada vez mais sistemas de produção flexíveis e com isso houve a necessidade de melhorar os processos, aumentando a eficiência da produção pela eliminação consistente e completa de todo o desperdício (Ohno, 1996).

Aliás, o TPS foi desenvolvido no sentido de melhorar a qualidade e produtividade, tendo como base duas filosofias centradas na cultura Japonesa: eliminação do desperdício e o respeito pelas pessoas (Jacobs et al., 2009). Estas duas faces culturais são a base do sistema de produção Toyota.

Mas o que é então desperdício?

Muda é uma palavra Japonesa que significa desperdício. *Muda* é portanto tudo o que não acrescenta valor ou dito de outra forma, aquilo pelo qual o cliente não está disposto a pagar. Pode ser visível ou invisível, sendo este último o que predomina, o mais difícil de combater e aquele em que nos devemos focar. Combater o desperdício prevê identificá-lo e para isso, há que ter em conta dois tipos: o desperdício puro (como por exemplo reuniões mal planeadas, avarias e outras paragens) e o desperdício necessário (como por exemplo todo o tipo de actividades como setups, inspecções, serviços administrativos numa industria) (Pinto, 2009).

Existem diferentes origens de desperdício, conhecidos pelos 3Ms: *muda*, *mura* e *muri* (GE Libraries, 2011).

1. **Muda:** Tudo o que consome recursos, não acrescentando valor, pelo qual o cliente não está disposto a pagar e que deve ser eliminado ou reduzido;
2. **Mura:** Variações provocadas por inconsistência na procura ou irregularidades no ritmo de trabalho dos operadores/equipamentos;
3. **Muri:** Sobrecarga sobre operários e/ou equipamentos, resultando em problemas de segurança e qualidade.

Ohno (1912-90) e Shigeo Shingo (1909-90) identificaram, no decorrer do desenvolvimento do TPS, os sete tipos de desperdícios mais conhecidos. Essas sete categorias de *muda* são as seguintes (Pinto, 2009):

1. **Desperdício por excesso de produção:** É considerada o oposto do JIT e nessa perspectiva como um dos desperdícios mais penalizadores. Este desperdício significa que estamos a despender todo o tipo de recursos (físicos, humanos e de capital) quando tal não é necessário e em quantidades desnecessárias. Grandes lotes de produção por necessidade de rentabilizar setups, transportes, lotes económicos, antecipações de produção na expectativa de venda, entre outros, levam a que sejam promovidas consequências negativas tais quais:
 - a) Desnecessário consumo em recursos;
 - b) Antecipação de compra de peças e materiais correspondendo a encargos financeiros não retornáveis no imediato;
 - c) Aumento dos stocks;
 - d) Diminuição de flexibilidade na produção e correspondentes atrasos noutras encomendas.
2. **Desperdício por esperas:** Este tipo de perdas corresponde a todo o tipo de situações em que um operador está impedido de executar a operação seguinte devido a inúmeras possibilidades como espera de peças, espera de desenhos, espera da inspecção, espera das máquinas, espera da informação, espera da reparação da máquina ou simplesmente autorização. As causas mais frequentes são:

- a) Fluxo obstruído por avarias, defeitos de qualidade ou acidentes;
 - b) Atrasos de entrega de encomendas de fornecedores;
 - c) Grandes lotes de produção e capacidade não balanceada;
 - d) Problemas de Layout.
3. **Desperdício por transporte:** Têm consequências por vezes para lá do desperdício temporal como danos nos produtos por manuseamento excessivo. Transporte é qualquer movimentação de materiais entre dois pontos e provoca por norma o caos numa empresa ocupando espaço, aumentando o custo e tempo de fabrico.
4. **Desperdício pelo próprio processo:** Oriundo de operações e processos desnecessários com potencial capacidade em incrementar defeitos de fabrico.
5. **Desperdício por stocks:** Resulta normalmente devido á inexistência de um fluxo contínuo e elevado WIP e é considerado um desperdício devido à existência de material ou produto para além da quantidade necessária por uso de recursos não rentabilizáveis no imediato. Implementando um fluxo unitário de produção podemos reduzir drasticamente este problema. Surge também por fracos Layouts, gargalos na produção, falta de balanceamento, falha de qualidade e mesmo inexistência de SMED. É então uma das melhores formas de encontrar desperdício.
6. **Desperdício por defeitos:** A somar a este tipo de desperdício entram os gastos em re-work, custos de inspecção e reclamações de clientes. Normalmente em função do aumento dos defeitos os índices de produtividade são amplamente afectados. As suas principais causas são:
- a) Aceitar a expressão "errar é humano" quando o objectivo é fazer bem à primeira, mas nada fazer no sentido de minimizar essas ocorrências;
 - b) Ausência de autocontrolo e inspecção;
 - c) Ausência de standardização;
 - d) Erros nos transportes e movimentações de materiais;
 - e) Falha de controlo nos processos.
7. **Desperdício por movimentações ou trabalho desnecessário:** Referente a todos os movimentos do operador não necessários à realização das operações, normalmente originados por:
- a) Falta de formação ou desmotivação;
 - b) Falta de competências;
 - c) Falta de estabilidade nos processos;
 - d) Incorrectos Layouts.

O respeito pelas pessoas é a outra face da cultura Toyota. Respeitar os colaboradores é fideliza-los à empresa, criando laços de longa duração, que garante que em períodos menos bons estes se esforcem em retribuir o respeito que a empresa demonstrou, assim como a empresa contribui em períodos abastados. Significa também usar o operador da "cabeça para

cima" entregando-lhe tarefas onde possam existir melhoramentos cruciais (Jacobs et al., 2009).

O DNA da Toyota Motor Corporation é a base do seu sucesso. É constituído por 4 regras de conduta que definem a forma de interacção entre as pessoas, como os produtos e serviços fluem e como é que as pessoas identificam e abordam os problemas. São então as seguintes (Spear, 1999):

1. Todo o trabalho é devidamente especificado no seu conteúdo, sequência, tempo e resultado;
2. Cada operário sabe quem lhe entrega algo e quando;
3. Todos os produtos e serviços fluem ao longo de um padrão simples e específico;
4. Qualquer melhoria ao processo deve ser feita de acordo com o método científico e com a supervisão de um *sensei* ao mais baixo nível de hierarquia possível.

2.2 Cultura Lean

Implementar Lean é criar uma cultura de resolução de problemas. Como é uma cultura leva o seu tempo a ser implementada.

Foram James Womack e Daniel Jones os primeiros a utilizar a designação Lean Thinking ("pensamento magro") aplicável como conceito de liderança e gestão empresarial, sendo por eles visto como o "antídoto para o desperdício". Assim, pensar Lean é eliminar desperdício, criando valor (Pinto, 2009).

Como afirmou Ohno (1996) "Tudo o que estamos a fazer é olhar para a *linha do tempo* desde o momento em que o *cliente* nos faz o pedido até ao momento em que recebemos o pagamento. E estamos a reduzir essa linha do tempo removendo desperdício de valor não-acrescentado" tal como se pode observar na figura 2.

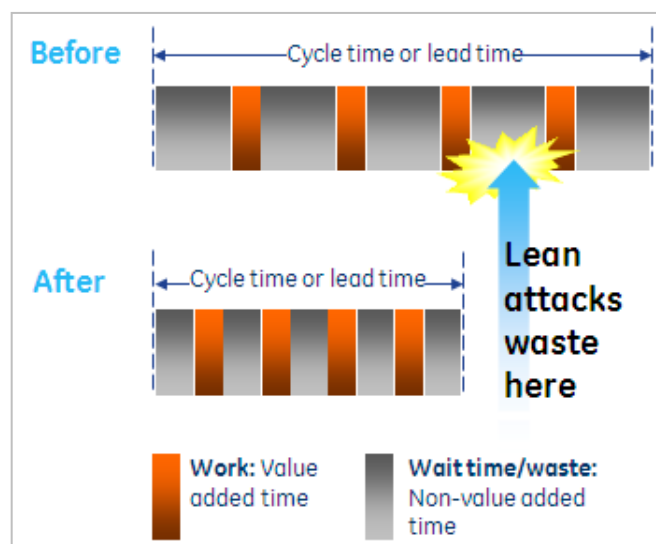


Figura 2 – Eliminação de desperdício no tempo de ciclo (GE Libraries, 2011).

Apesar de eliminação de desperdício e respeito pelos outros serem filosofias que sustentam o TPS, os métodos e ferramentas que associamos ao Lean não são as chaves para a mudança. Estas ferramentas servem essencialmente para identificar e/ou eliminar desperdício.

As verdadeiras chaves para o sucesso são o contínuo compromisso da gestão em investir nas pessoas e a promoção de formas de estar de melhoramento contínuo (Larman e Vodde, 2009).

Estes dois aspectos são de facto as chaves para a mudança segundo o TPS e não são ferramentas ou métodos que se possam aplicar, são antes formas de estar connosco e com quem nos rodeia. Isso sim cria aquilo a que chamamos cultura, personalidade, filosofia.

Pinto (2009) revê os cinco princípios Lean identificados por Womack e Jones (1996) sugerindo a adição de mais dois princípios, o primeiro e o último dos seguintes:

1. Conhecer o Stakeholder;
2. Criação de valores;
3. Definição das cadeias de valor;
4. Optimizar o fluxo;
5. O sistema *pull*;
6. A perfeição;
7. Inovar sempre.

Do Japonês surgiu o termo *kaizen* que significa "mudança para melhor" e é tido desde há muito tempo em conta como uma das formas mais eficazes de melhorar, gradualmente, a performance e a qualidade numa organização. O *kaizen* assenta numa evolução progressiva e não é de rápida implementação, requerendo conhecimentos sólidos e posturas proactivas. Para que um operador assuma uma cultura de melhoria contínua é necessário que possua habilitações para tal e perceba também o porquê de melhoria contínua. Melhoria contínua é constituída por três componentes, seguidamente descritos (Pinto, 2009):

1. Encorajar as pessoas a cometerem erros, de forma a entenderem o motivo de aparecimentos dos mesmos e evitar posteriormente a sua repetição;
2. Incentiva e recompensa a identificação e solucionamento, apoiado na ideia de que quem melhor conhece a ferramenta ou o processo é quem com ele opera;
3. Incute nas pessoas uma posição de insatisfação para com a situação actual, fazendo-as auto-superarem-se, através da transmissão de capacidade de decisão para níveis mais baixos de hierarquia, também dito de *empowerment*.

A melhoria contínua apoia-se em metodologias como o método científico e o ciclo PDCA ou ciclo de Deming como drivers da mudança, sendo estes os meios sobre os quais os métodos e ferramentas Lean podem ser aplicadas (Pinto, 2009).

O ciclo PDCA é uma sequência simples de realização de mudanças o qual pode ser praticado por qualquer pessoa mesmo sem qualquer formação dada a sua simplicidade. Encontra-se dividido em quatro partes e é um modelo dinâmico que serve de apoio à melhoria contínua, como descrito de seguida (figura 3):

1. Plan (Planear): corresponde a definir de forma objectiva o problema em mãos, o background e contexto da situação para que haja uma base de entendimento comum.

Nesta fase podem ser realizadas sessões de brainstorming para se determinarem contra medidas e criar hipóteses de teste;

2. Do (Executar): é a fase de aplicação do que foi planeado anteriormente com vista à obtenção pequenas melhoria ou quick-wins, não se esperando pela solução perfeita. Devem ser obtidos por análise directa dados para o ponto seguinte;
3. Check (Verificar): esta fase corresponde à comparação dos dados obtidos com o planeado determinado os desvios face ao planeado assim como as causas dos mesmos;
4. Act (Actuar): deve agora retomar-se o ciclo PDCA, observando a situação em que se ficou e definir novos targets rumo a uma situação melhor. É altura para se registar as lições aprendidas e boas práticas realizadas e avaliar se as opções tomadas no último ciclo foram eficazes ou não.



Figura 3 – Ciclo PDCA (Kaizen Institute, 2010).

2.3 Análise ABC

Durante o século XIX, o economista Vilfredo Pareto efectuou um estudo sobre a distribuição da riqueza na sociedade Milaneza tendo verificado que 80% dela era detida apenas por 20% da população (Jacobs et al., 2009).

Este teorema serve diferentes propósitos em diversas áreas quando necessitamos de definir prioridades de acção. Este princípio pode ser adaptado de diferentes formas à gestão da produção.

Numa análise ABC deve analisar-se o valor relativo anual de cada referência e calcular-se o impacto dela no valor total. Faz-se então uma ordenação decrescente, separando do maior para o menor, distribuindo-se da seguinte forma: 80% do valor total (classe A), 15% (classe B) e 5% (Classe C) (Courtois et al., 1997).

2.4 Mapeamento da Cadeia de Valor: VSM

“VSM é uma ferramenta de papel e caneta que ajuda a ver e perceber o fluxo de materiais e informações que um produto faz na cadeia de valor” (Rother et al., 1999).

Value Stream Mapping (VSM) corresponde a uma ferramenta de identificação de desperdício, onde se executa o mapeamento da cadeia de valor, expondo-se os fluxos de materiais e informações permitindo assim identificar operações de valor acrescentado ou operações de valor não-acrescentado. É sobre esta última que nos devemos focar. Com isso conseguimos restringir zonas de acção prioritárias no sentido de diminuir o tempo de valor não-acrescentado face ao tempo total nessa mesma zona.

Devemos observar a cadeia de valor no ponto de vista geral, melhorando-a como um todo, e não atender a processos específicos tentando-os otimizar individualmente (Rother et al., 1999).

O VSM é uma ferramenta de arranque aquando da implementação Lean sendo amplamente utilizada. O facto de ser simples e eficaz faz dela uma enorme ajuda no reconhecimento de desperdício ao longo da cadeia de valor e as origens desse mesmo desperdício. O VSM consiste num mapeamento do “estado actual - *as is*” focando desde logo o “estado futuro - *to be*” tentando ir ao encontro da diminuição do *lead time* como aspecto geral. É necessário ser tomado em conta o mapeamento tanto do fluxo de materiais como o fluxo de informação sendo este último aquele que diz a cada processo o que fazer a seguir (Pinto, 2009).

2.5 Ferramenta 3P

A ferramenta 3P (Production, Preparation, Process) é normalmente utilizada por organizações que possuem já aptidões no uso de outras ferramentas Lean e é vista pelos especialistas como uma das ferramentas mais poderosas de transformação e fabricação avançada. Enquanto *kaizen* e outros métodos *Lean* tomam como garantido o processo e procuram realizar melhorias, a ferramenta 3P centra-se na eliminação de desperdício através do design do produto e do processo. É uma ferramenta que leva em consideração os requisitos do cliente e rapidamente cria e testa novos designs de produto e processo com uso de pouco tempo, materiais e recursos financeiros. Este método é realizado num pequeno estágio de alguns dias com envolvimento de diferentes indivíduos num grupo criativo, no sentido de promover novas ideias que atendam a necessidade do cliente, modelando diferentes produtos ou processos. O método 3P representa uma mudança drástica em relação à melhoria contínua pois procura uma melhoria ao nível do desempenho e eliminação de desperdício a um nível muito além daquele que pode ser alcançado pela melhoria contínua dos processos existentes (U.S Environment Protection Agency - 3P, 2011).

É um método em que uma equipa de trabalho despende vários dias a trabalhar no desenvolvimento de múltiplas alternativas para cada processo e avaliando cada uma dessas alternativas face a critérios de produção e custo de investimento. São seguidos os passos abaixo descritos num evento 3P (GE Libraries, 2010):

1. Definir tema e âmbito do evento;
2. Definir a essência do evento;
3. Procurar exemplos do ponto anterior na natureza;
4. Esboçar exemplo e determinar o que ocorre actualmente;
5. Desenhar esboços segundo o conhecimento passado e tema e âmbito do evento;

6. Combinar ideias (7 propostas);
7. Realizar experiências e testes (Moonshine);
8. Realizar experiências e testes reais para recolha de dados;
9. Seleccionar as 3 melhores propostas, melhorá-las e realizar novos testes e recolha de dados;
10. Classificação da informação;
11. Escolha da melhor proposta (modelos e dados já preparados para serem vistos pelas chefias).

2.6 Gestão Visual

Segundo Pinto (2009), Gestão ou Controlo Visual é um processo auxiliar ao incremento de eficácia e eficiência das operações, criando visibilidade lógica e de fácil percepção para, quem quer que seja, perceber a realidade no *gemba*. Segundo ele, uma das características humanas é o facto de percepcionarmos o mundo através da visão e, por esse motivo, promover a exposição visual da informação relevante é sinónimo de promover a comunicação. Isto aplica-se a todos os locais da fábrica e pode surgir de diversas formas: através de quadro *andon* (figura 4), fardas de cores diferentes, espaços definidos no chão, cartões *kanban*, identificações suspensas, entre outros.



Figura 4 – Exemplo de quadro andon em linhas de montagem

(fonte:http://www.toyotaglobal.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/jidoka.html, consultado em Abril de 2011).

Uma correcta gestão visual permite detectar facilmente uma anormalidade e assim despoletar acções correctivas. Isto é extremamente vital quando falamos em competitividade, onde redefinições produtivas são a ordem do dia (Pinto, 2009).

Ter a prática dos 5S é um enorme contributo para implementar a gestão visual.

2.7 Os cinco S (5S)

Ter práticas habituais dos 5S pode ser um aspecto praticado por cada um de nós sem por vezes darmos conta disso mesmo.

Essas práticas procuram minimizar o desperdício e incrementar a performance das pessoas e processos através de uma óptica simples de manutenção das condições ótimas dos locais de trabalho. Os 5S são cinco palavras que em Japonês começam todas com som “s”, devendo ser praticados como descrito abaixo (Pinto, 2009):

1. *Seiri* (organização): Separar o útil do inútil, mantendo no posto de trabalho apenas as coisas necessárias.
2. *Seiton* (arrumação): Definir um local específico para cada coisa; identificar o local das mesmas através de gestão visual tanto nas coisas como no local destinado a elas; privilegiar o mais frequentemente usado junto ao operador.
3. *Seiso* (limpeza): Eliminar todos os resíduos no local de trabalho e área envolvente atacando fontes de problemas; criar uma norma de limpeza para essa zona.
4. *Seiketsu* (normalização): Definir norma geral de arrumação e limpeza para o posto de trabalho tornando assim o local adequado às práticas laborais; identificar as ajudas visuais e procedimentos assim como normas de arrumação e limpeza.
5. *Shitsuke* (autodisciplina): Praticar de forma natural todas as normas e procedimentos anteriormente referidos; eliminar a variabilidade fazendo sempre bem à primeira; verificar cumprimento de arrumação e limpeza e se as acções e inspecções são realizadas em conformidade para com o especificado.

Pinto (2009) afirma que cada vez mais empresas têm acrescentado mais um “S” aos 5S já definidos. Esse novo “S” corresponde à *Segurança* que cada vez mais tem de andar de mãos dadas a qualquer actividade. Assumindo um novo “S” passamos a ter o que podemos chamar de 6S, traduzidos na figura seguinte:

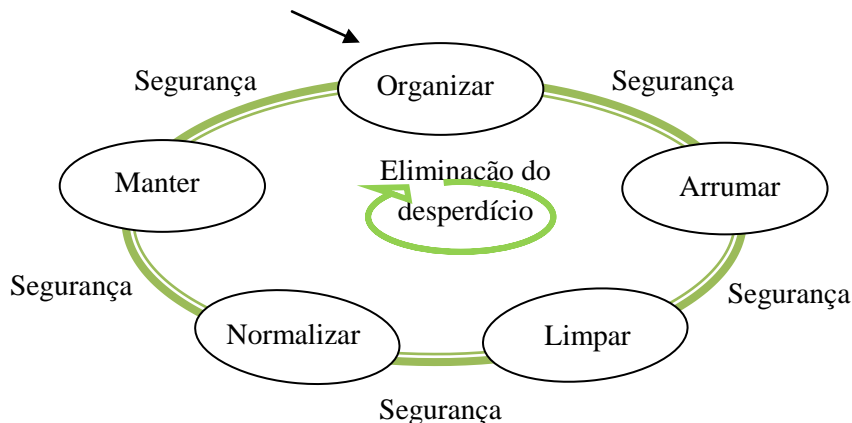


Figura 5 – Os 6S (5+1) e eliminação do desperdício (fonte: adaptado de Pinto, 2009).

2.8 Uniformização

A variabilidade é inimiga do controlo.

Assim sendo, uniformizar todos os processos é das questões com maior relevância na cultura Lean. Uniformizar, padronizar ou standardizar significa que, independentemente de quem seja o operador, o processo desenrola-se sempre da mesma forma, ou seja, seguindo sempre a

mesma sequência, as mesmas operações e usando sempre as mesmas ferramentas (Pinto, 2009).

Seguindo estes pressupostos há uma melhor previsão de controlo do processo que é um aspecto fundamental, através da diminuição da variabilidade do mesmo. Garantindo esse aspecto através da uniformização de equipamentos e ferramentas, materiais e processos de operação, garantimos também a consistência da qualidade, que é um factor largamente apreciado pelo mercado.

A uniformização é atingida quando cumprimos três elementos básicos, sendo eles (Pinto, 2009):

- ✓ Takt Time
- ✓ Sequência de Operações
- ✓ Standard WIP

Obter resultados prevê o cumprimento desses elementos que embora não seja fácil é uma meta a atingir.

Takt Time

A palavra alemã “takt” é expressa para designar um compasso musical, tendo o Japão iniciado o seu uso nos anos 30 com sentido de ritmo de produção nos inícios em que os engenheiros Japoneses estavam a aprender as técnicas de fabrico com a engenharia alemã (Liker, 1998).

A utilização indiscriminada dos termos *Takt Time* (TT) e *Tempo de Ciclo* (CT) leva a equívocos acerca das suas definições e más interpretações dos conceitos a cada um associado.

Takt Time é definido a partir de duas variáveis, marcando com isso o ritmo de produção. Elas são a procura do mercado e o tempo efectivo de produção. Para Ohno (1996) “o takt time é obtido pela divisão do tempo diário de operação pelo número de peças requeridas por dia”.

O tempo diário disponível para produção não corresponde ao tempo total de expediente pelo que deverão ser tidas em conta paragens programadas de diversos aspectos. Assim o tempo disponível para produção é igual ao período de trabalho subtraído do tempo de paragens programadas.

Tempo de Ciclo corresponde segundo Rother e Shook (1998) ao tempo decorrido entre a saída de uma peça e a saída da seguinte, em segundos. Numa linha ou célula é o tempo de execução operacional no posto mais lento, i.e., corresponde ao máximo ritmo possível.

No contexto do TPS, *takt time* é tão ou mais importante que o conceito *kanban*. Ambos se encontram directamente relacionados com a gestão do sistema produtivo; enquanto o *kanban* é particularmente importante quando falamos de produção de lotes de fabricação, o *takt time* é aplicado quando falamos de produção com fluxo unitário como é o caso de células ou linhas de montagem (Alvarez e Antunes Jr., 2001).

Sequência de trabalho

Segundo Ohno (1996), sequenciamento de operações é tal como o nome nos diz os passos cumpridos pelo operador. É a ordem específica, credibilizada como sendo a melhor, pela qual o operador executa os passos de um processo para uma peça.

Standard WIP

O Standard Work In Process (WIP) ou stock padrão corresponde ao mínimo trabalho em curso, intra-processo, necessário para um fluxo operacional correcto, i.e., para uma continuidade nas operações. Devem ser considerados como parte do Standard WIP os itens montados nas máquinas (Ohno, 1996).

Pinto (2009) diz que Standard WIP é a quantidade máxima de stock que flui através das diversas operações quando o processo decorre sem nenhuma variabilidade.

2.9 Estudo dos tempos

Para a realização de um estudo de tempos operatórios usa-se um cronómetro ou máquina de filmar especial. De forma a garantir precisão nas medições efectuadas é necessário cumprir as seguintes fase do processo (Jacobs et al., 2009; Roldão e Ribeiro, 2007):

1. **Preparar cronometragem:** Verificar o cumprimento das Instruções de Trabalho e nível de treino dos operários. A decomposição das operações deve ser tão curta quanto possível medir. Deve ser tido em conta a variação da actividade exercida pelo operador ao longo da jornada laboral, na qual devemos escolher os momentos mais favoráveis para executar as medições (devem efectuar-se várias ao longo do dia e devem evitar-se realizar medições no início da manhã e após almoço).
2. **Executar cronometragem:** Devem ser registados os valores à medida que são obtidos, devendo ser recolhidos tantos quantos o grau de confiança e margem de erro desejados. Deve agora ser tido em conta o "factor de actividade" que é uma estimativa numérica da rapidez de execução face ao ritmo de referência considerado normal. Assim, o tempo normal é obtido multiplicando o tempo medido pelo factor de actividade, dividido pelo ritmo padrão.
3. **Determinar tempo base:** É o que corresponde ao tempo mais provável que é necessário à execução de uma determinada tarefa, sem esforço e a ritmo regular, com a devida coordenação de movimentos adequada. Existem diferentes formas de determinar este valor como o processo da média, o processo do módulo ou então o processo da primeira medida do segundo terço.
4. **Corrigir tempo base:** Nos tempos de base não estão explícitos os tempos associados a fadiga e condições ambientes, originando que os tempos reais de execução sejam superiores aos tempos de base determinados. É necessário adicionar então complementos de repouso e auxiliares ao tempo de base, de forma a compensar esses distúrbios.
5. **Determinar o tempo total:** Possuindo o tempo de base corrigido, podemos então determinar o tempo total necessário à realização das tarefas analisadas, preenchendo então a ficha de instruções ou *Standard Work Combination Sheet*, onde são expostos todos os elementos que compõem uma operação ou conjunto delas.

Segundo Roldão e Ribeiro (2007), os factores psico-sociológicos influenciam a capacidade na actividade exercida por um trabalhador ao longo do período laboral, como representado na figura seguinte (figura 6).

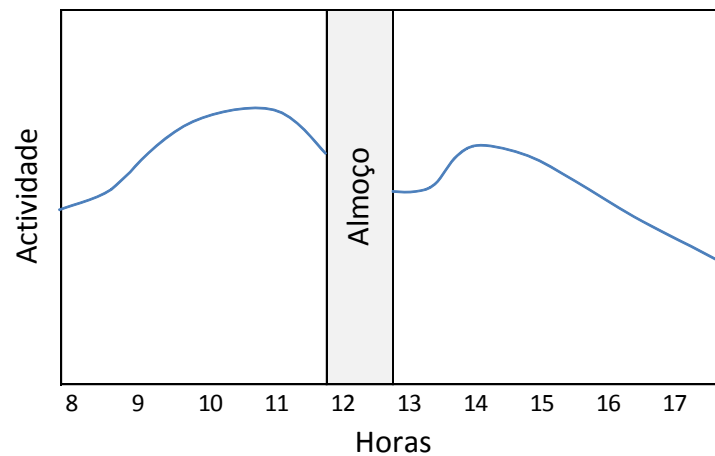


Figura 6 – Índice de actividade laboral (fonte: adaptado de Roldão e Ribeiro, 2007).

2.10 Células de produção

As células de produção surgiram como uma necessidade na organização produtiva na indústria após a 2ª Guerra Mundial.

Contrastando com o sistema de produção maciça, as células de produção vieram flexibilizar a produção através da redução gradual dos tamanhos dos lotes e prazos de fornecimento.

As células de produção consistem numa implantação onde existe um agrupamento de equipamentos diferentes para operar em produtos que possuam formas e processos similares. Este tipo de implementação é similar à implantação funcional dado efectuarem um conjunto específico de processos e à implantação em linha dado as células serem dedicadas a uma gama definida de produtos (Roldão e Ribeiro, 2007).

As suas características básicas são:

- ✓ Dimensão reduzida face à totalidade do processo, mas tratada como uma instalação completa;
- ✓ Possui duas ou mais estações de trabalho independentes dos restantes processos de fabricação, no entanto integrada numa sequência de operações;
- ✓ Procede de forma integrada à transformação de um ou mais produtos.

Com vista à optimização do processo de redução de desperdício podem ser assumidos diferentes tipos de células, optimizando-se o seu layout pelo sequenciamento do processo com menores quantidades de componentes, menor movimentação de materiais e por isso menor WIP.

Face a outros tipos de implantação as células de produção apresentam as seguintes vantagens (Jacobs et al., 2009):

- ✓ Melhores relações humanas, com baixo número de operadores formando equipas;
- ✓ Melhoramento na experiência do operador;
- ✓ Menos WIP e manuseamentos de materiais;
- ✓ Rápido setup dos equipamentos devido à existência de menos tarefas, logo menos ferramentas e respectivos setups.

Os passos para implementação de uma célula de produção são os seguintes (U.S Environment Protection Agency - Cellular Manufacturing, 2011):

1. Compreender e avaliar as condições iniciais;
2. Conversão do Layout baseado no processo;
3. Melhoria contínua do processo.

Quando falamos de células de produção, outro factor fundamental é o fluxo. Assim, o fluxo de materiais deverá estar padronizado, dada a repetitividade e consistência dentro de cada ciclo. Não existe uma única forma para criar um bom fluxo de materiais. Segundo Rother et al. (2002) uma boa forma de o fazer é:

- ✓ Posicionar as peças o mais próximo do local de uso, sem obstruir a passagem de operadores ou outros;
- ✓ Posicionar as peças para que o operador possa utilizar as duas mãos em simultâneo;
- ✓ Tentar manter as várias peças sempre próximas dos dedos dos operadores para eliminar os movimentos desnecessários;
- ✓ Utilizar sistemas poka-yoke de modo a prevenir erros na montagem;
- ✓ Não colocar os operadores da célula a realizar abastecimentos;
- ✓ Não colocar stock adicional de peças na célula, mas criar planos de abastecimento;
- ✓ Utilizar o kanban para regular o abastecimento e produção;
- ✓ Os contentores ou caixas devem ter apenas as quantidades necessárias ao operador ou um múltiplo de embalagem do produto acabado;
- ✓ Criar formas de abastecimento que não interrompam o trabalho do operador.

No desenvolvimento de células de produção é fundamental ter em conta o cumprimento de princípios de ergonomia.

A ergonomia é uma disciplina científica que se encarrega do estudo das características laborais com vista a adequar o local e equipamento do operador, otimizando a eficiência e produtividade, a segurança e o bem-estar do operador (Roldão e Ribeiro, 2007).

O esforço do trabalho desenvolvido deverá ser moderado, cumprindo um ritmo não excessivo e com períodos de repouso compensatórios de modo a evitar o aparecimento de fadiga que, em excesso, diminui os reflexos tornando os movimentos imprecisos e mal coordenados, provocando nervosismo, o que pode levar a falta de segurança e diminuição da qualidade laboral.

Com vista à redução do esforço do trabalho, Roldão e Ribeiro (2007) estabelecem os seguintes princípios:

- ✓ Reduzir amplitude de movimentos através de planos de trabalho adequados;
- ✓ Prevenir esforços inúteis através de ferramentas ergonómicas, leves e comandos suaves;
- ✓ Evitar movimentações angulares e privilegiar movimentos curvilíneos e contínuos, evitando com isso aparecimento de fadiga;
- ✓ Evitar movimentos descontrolados sem existência de guiamentos e batentes;
- ✓ Uso das duas mãos e simetria nos movimentos facilitam reflexos, permitem gerir o ritmo de trabalho e reduzem fadiga;
- ✓ Posição bem definida e orientada dos materiais e ferramentas face ao operador;
- ✓ Desenvolvimento do trabalho com o máximo de comodidade privilegiando um fácil alcance dos materiais e ferramentas.

No anexo B apresentam-se as superfícies máximas e normais de trabalho para os planos horizontal e vertical.

2.11 Gráficos Yamazumi

Yamazumi é uma palavra japonesa que significa literalmente "empilhar". Os gráficos Yamazumi são gráfico de barras empilhadas, através dos quais visualizamos o estado de equilíbrio das cargas de trabalho, ou seja, o tempo de ciclo e o processo dos diversos postos de trabalho numa linha ou célula de montagem. O gráfico Yamazumi pode ser utilizado tanto para um único produto como para uma linha de montagem multi-produto (GE Libraries, 2011).

Através desta metodologia é possível analisar graficamente um processo e realizar acções para conter e/ou eliminar desperdícios. No empilhamento das operações num gráfico Yamazumi são normalmente usadas diferentes cores que se referem ao tipo de valor dessa mesma operação (GE Libraries, 2011):

- ✓ As operações que efectivamente acrescentam valor apresentam-se a verde;
- ✓ As operações que são necessárias para o processo mas que de facto não agregam valor apresentam cor laranja;
- ✓ As operações que potenciam modos de falha visualizam-se a vermelho.

A aplicação desta codificação de cores depende do objectivo do Yamazumi, não tendo necessariamente de ser usada em todas as situações de execução de um Yamazumi. É comum visualizarmos gráficos Yamazumi em fábricas que utilizem metodologia Lean. É uma forma simples, eficaz e eficiente de explicar todos os desperdícios de um processo. Além disso, o facto de ser uma ferramenta de percepção visual simplifica a sua compreensão.

3. Situação Actual nas Linhas de Montagem

Antes de qualquer procura de desperdício, o mais importante é criar uma necessidade de melhoria. Para isso, uma análise ABC seguida de um mapeamento da cadeia de valor permite-nos identificar o produto e áreas com necessidade de actuação. De seguida é fundamental conhecer o produto, o processo e o operador.

Assim, a abordagem adoptada foi no sentido de ir ao encontro das necessidades do operador e não induzir o operador a tomar determinada metodologia que servisse ao processo. O produto é aquilo que liga ambos.

Conhecer o produto foi exactamente saber como funciona fisicamente, porquê e para quê.

Numa primeira fase, o primeiro passo foi desmembrar um disjuntor do modelo 2P1545S-L, conhecer o seu interior e cada um dos seus componentes, acompanhando sempre as instruções de trabalho de forma a sentir numa primeira impressão quaisquer que fossem as potenciais dificuldades. De seguida estudou-se o processo com vista a procurar dificuldades acrescidas na montagem do disjuntor. Depois, e para finalizar esta primeira fase, observaram-se os operadores a trabalhar. Sentir o operador é perceber as dificuldades existentes e os problemas que ele acarreta. Visualmente, sem mais qualquer análise, podemos perceber o que está mal ou menos bem num processo de montagem, apenas pela simples observação do operador aquando do processo de montagem. O operador dá-nos elevada quantidade de informação com a qual devemos trabalhar.

A segunda fase, recolha de dados, consistiu em filmar as operações de montagem do disjuntor em análise, individualmente por posto de trabalho para que se pudessem analisar esses mesmos dados posteriormente. Além disso, acompanhou-se o operador, questionando-o com frequência o permitiu sentir quais as suas dificuldades.

Numa terceira fase, fez-se uma análise e compilação da informação recolhida. Criaram-se *Standard Work Combination Sheet* para cada estação de trabalho, após medição dos tempos de execução das diversas tarefas, assim como se recorreu a gráficos Yamazumi com vista à visualização do estado de balanceamento da actual linha de montagem.

Numa quarta e última fase, calculou-se o estado de balanceamento na linha ao produzir-se o disjuntor 2P1545S-L, designado daqui para a frente apenas por 2P1545S.

Nos pontos seguintes descrevem-se em detalhe os passos acima referidos.

3.1 Análise ABC e Value Stream Mapping

Analisou-se a distribuição das vendas em toda a gama de disjuntores produzidos no período de 01/01/2010 a 01/01/2011 tendo sido obtido o gráfico seguinte (figura 7).

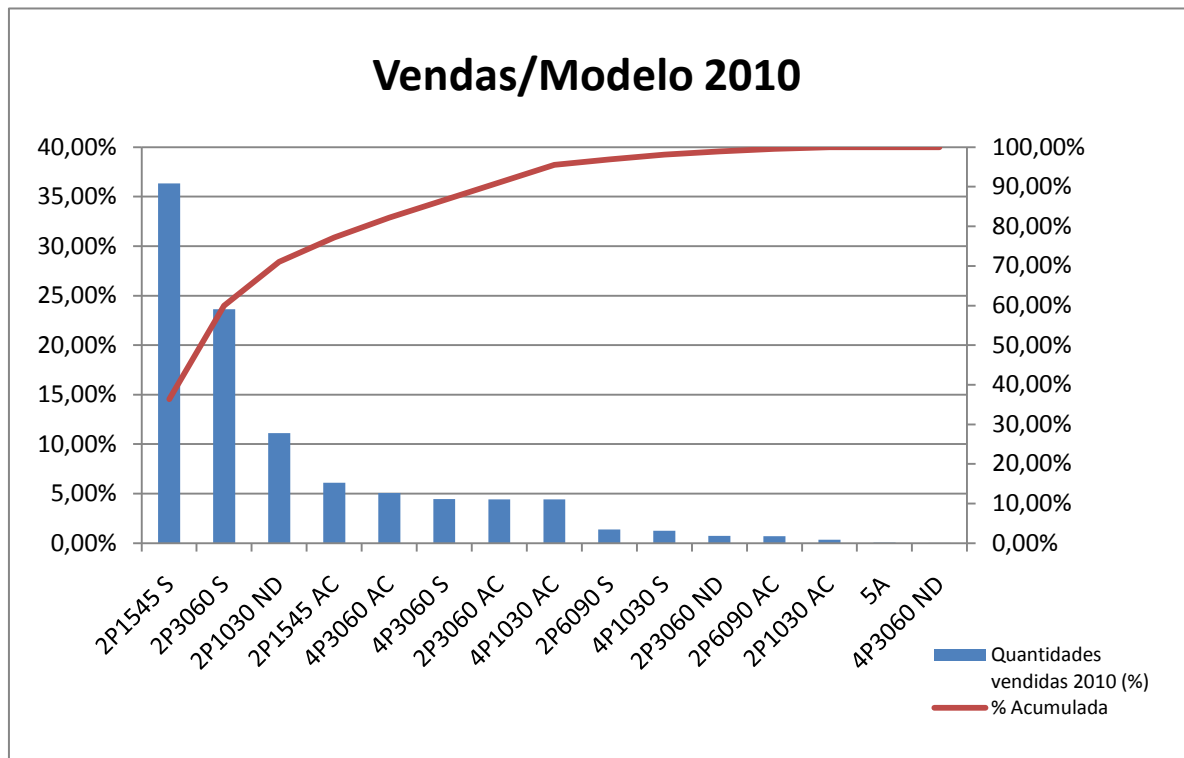


Figura 7 – Quantidades vendidas por modelo de disjuntor em 2010.

Como se verifica, os high-runners (produtos de maior volume de produção) são os modelos 2P1545S (36.34% das vendas) e o 2P3060S (23.62% das vendas), referências extremamente similares no que toca a características, componentes internos e processo de montagem. Dessa forma, será tido em conta o produto de maior volume de produção, ou seja, o 2P1545S como referência piloto na implementação da metodologia Lean, como suporte ao desenvolvimento e implementação de melhorias no processo de fabrico. Dada a elevada proximidade entre estas duas referências, melhoramentos efectuados para o 2P1545S serão facilmente transpostos para o 2P3060S.

"O VSM é para um engenheiro aquilo que uma radiografia significa para um radiologista!" Jon Boucher, GE Lean Leader

O mapeamento da cadeia de valor iniciou-se com o envolvimento das pessoas dos diversos departamentos necessários à sua execução, dada a necessidade de obter diversas informações dos processos (tempos de produção, fluxos, intervenientes no processo, etc.). Desenhar o VSM tem duas fases: primeiramente começa-se com a identificação do cliente e mapeamento até ao fornecedor, de seguida, faz-se o sentido inverso do mapeamento com a identificação das operações de produção do produto em base de análise. São continuamente adicionados os tempos de valor acrescentado e valor não acrescentado numa linha temporal situada abaixo do mapa. O mapeamento da cadeia de valor do produto 2P1545S encontra-se no anexo C, no entanto podemos ver na figura 8 o destaque do mapeamento correspondente no processo de montagem.

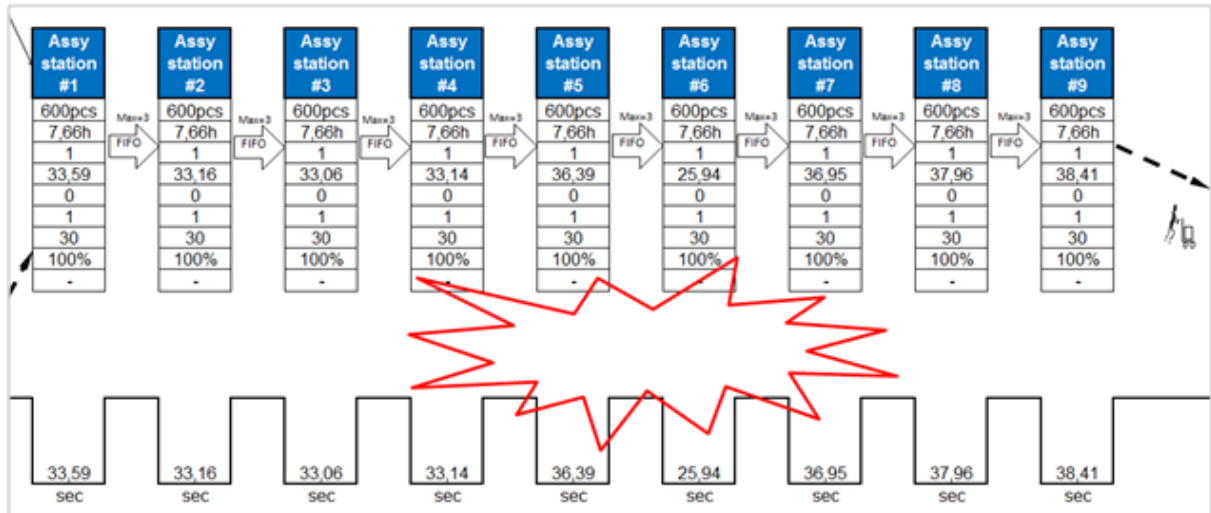


Figura 8 – Destaque do VSM do processo de montagem.

Com esta análise verificamos que o processo de montagem de disjuntores apresenta um elevado estado de desequilíbrio entre postos de trabalho, com valores que vão desde aproximadamente 26 a 38.5 segundos de operação.

3.2 O produto 2P1545S

O produto em análise, modelo 2P1545S, é um disjuntor bipolar, selectivo e com regulação de corrente de 15 a 45 amperes (figura 9).

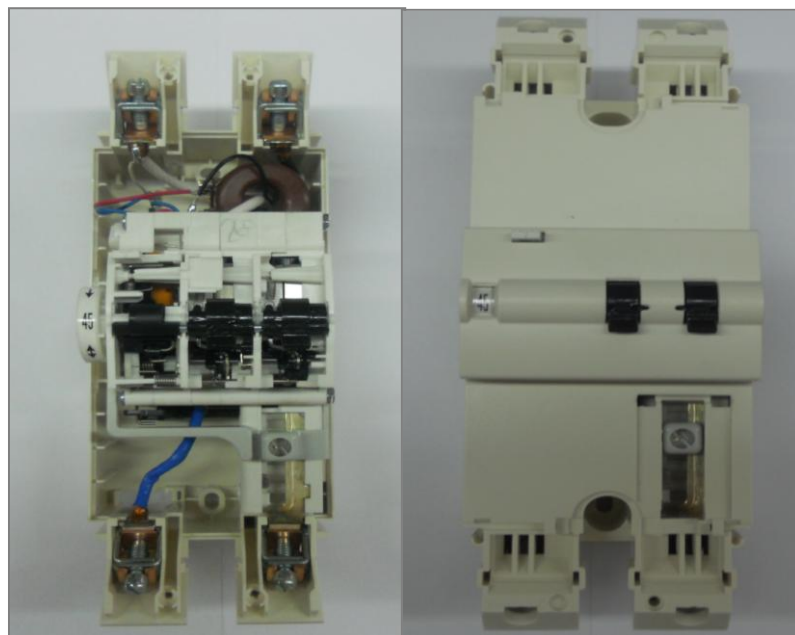


Figura 9 – Disjuntor 2P1545S, vista interior e exterior.

Para a subdivisão das operações do produto em análise usou-se como legenda os símbolos da imagem seguinte (figura 10).

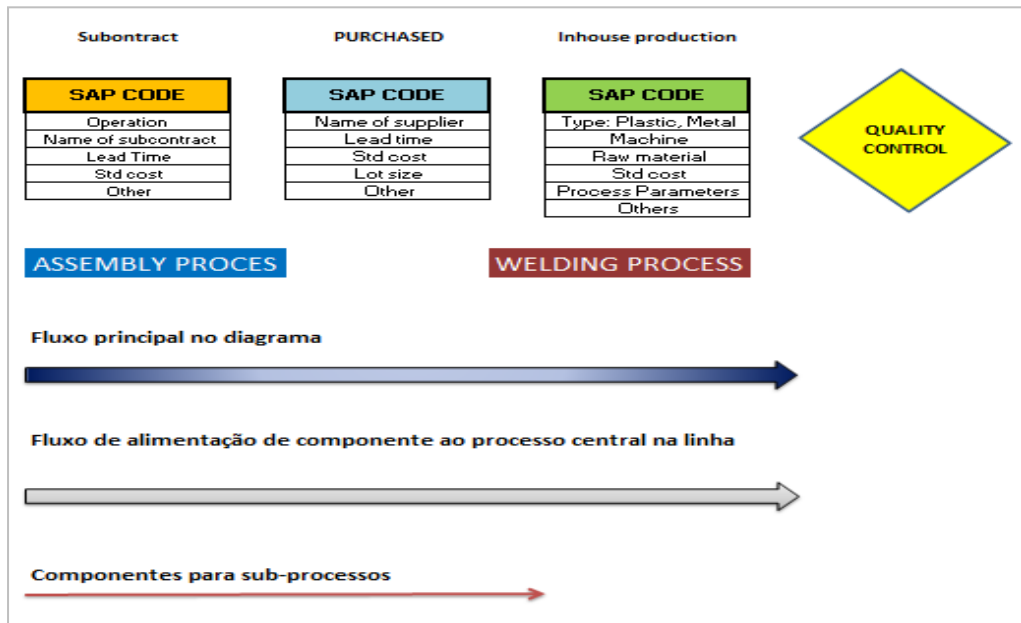


Figura 10 – Legenda referente à subdivisão do produto 2P2545S.

De modo a conhecer-se a sequência de montagem assim como todas as conexões existentes directa e indirectamente ligadas à linha de montagem, foi devidamente subdividido o processo de montagem do disjuntor em análise, acompanhando as Instruções de Trabalho existentes, apesar de estas estarem desactualizadas dado que estão planeadas para 10 postos quando a situação corrente trabalha com 9 postos em linha.

Devido à elevada extensão do mapeamento, este encontra-se no anexo D. No entanto, para se ilustrar a subdivisão do produto colocou-se um pequeno recorte da totalidade do mapeamento efectuado na figura 11.

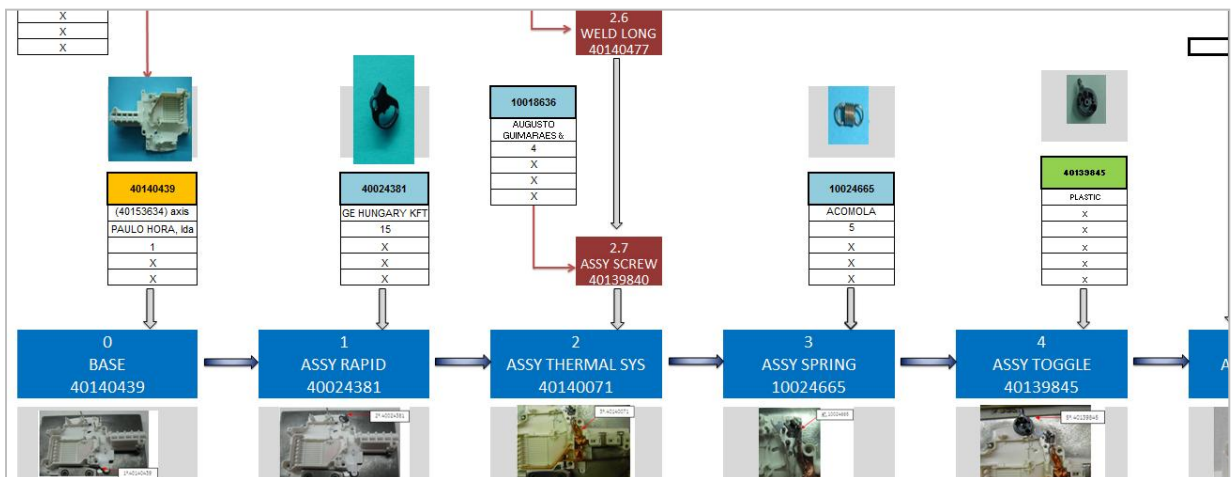


Figura 11 – Subdivisão do processo de montagem do produto 2P1545S.

Pela figura anterior temos uma fácil percepção do processo de montagem do produto 2P1545S, pelo que esta dissecação do processo de montagem, apesar de morosa, permite conhecer a fundo a cadeia de valor deste produto, servindo também para realizar diversos melhoramentos na cadeia logística do mesmo. Permite, ainda, conhecer o processo, que

componentes são produzidos internamente, quais os componentes adquiridos e quais os que provêm de subcontrato. Em todos estes, são referidos os dados como lote encomenda, lead time, custo standard, entre outras informações.

Para conhecer o produto nada melhor que explicar desta forma todo o actual processo.

3.3 Linha de montagem actual

O processo de montagem do aparelho é realizado numa típica linha de montagem (figura 12).



Figura 12 – Linha de montagem do ELCB, do produto 2P1545S.

As linhas trabalham com 9 operadores, com fluxo de montagem da direita para a esquerda e o operário encontra-se sentado no posto de trabalho durante todo o processo de montagem. Os materiais nem sempre se apresentam à frente do operador ocorrendo movimentos pouco ergonómicos para acesso a alguns componentes, o que origina falhas nas questões relacionadas com o cumprimento de normas de EHS (Environment, Health & Safety), assim como, acumulação de tempos de ineficiência na montagem. Também o reabastecimento não é feito correctamente, dado não serem cumpridas quantidades (excesso de material que leva por vezes a dificuldades de manuseamento de alguns componentes) e timings de entrega.

3.4 Medição dos tempos de operação do produto 2P1545S

A medição dos tempos foi realizada via filmagem das operações na linha de montagem (figura 12) e posterior análise cronometrada. Estas gravações foram executadas no início (9h) e meio (10h) da manhã e meio (15h) da tarde, de modo a detectar as variações da actividade ao longo do dia de trabalho.

A cronometragem efectuou-se acompanhando as instruções de trabalho existentes para a montagem nos postos de trabalho da linha. No entanto, a sequência usada pelos operários na montagem nem sempre correspondia ao sequenciamento nas IT (Instruções de Trabalho), pelo que poderão ter ocorrido ineficiências aquando do estudo realizado. Também o não seguimento das IT por parte dos operários poderá ser sinal de que estas não contêm a sequência que ergonomicamente melhor facilite a montagem, o que talvez indique uma necessidade de reformulação das IT.

Existem alguns processos para se determinar os tempos de base, a partir dos valores medidos, corrigidos pelo factor de actividade. Neste caso, dado que se consideraram valor medidos em diferentes períodos de actividade laboral, além do facto dos operários serem experientes na realização das tarefas, consideraram-se os ritmos de referência iguais a 1, i.e., o tempo normal de operação será igual ao tempo medido, dado este vir já afectado de variações de actividade ao longo do dia.

Os tempos de base foram obtidos seguindo o processo da “média”, em que o tempo de base será o correspondente à média aritmética das medições efectuadas. O uso deste método é aplicado quando o número de observações é reduzido ou quando a natureza do trabalho implica tempos de execução bastante diferentes para um mesmo elemento de trabalho. Neste caso usou-se devido ao baixo número de observações.

Normalmente recorre-se a uma correcção dos tempos de base obtidos. Esta correcção é fruto de uma necessidade de incluir eventuais influências de fadiga na realização das operações que progressivamente modificam o tempo real de montagem, tornando-o superior ao tempo de base pré-determinado. Neste modelo não será assumido esse aspecto, dado o objectivo de estudar uma nova linha de montagem totalmente modificada ou então melhorar a existente, prevendo-se uma melhoria generalizada nos postos de trabalho, desde ergonomia, ao bem-estar do operador, passando pela eficiência operacional.

As medições efectuadas em cada estação de trabalho foram colocadas em modelos que permitiram posteriormente trabalhar os dados. A título de exemplo, as medições efectuadas para a estação de trabalho 1 foram compiladas da seguinte forma (figura 13).

Process for	ELCB 2P1545S	TIME OBSERVATION FORM										Observation Date	Analysis Number	
Observation		Station 1										Observer	A. Brasil	
No.	Component Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Lowest Elemental Time	Highest Elemental Time	Average
1	Base from box	1,9	1,4	1,9	2,5	1,7	1,7	2,0	2,0	2,2	1,8	1,4	2,5	1,9
2	Rapid from box & Assy	3,3	4,2	3,1	2,2	4,0	3,7	3,0	2,8	3,2	3,1	2,2	4,2	3,3
3	Assy thermal sys	8,3	7,4	6,1	6,7	6,2	10,7	13,8	7,2	8,4	6,9	6,1	13,8	8,2
4	Place the spring	2,5	2,8	3,3	2,5	3,5	3,1	2,9	2,5	3,6	4,9	2,5	4,9	3,2
5	Adjust Thermal system	3,9	4,9	4,3	5,7	5,4	4,9	4,0	4,8	4,2	4,3	3,9	5,7	4,6
6	Toogle assy	2,8	2,3	3,0	2,0	2,2	2,1	2,1	1,6	2,1	2,6	1,6	3,0	2,3
7	Martelo assy	3,5	2,7	2,5	2,8	2,6	2,7	3,1	2,9	2,7	4,0	2,5	4,0	3,0
8	Arc chamber assy	1,9	2,3	2,0	2,9	2,2	1,8	2,0	2,6	2,4	2,0	1,8	2,9	2,2
9	Spring handle & spring	5,0	4,4	5,2	4,9	4,6	4,8	5,4	5,0	5,3	5,5	4,4	5,5	5,0
Time for 1 Cycle		33,1	32,4	31,4	32,2	32,4	35,5	38,3	31,4	34,1	35,1	31,4	38,3	33,6

DBS-0001 01/97
Operator: Palmira Carvalho

Figura 13 – Exemplo de folha de registo de tempos de produção do posto 1 da linha para o produto 2P1545S.

Nesta análise registaram-se 10 observações em cada estação de trabalho. Os resultados obtidos encontram-se compilados no anexo E.

No processo de montagem do disjuntor 2P1545S, a distribuição dos tempos de operação relativamente ao tipo de operação realizada encontra-se na tabela seguinte (tabela 1). As operações foram classificadas em 6 tipologias: adicionais, ajustamento, controlo, pré-montagem, montagem, e movimento.

Tabela 1 – Distribuição dos tempos de operação no processo de montagem produto 2P1545S.

Posto de trabalho	Soma dos tempos médios [s]						Sub-Total
	Adicional	Ajustamento	Montagem	Controlo	Movimento	Pre-montagem	
#1		4,64	27,04		1,91		33,59
#2		1,72	27,84		2,29	1,31	33,16
#3	3,17	2,33	18,89	1,48	1,33	5,86	33,06
#4		3,58	18,86		1,45	9,25	33,14
#5	5,59		25,20	4,24	1,36		36,39
#6		2,58	16,90		1,55	4,91	25,94
#7	4,65	11,47	15,71		2,07	3,05	36,95
#8			33,30	1,50	3,16		37,96
#9			16,33	18,66	3,42		38,41
Sub-Total	13,41	26,32	200,07	25,88	18,54	24,38	308,60
	4%	9%	65%	8%	6%	8%	100%

3.5 Estudo dos tempos de operação do produto 2P1545S

No sentido de perceber as eventuais irregularidades na linha de produção criou-se um gráfico Yamazumi sendo esta ferramenta a base figurativa para análise da situação corrente.

Como se verifica no gráfico Yamazumi seguinte (figura 14), existe uma elevada discrepância nos tempos de operação, entre postos de trabalho. Apesar de o Cycle Time (CT) ser sempre inferior ao Takt Time (TT), i.e., o objectivo diário de produção ser facilmente atingido, a linha não se encontra balanceada existindo assim um excesso de mão-de-obra disponível.

Rapidamente se conclui que a redução da mão-de-obra na linha é viável. O método a abordar passa então por reformular o sequenciamento de tarefas em cada posto, redefinindo previamente o número de postos necessários.

Na montagem deste produto o sequenciamento das operações não se encontra uniformizado, não correspondendo à sequência imposta pelas IT que foram sendo alteradas na prática, de modo a tentar equilibrar postos, como se observa pelos postos 1 a 4, sem, no entanto, se corrigirem as IT aquando desses balanceamentos.

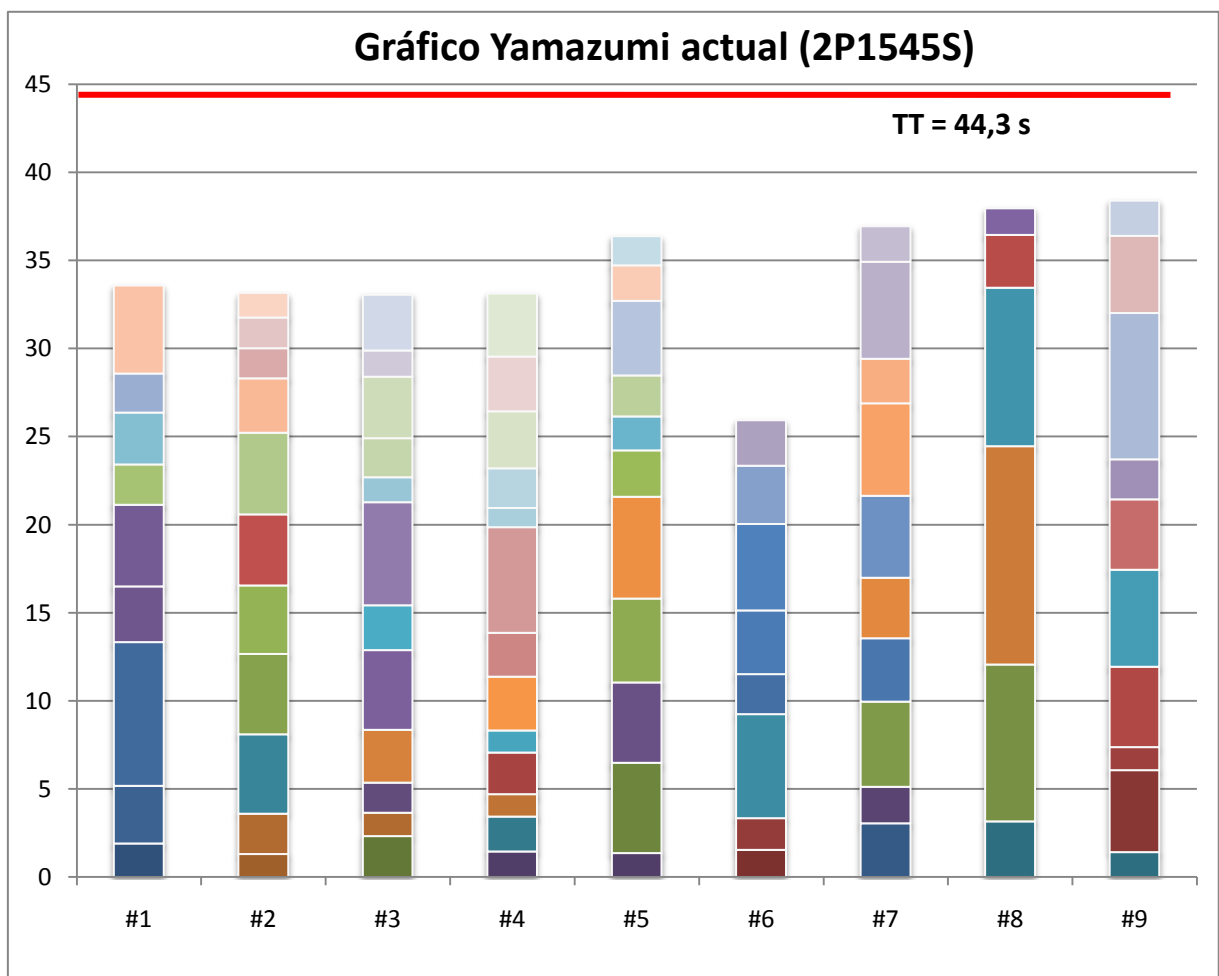


Figura 14 – Gráfico Yamazumi das operações de montagem do produto 2P1545S nas linhas de montagem do ELCB.

3.6 Estudo do estado de balanceamento da actual linha de montagem

Na situação actual, como referido anteriormente, visualizam-se diversos desperdícios que ocorrem em todos os postos de trabalho.

Como já visualizado na figura relativa ao gráfico Yamazumi, o Takt Time é igual a 44,3 segundos, para uma meta diária de 610 peças, assumindo um período de 27000 segundos,

$$TT = \frac{\text{Tempo efectivo de produção}}{\text{Quantidade produzida}} = \frac{27000}{610} = 44.3 \text{ segundos}$$

Com vista à determinação do número teórico de estações de trabalho, temos da análise efectuada que:

Σ tempos de operação = 308.6 segundos

Takt Time = 44.3 segundos

Então o número mínimo de estações de trabalho necessárias é:

$$N^{\circ} \text{ estações trabalho} = \frac{\Sigma \text{ tempos de operação}}{\text{Takt Time}} = \frac{308.6}{44.3} = 6.97$$

Arredondando para o inteiro acima, sabemos de antemão que sem qualquer outro esforço de melhoramento produtivo a linha se encontra sobredimensionada (9 estações de trabalho) e é passível a redução de pelo menos dois operários, simplesmente através do rebalanceamento da linha de produção para 7 operários.

Ao nível da uniformização, as instruções de trabalho não são cumpridas sendo o operário quem define dentro daquele conjunto de operações, mais ou menos como monta os componentes. O objectivo passa por eliminar isso e fazer com que independentemente do produto e do operador, a sequência de montagem seja sempre a mesma, ou seja, criar trabalho uniforme de montagem originando com isso melhor controlo operacional no que diz respeito à variabilidade do processo.

Considerando os 9 postos das linhas actuais de produção, a situação inicial do projecto é traduzida na tabela 2, pelos seguintes números, referentes a valores médios:

Tabela 2 – Dados de produção na linha de montagem.

Produção (peças/dia):	610
Nº Estações de trabalho:	9
TT (s):	44,3
Nº Peças / Operário:	68

O rácio "Nº peças / Operário" serve como indicador de produtividade.

4. Apresentação de propostas de melhoramento

O estudo da situação actual serviu para caracterizar qualitativa e quantitativamente a situação corrente de montagem de disjuntores no ELCB.

Neste capítulo são apresentadas duas propostas de melhoria à situação descrita no capítulo anterior sob duas formas distintas. A primeira corresponde a um balanceamento da situação actual, equilibrando os tempos de montagem em todos os postos de trabalho existentes, desenvolvendo novas instruções de trabalho correspondentes a essas alterações e estabelecer também trabalho uniforme. A segunda situação é uma abordagem bastante diferente na óptica do processo de montagem e corresponde ao desenvolvimento e implementação de uma célula de montagem com aplicações de metodologia Lean e reengenharia do processo no ELCB.

4.1 Proposta 1 - Balanceamento da actual linha de montagem

Esta proposta corresponde a um balanceamento das operações de montagem na actual linha, redefinindo o número de postos de nove para sete e estudando a sequência e correspondentes operações de montagem em cada novo posto para um mesmo output diário de 610 disjuntores. É uma solução que apresenta resultados mais rápidos, sem restrições relativas ao abastecimento de componentes por aumento de operações nos postos, mas com relações de precedência operacionais. Esta medida não apresenta necessidade de investimentos. Com esta proposta prevê-se atingir uma produtividade traduzida por 87 peças/operário.

Objectivamente, a situação futura após implementação da proposta e estudo dos tempos de operação, poderia ser traduzida pelo gráfico da figura 15:

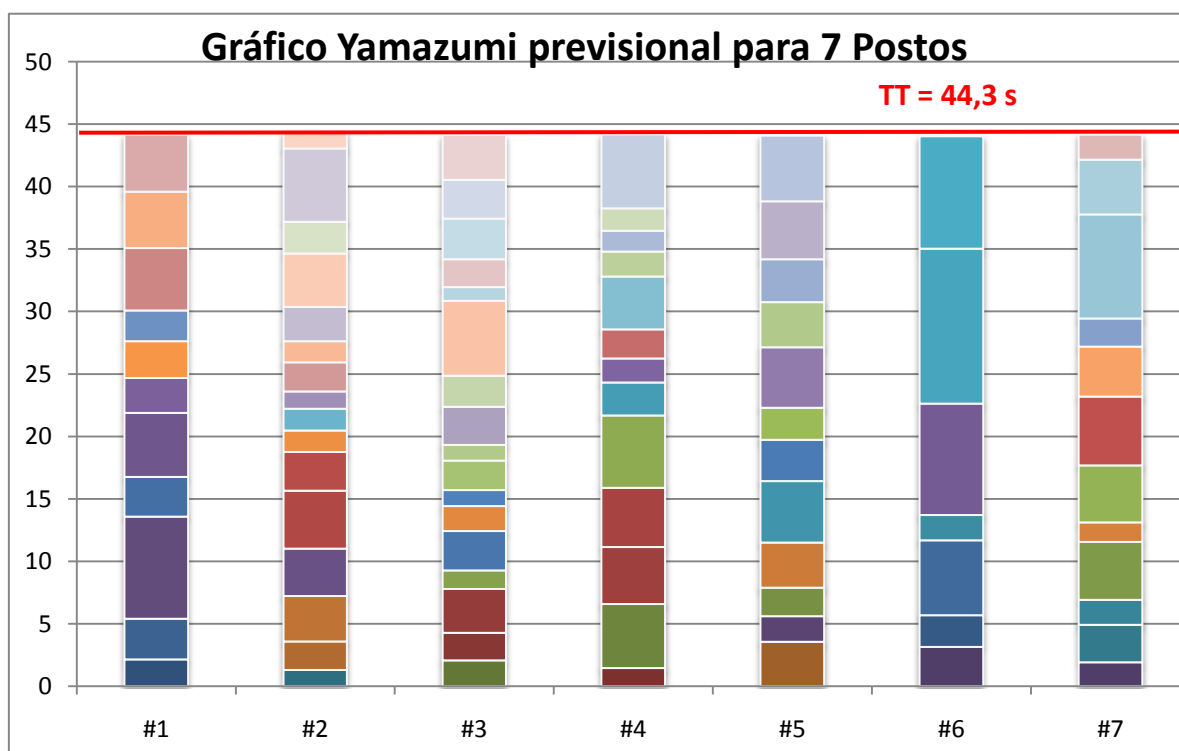


Figura 15 – Gráfico Yamazumi previsual para 7 postos na montagem do 2P1545S.

4.2 Proposta 2 - Desenvolvimento e implementação de nova célula de montagem

Esta proposta, mais complexa que a primeira, corresponde em traços gerais a desenvolver e implementar uma nova célula de montagem para o disjuntor 2P1545S.

Para este desenvolvimento ocorre a necessidade de realizar-se reengenharia de processo no sentido de enquadrar novas formas de montagem, garantindo integralmente a qualidade associada ao produto.

Esta proposta para uma nova célula de montagem apresenta como características principais a forma em U, o conceito de trabalho em pé, melhor ergonomia e maior flexibilidade de produção, melhor sincronização produtiva, possibilidade de entreaajuda, melhor relação entre operadores e aumento das suas competências, diminuição do WIP e diminuição da variabilidade de montagem, entre outras.

O desenvolvimento desta proposta correspondeu inicialmente a uma fase de concepção (pontos 1 e 2) e depois a uma fase de implementação (ponto 3).

Para isso, seguiram-se os passos seguintes:

1. Compreender e avaliar as condições iniciais, definindo uma baseline;
2. Conversão do Layout baseado na reengenharia do processo;
3. Melhoria contínua do novo processo.

Na GE Power Controls Portugal usa-se o mesmo conceito de montagem desta série de disjuntores desde que estes começaram a ser produzidos na empresa, no início do século. Assim, a proposta 2 surge numa tentativa de desenvolver uma nova forma mais eficiente de montagem e também devido à apresentação de mais-valias relativas á reengenharia, algo que nunca foi feito deste o arranque desta série de disjuntores.

Neste sentido, esta foi a proposta privilegiada pela gestão de topo, que desde o início referiu que deveriam ser estudadas formas de montagem que fossem mais eficientes, dado que não encontravam na situação corrente potencial de evolução significativa.

A concepção e o desenvolvimento de uma célula de produção não é algo que se execute fácil e rapidamente. Para mudar toda a estrutura de produção para células devem ser avaliadas as vantagens destas e como tal, integrar todos aqueles que contribuam para o seu desenvolvimento deve ser prioritário. O operador foi durante todo o trabalho ponto chave no seu desenvolvimento, contribuindo com ideias e diminuindo com isso resistências à mudança. Esta atitude vai ao encontro da implementação de uma cultura de resolução de problemas.

Na concepção e desenvolvimento de uma nova célula de produção deve-se cumprir um conjunto de passos até chegar a especificações válidas para execução. Esses passos encontram-se desenvolvidos nos pontos seguintes.

Definição da baseline

A concepção e desenvolvimento de uma nova metodologia de montagem pressupõe conhecer bem aquilo que se quer fazer e isso nem sempre se verifica. Isto porque apesar de se saber que se pretende melhorar, que se pretende eliminar desperdício, que se pretende aumentar a qualidade do produto e do processo e que se pretende aumentar a eficiência, nem sempre se sabe como fazer tudo isso ao mesmo tempo. Assim, compreender e avaliar as condições iniciais definindo uma baseline corresponde a definir determinadas medidas e targets que se considerem como viáveis de atingir de forma a cumprir determinados trade-offs existentes.

Como se sabe, o somatório dos tempos de montagem no processo nas linhas existentes é, como apresentado na tabela 3.1, de 308,60 segundos. Neste novo processo procurou-se que a eliminação do desperdício através das melhorias realizadas e da reengenharia do processo fossem por si só suficientes para aumentar a eficiência na montagem de disjuntores e que não tivesse de ser o operador por incremento do "factor de actividade" a elevar os índices de produtividade, ou seja, o output por operador e por dia (output/head).

Estabeleceu-se numa fase inicial um TT elevado, dada a incerteza dos novos tempos de produção, de modo a detectar-se desde o início todos os desperdícios nesta nova célula. No entanto, o target desta célula, definido pela gestão de topo como uma necessidade no aumento de competitividade da empresa face a mercados externos, corresponde a 300 disjuntores produzidos por dia, definindo assim um takt time de 90 segundos e um rácio diário "nº peças/operário" igual a 100. O potencial de melhoria na montagem de disjuntores com estes valores alvo face à situação descrita no capítulo 3 é de 47,1%.

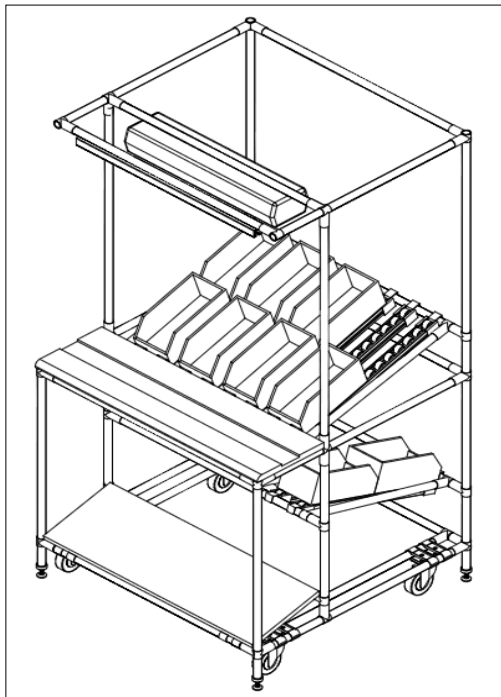


Figura 16 – Estação de trabalho modular projectada para a célula de montagem.

A intenção de aumentar ao máximo a flexibilidade da célula de montagem, ainda mais numa fase de desenvolvimento, levou à ideia de desenvolver estações de trabalho modulares ao invés de integrais, como mostra a figura 16.

A integração de ar comprimido, ligação eléctrica, iluminação, rodas e afinadores directamente na estação de trabalho autonomiza-a sendo com isso fácil e rápido qualquer ajuste necessário.

Pretendeu-se também integrar informação visual em cada uma delas com as instruções de trabalho referentes às operações de montagem respeitantes a si mesma e outras informações relevantes.

A apresentação de materiais é realizada sempre de frente para o operador de modo a reduzir eventuais desperdícios e movimentos ergonomicamente errados.

Dada a menor quantidade de produção diária nesta célula, ao nível de abastecimentos, é possível melhorar os problemas que surgiam nas linhas relativamente às quantidades excessivas de materiais que originavam perdas de tempo na manipulação dos mesmos.

O fluxo da montagem é sempre da direita para a esquerda, tal como já praticado anteriormente.

Layout baseado na reengenharia do processo

O estudo do produto 2P1545S revelou que este é constituído por 3 subconjuntos principais que formam entre si o interior do disjuntor. Assim, o novo processo de montagem do disjuntor partiu dessa ideia, em que seriam criadas montagens independentes dos diferentes módulos térmico, neutro e diferencial.

Mais uma vez realizou-se, detalhadamente, a subdivisão do novo processo de montagem estudado para o produto 2P1545S. Isso permitiu perceber quais seriam as dificuldades resultantes de alterações na sequência de montagem, eliminação de algumas operações e adição de outras, desenvolvendo-se assim um layout inicial para a nova célula de montagem.

Assumiu-se então que o fluxo funcionaria como "espinha de peixe" com os subconjuntos a entrarem no ramal principal (figura 17). O objectivo desta disposição é retirar variabilidade ao processo de montagem do aparelho.

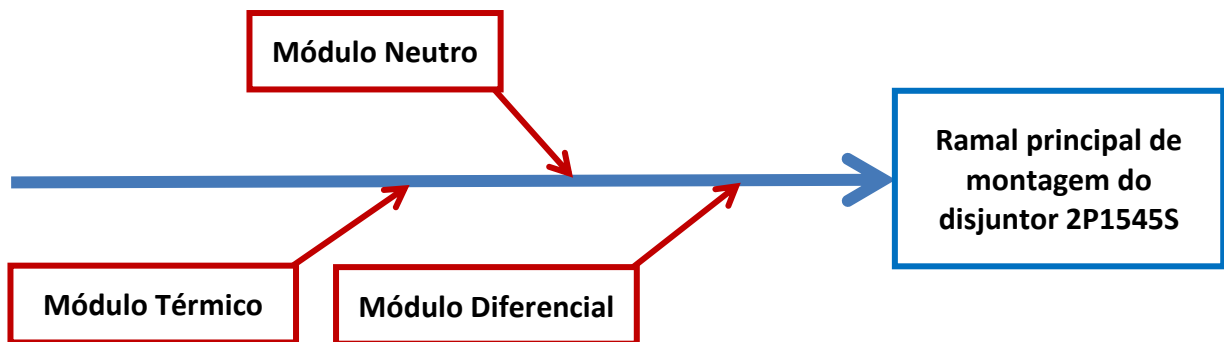


Figura 17 – Esquema de montagem dos módulos térmico, neutro e diferencial no ramal principal.

Com o desenvolvimento de um processo independente de montagem dos módulos do disjuntor foi possível isolar em cada estação de trabalho os desperdícios referentes a cada um desses mesmos subconjuntos de montagem e afincadamente procurar eliminar todos os problemas em cada uma delas, tornando-se assim mais fácil identificar e analisar a origem dos problemas.

O conhecimento do produto é fundamental para que se execute uma subdivisão adequada da sequência de operações, isto porque existem precedências de tarefas a realizar e isso poderia desde logo comprometer todo o esquema proposto. Assim, todas as restrições do processo, como, por exemplo, o facto do operador que realiza a soldadura do núcleo ter de ser diferente daquele que verifica o estado de qualidade da mesma, impõe desde logo restrições operacionais. Devem ser conhecidas todas essas restrições antes de iniciar este trabalho e deve-se também procurar sempre a preciosa opinião dos operadores dado serem estes que em primeira instância sentem os distintos problemas existentes (operacionais e/ou ergonómicos).

No design da célula de montagem recorreu-se à ferramenta 3P, seguindo o método descrito no capítulo 2.5. O painel de informação sobre o desenvolvimento desta ferramenta encontra-se no anexo F.

O layout da célula de montagem é apresentado na figura 18, com 7 estações de trabalho e 3 operadores, correspondendo à escolha proveniente do estudo segundo a ferramenta 3P. Como é visível, o operador A realiza as tarefas das estações 1, 4 e 7, o operador B realiza as operações das estações 2 e 3 e por último o operador C realiza as operações de montagem das estações 5 e 6.

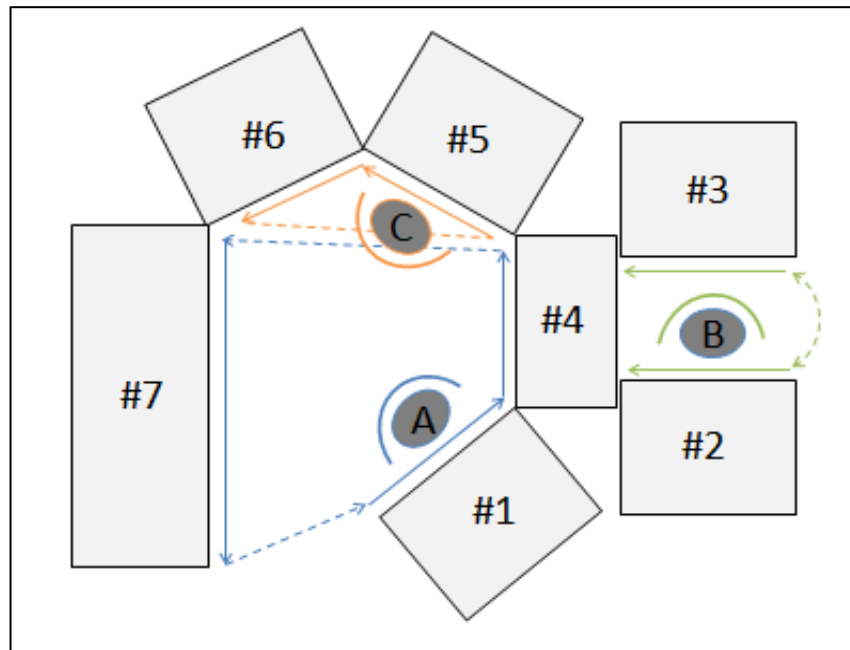


Figura 18 – Layout célula baseado na reengenharia do processo de montagem do 2P1545S.

Da figura acima convém referir que o módulo térmico é montado na estação de trabalho 1, o módulo neutro é montado na estação de trabalho 2 e por fim o módulo diferencial é montado na estação de trabalho 3. São portanto montagens independentes e estas apenas se encontram fisicamente na estação de trabalho 4 onde se agrupam originando o interior do disjuntor. A partir daí realizam-se, sequencialmente, as operações de conclusão de montagem.

O estabelecimento de trabalho uniforme correspondeu a definir as 3 características do mesmo: takt time, sequência de operações e standard WIP.

Assim, após estabelecer o target de produção de 300 disjuntores diários e dado saber-se o tempo efectivo de produção determinou-se o takt time de modo a satisfazer a procura. O takt time determinado é igual a 90 segundos.

O sequenciamento de operações foi realizado após toda a reengenharia do processo aplicada a esta nova célula de montagem e é aplicado à custa das instruções de trabalho desenvolvidas para o efeito, instruções estas que se encontram no anexo G. Devido à elevada extensão das mesmas apenas foi colocada neste anexo a IT correspondente ao posto de trabalho 1.

O Standard WIP foi determinado após se ter definido a necessidade da existência de uma "peça" a anteceder cada operador, no início do dia, de modo a que não ocorram esperas no arranque da linha. Assim o standard WIP na célula de montagem é igual a 6 unidades.

5. Implementação da nova célula de montagem

Após conceber e desenvolver os princípios de implementação, executou-se a realização de um protótipo, implementando-se a nova célula de montagem e sobre a mesma desenvolvidas acções de melhoria. Levou-se posteriormente a cabo a análise da célula em funcionamento, tal como realizado anteriormente para a linha de montagem. Este capítulo caracteriza a implementação, a análise e os dados de produção obtidos.

5.1 Célula de montagem

Não é uma tradicional célula de montagem, dado que o início é ramificado dando lugar a três estações de trabalho onde as montagens destas afluem para a seguinte.

A célula trabalha com 3 operários e os fluxos de montagem são da direita para a esquerda. Os operários trabalham em pé durante todo o processo e movimentam-se ao longo das estações de trabalho no sentido de não acumular fadiga provocada por falta de movimentos.

Os materiais são apresentados em frente ao operador e no que diz respeito ao reabastecimento, este é da responsabilidade das Water Spiders (operadores responsáveis pelo abastecimento, organização e setup das linhas de montagem) que seguem o plano diário de abastecimento facilmente alterável mediante a qualidade a produzir (anexo H). As quantidades de reabastecimento foram ajustadas em diferentes caixas, devidamente identificadas, dependendo da dimensão do componente, para que seja facilitado o manuseamento dos mesmos pelo operador.

A estação de trabalho projectada encontra-se na figura seguinte tendo sido cumpridas as dimensões de ergonomia preestabelecidas.



Figura 19 – Protótipo da estação de trabalho modular modelo para a célula de montagem.

Na figura 20 pode visualizar-se a célula de montagem em operação dando-se destaque aos fluxos previamente definidos no capítulo 4.2, nomeadamente os fluxos realizados pelos operários A, B e C e as sete estações de trabalho.

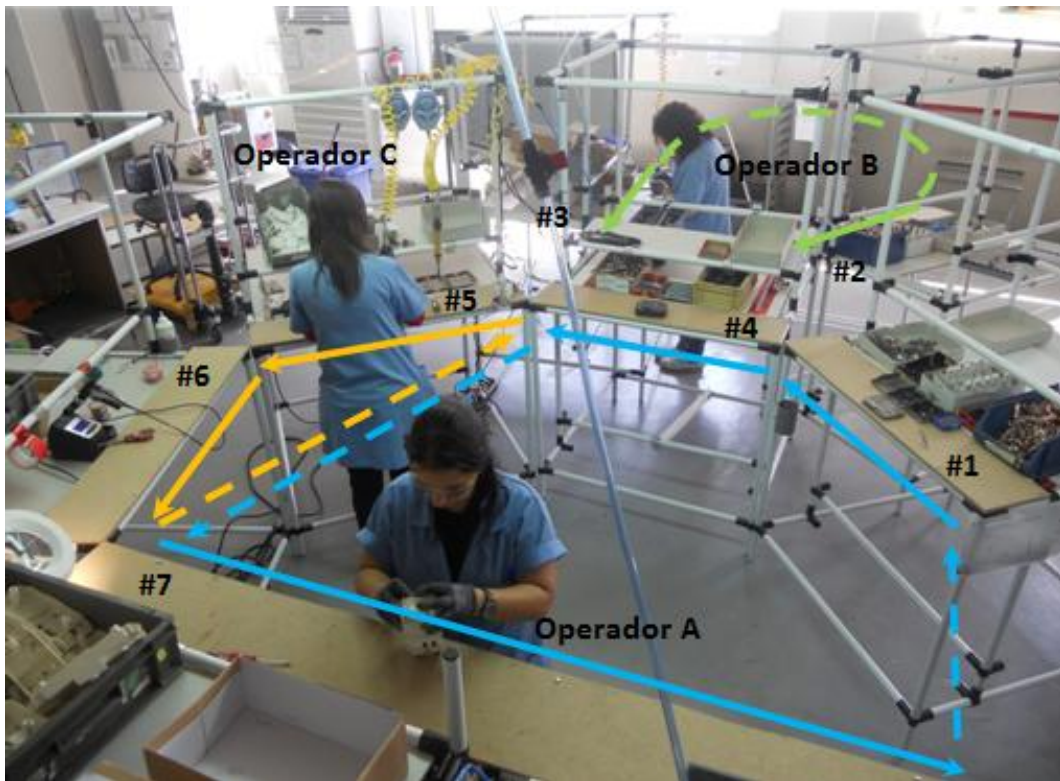


Figura 20 – Célula implementada para montagem do produto 2P1545S.

Neste layout ocorre desequilíbrio no que diz respeito à distância percorrida por ciclo para cada operador (operador A: 4 m/ciclo; operador B: 2 m/ciclo; operador C: 2 m/ciclo) e no sentido de uniformizar o desgaste provocado por menor movimentação ou excesso dela propôs-se rotação diária nos postos, diminuindo monotonia laboral e permitindo manter a agilidade necessária de montagem.

Tornou-se, numa fase inicial, o processo mais lento de modo a identificar e eliminar desperdícios para o novo processo e com isso proporcionar mais tempo ao operador para que este possa trabalhar mais lentamente, diminuindo os eventuais erros de montagem e aumentando a sua qualidade de trabalho. No arranque da célula, o CT rondava os 120 segundos.

Durante o período de análise da célula compilaram-se os dados das quantidades diárias produzidas (figura 21). A evolução da adaptação é notória assim como das melhorias contínuas introduzidas. Verifica-se uma queda de produção sempre que se realizam modificações na célula, situação normal dada a fase de habituação a desempenhar na nova sequência e no uso de novos sistemas descritos no capítulo 5.2 dedicado às melhorias contínuas realizadas. Nos últimos dias de análise observou-se a estabilização da produção.

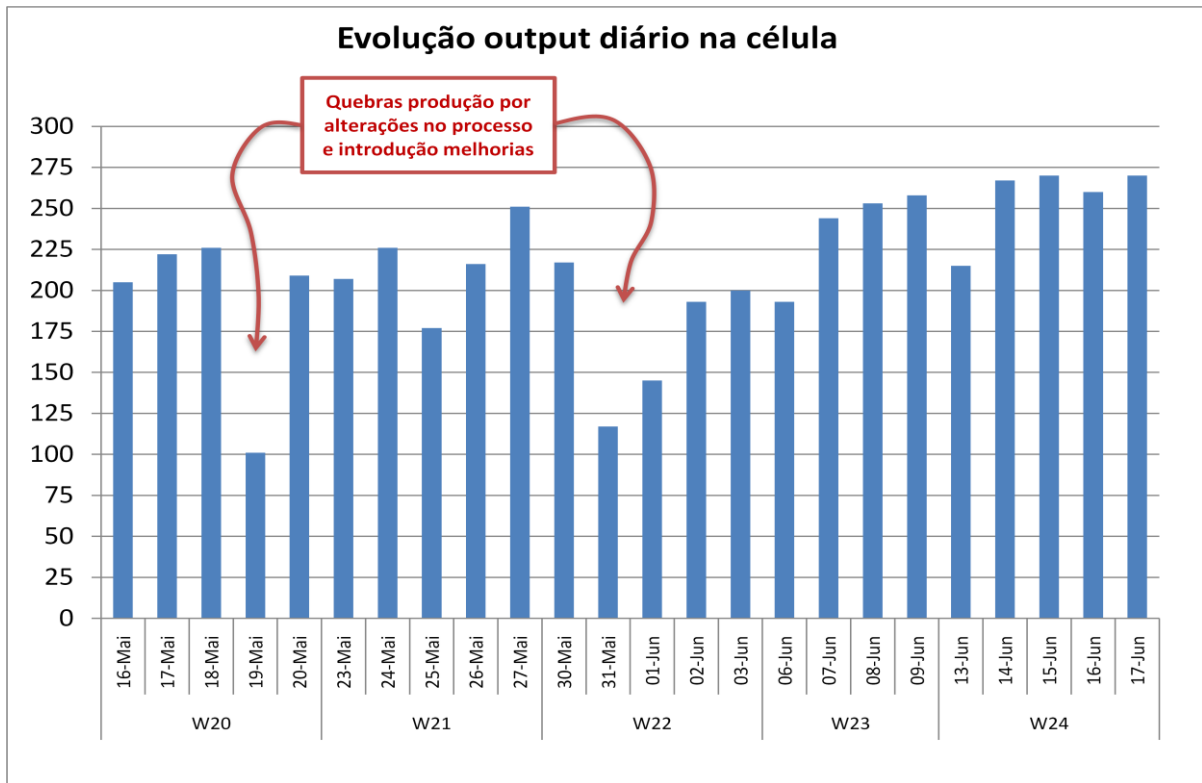


Figura 21 – Evolução output diário na célula.

5.2 Melhorias contínuas

Nesta fase de desenvolvimento da célula de montagem foram levadas a cabo muitas acções de melhoria contínua associadas à reengenharia do produto e do processo, que surgiram como uma necessidade em reduzir desperdícios existentes no processo actual, melhorar a qualidade de trabalho do operador e do processo e, se possível, aumentar a qualidade do produto. O estudo do processo e o conhecimento do produto foram necessários para realizar estas melhorias. Para isso, acompanhar de forma constante o operador no shopfloor foi uma necessidade.

As acções de melhoria mais evidentes realizadas na preparação da célula de montagem são descritas seguidamente. Todas elas foram projectadas e desenvolvidas devido á total liberdade proporcionada pela gestão de topo à realização deste projecto durante o período de estágio.

Ferramenta de calibração bimetálica

Com o objectivo de reduzir o número de ferramentas utilizadas nas operações de montagem, desenvolveu-se uma ferramenta de calibração do bimetálica que substituiu duas ferramentas anteriormente utilizadas (calibre 8 mm e alicate). Partiu-se de um conceito já existente, melhorou-se o mesmo e executou-se esta nova ferramenta que permite controlar o estado de calibração e, caso esta não esteja correcta, permite ajustar a sua posição (figura 22). Dada a variabilidade na realização desta operação este benefício traduz-se essencialmente na questão de uniformizar ferramentas, facilitando a operação em si.



Figura 22 – Ferramenta de calibração bimetal no controlo de qualidade do produto 2P1545S.

Mecanismo fecho do disjuntor

Esta melhoria direcciona-se para o desenvolvimento de um sistema de ar comprimido que assegura o fecho integral do disjuntor de forma rápida e segura (figura 23), sendo constituído por dois cilindros pneumáticos acoplados numa base comum. Apresenta flexibilidade para operar com qualquer modelo para além do 2P1545S. Verificou-se redução do tempo de operação em aproximadamente 60%, passando de 5 para 2 segundos.



Figura 23 – Sistema de ar comprimido destinado ao fecho do disjuntor.

JIG de aparafusamento dos módulos

A alteração da sequência de operações, durante a reengenharia do processo, foi pensada no sentido de reduzir desperdícios. Assim, juntaram-se operações de aparafusamento tendo sido modificados os JIGs para que o aparafusamento dos módulos pudesse ser realizado de uma vez só. Mais ainda, para facilitar a introdução das porcas no JIG foi inserido directamente neste um suporte para porcas, tal como podemos ver na figura 24. Com isto obteve-se melhoramento de apresentação de material, facilidade de operação e eliminação de desperdícios relacionados com manuseamentos duplos do mesmo aparelho.

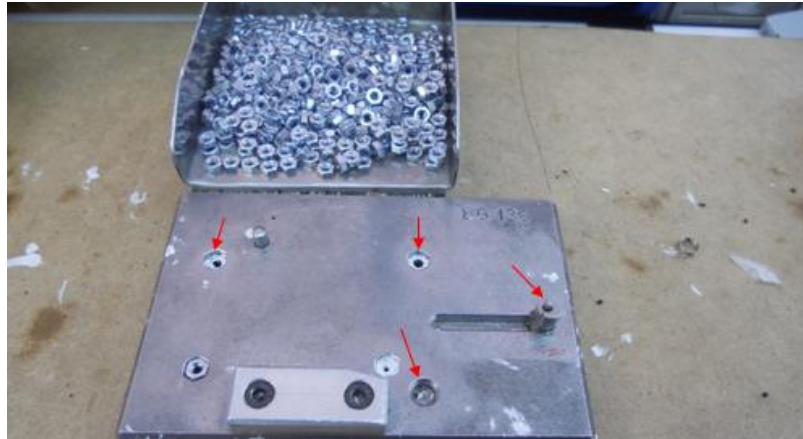


Figura 24 – JIG de aparafusamento dos três módulos do produto 2P1545S.

JIG de aparafusamento do shunt

O aparafusamento do parafuso do shunt é uma operação exigente no aspecto ergonómico. No passado verificaram-se tendinites no pulso provocadas pela repetitividade desta operação ao usar determinados JIGs, até ao ponto em que os operadores deixaram de os usar, dado o desconforto provocado, o que levou a usarem o próprio corpo para "segurar" a peça enquanto aparafusavam, ou então segurar a peça com a mão levando a fadiga precoce.

O desenvolvimento deste protótipo, expresso na parte direita da figura 25, vem ao encontro desta necessidade em corrigir a qualidade de trabalho proporcionada ao operador e tornar mais eficiente a operação de aparafusamento. Usou-se um JIG obsoleto e modificou-se o mesmo através do recurso a patilhas de encaixe do módulo e apoio do mesmo, o que resolve os problemas que surgiam, proporcionando maior qualidade operacional e redução de desperdício de movimentos na montagem.

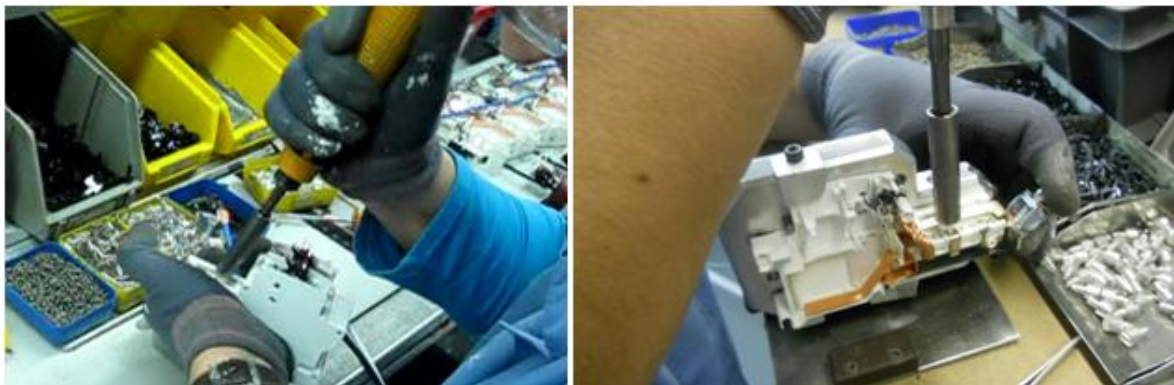


Figura 25 – JIG de aparafusamento do shunt: antes (à esquerda) e após melhoria (à direita).

JIG de medição da força de disparo

O controlo da força de disparo é assegurado durante as operações de montagem, recorrendo a um dinamómetro que mede essa força exactamente no ponto onde o pino do relê, disparando, actua o mecanismo. Este controlo engloba o seguinte conjunto de operações: 1º - colocar a tampa de medição; 2º - medir a força de disparo; 3º - retirar a tampa de medição; 4º - apontar o valor visualizado.

Com o desenvolvimento deste novo sistema de controlo, em equipa com outro colaborador, eliminam-se as operações de colocar e retirar a tampa de medição, que não acrescenta valor, reduzindo em aproximadamente 4 segundos, ou 40%, o tempo de operação. Nesta solução coloca-se a peça no JIG e apenas deslizando o dinamómetro verticalmente até ao ponto de contacto, aplicando a rotação necessária, accionamos o ponto onde queremos controlar a força de disparo. A figura 26 apresenta do lado esquerdo o processo antigo e à direita a nova solução desenvolvida.

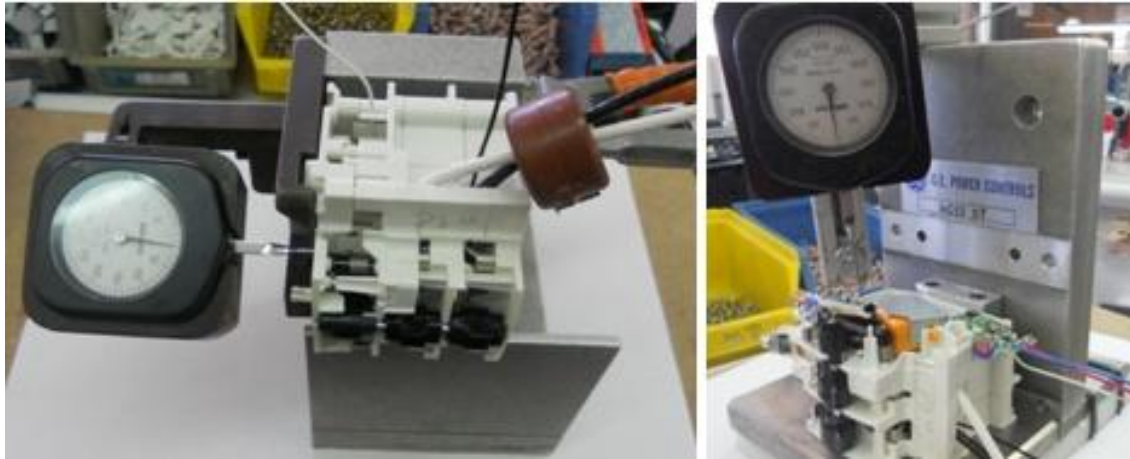


Figura 26 – JIG de medição da força de disparo no controlo de qualidade do produto 2P1545S.

JIG de soldadura

O melhoramento da ergonomia e qualidade na operação de soldadura surgiu através da implementação do JIG da figura 27. Com este melhoramento foi possível obter-se suporte que anteriormente não existia (o operador segurava o disjuntor contra o próprio corpo e afirmava sentir falta de fixação ao operar) e também melhor facilidade de manuseamento por parte do operador. Assim, após posicionamento da peça na posição A executa-se a soldadura do fio branco no terminal e de seguida com a simples rotação de 90° para a posição B terminam-se as restantes 3 soldaduras. Com isto, cumpriram-se as necessidades exigidas pelo operador e reduziu-se aproximadamente 20% ao tempo inicial de 32 segundos.

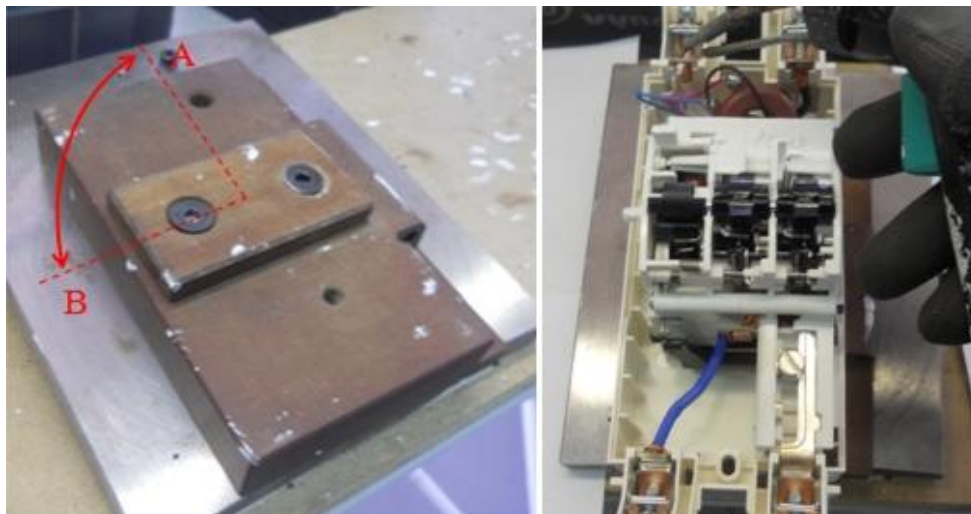


Figura 27 – JIG de soldadura do terminal, relê e resistência.

Sistema de cravar

As operações de aparafusamento dos módulos do disjuntor podem ser substituídas por um sistema de cravação desses mesmos módulos, solução para uma necessidade de melhoria requerida pela empresa. Para isso foram usados rebites que, por prensagem, fecham os módulos. Este sistema substitui as operações de aparafusamento dos módulos e a lacragem das porcas dos parafusos, tornando o processo mais limpo visando a diminuição de defeitos. Prevê-se reduzir com este sistema, representado na figura 28, aproximadamente 50% do tempo usado no aparafusamento e lacragem dos módulos.

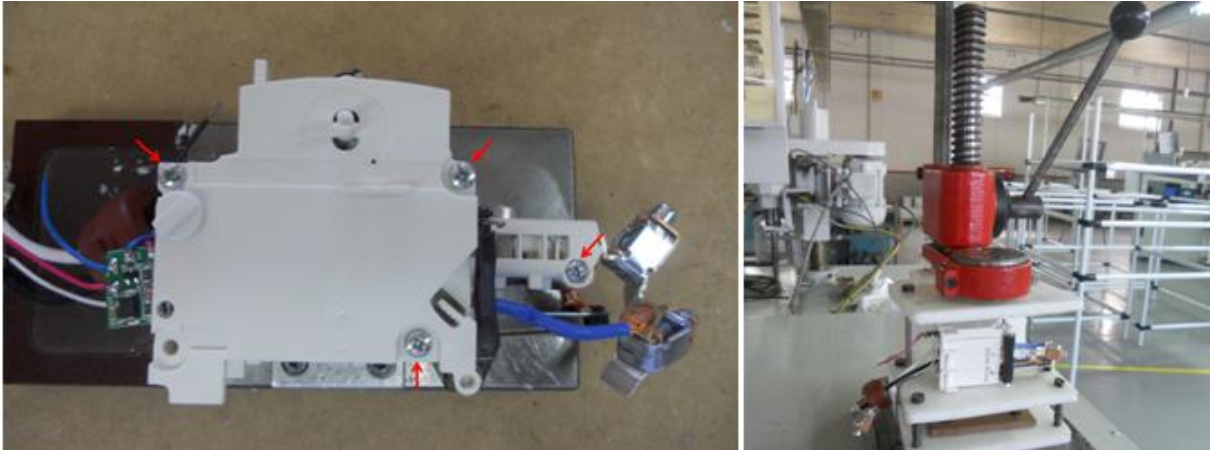


Figura 28 – Pontos de substituição de operações soldadas por rebiteagem.

Sistema de lubrificação

O sistema de lubrificação desenvolvido recorre a um doseador pneumático de lubrificante, activado por um botão de contacto que é accionado quando se introduz a peça no sistema. Substituindo um conjunto de operações de lubrificação realizadas manualmente o que garante a aplicação de lubrificante em quantidades correctas e no local específico. Ao invés de aproximadamente 9 segundos de operação, com este sistema reduzimos o tempo de operação em cerca de 75% para 2 segundos. Podemos ver na imagem seguinte a situação antes e depois (figura 29).

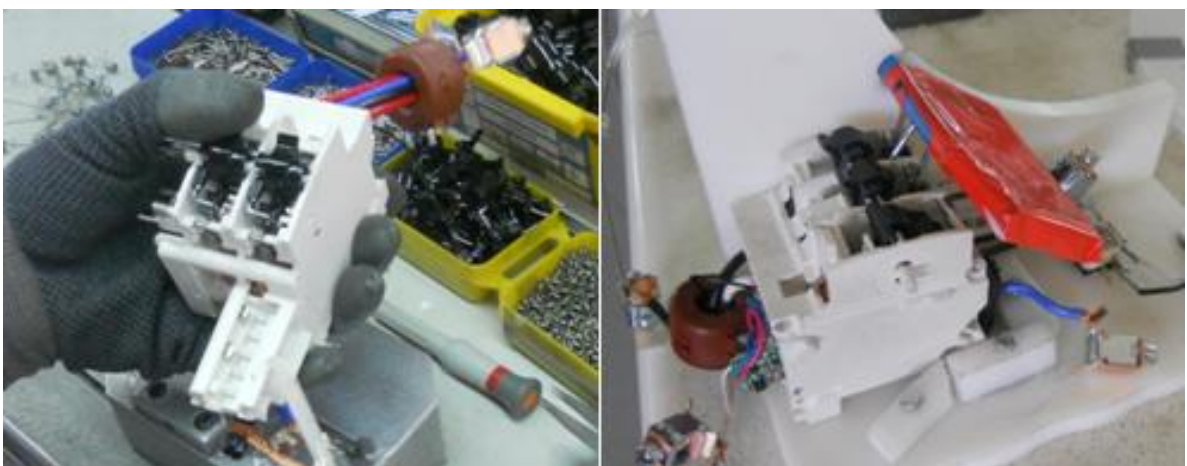


Figura 29 – Operação de lubrificação no disjuntor: antiga à esquerda e nova à direita.

Soldadura do núcleo

Neste caso estudou-se, mediante troca de ideias com os operadores, a realização de uma alteração nas patilhas do núcleo onde são soldados os fios do relê. O objectivo foi facilitar a soldadura dos fios no núcleo, dado que após inserção do fio no furo a solda assegura de imediato a fixação do mesmo (figura 30). Anteriormente era o operador que segurava o fio para garantir que este ficava devidamente soldado.

A redução prevista com esta melhoria ronda os 50% face ao actual, no entanto à presente data não se possuem medições concretas dado que se aguarda a alteração da ferramenta de corte por parte do fornecedor, para a alteração realizada.



Figura 30 – Pontos de furação das patilhas do núcleo do conjunto diferencial.

Soldadura do térmico

A situação descrita é relativa à soldadura da trança do térmico, tendo-se proposto a execução dessa soldadura rodando a trança 180° face à posição actual. Isso proporciona maior qualidade e redução de erros na montagem, assim como, maior facilidade para o operador. O facto da alteração no produto levar à necessidade da aprovação do mesmo por parte do departamento de tecnologia, levou à falta de dados. No entanto, os testes preliminares antecedentes à proposta de melhoria revelaram as vantagens já referidas. Na figura seguinte observa-se a alteração efectuada à soldadura da trança como referido anteriormente.



Figura 31 – Alteração em 180° da posição de soldadura da trança do borne longo no térmico de fase.

Uniformização da porca do shunt

A observação do operador na montagem da porca, operação representada no 10º passo da instrução de trabalho do posto 1 presente no anexo G, deve necessariamente seguir uma determinada posição na montagem. Isso pode levar a erros relativos à posição de entrada na ranhura que, caso aconteça e dependendo do modelo de disjuntor, podem criar arco eléctrico entre os dentes do shunt, obtendo-se assim peças rejeitadas por erro de montagem.

A necessidade de montagem dessa forma só depende de alguns modelos de disjuntores, modelos estes em que os dentes do shunt se encontram praticamente juntos. A produção de disjuntores com essas características representa aproximadamente 25% do total da produção pelo que se considera que não se deve prejudicar a montagem dos restantes 75% com a imposição da posição de montagem.

A proposta seguinte (figura 32) propõe criar poka-yoke que leve a anular eventuais erros de montagem por distração e pela eliminação de desperdício de movimentação e manipulação desnecessária. É uma operação com tempos médios de aproximadamente 4 segundos e espera-se reduzir em cerca de 50% esta operação dada a enorme dificuldade em encontrar a posição correcta da porca.



Figura 32 – Alterações propostas de uniformização na porca do shunt.

Prevê-se que as alterações resultantes desta uniformização da porca do shunt não incrementarão o custo unitário, podendo originar inclusive um custo mais baixo dado deixar de ser necessário o uso de uma prensa de 30 toneladas para o efeito, podendo ser feito com mais facilidade numa prensa mais simples apenas com uma pequena modificação do cunho de corte.

Terminal soldado na resistência

Na operação de soldadura e no sentido de tornar mais eficiente o processo assim como ajudar o operador a diminuir variabilidade na montagem, proporcionando-lhe melhor qualidade de operação, propôs-se a apresentação de resistências acopladas com terminais, de modo a que a soldadura do fio preto fosse facilitada através da introdução do fio na ranhura para o efeito, eliminando a necessidade de segurar o fio aquando ao arrefecimento da soldadura. A figura seguinte mostra o que foi proposto ao departamento de tecnologia, prevendo-se melhoria

significativa com uma redução de operação de 8 para 5 segundos (-35%) mas, acima de tudo, qualidade no processo de montagem.

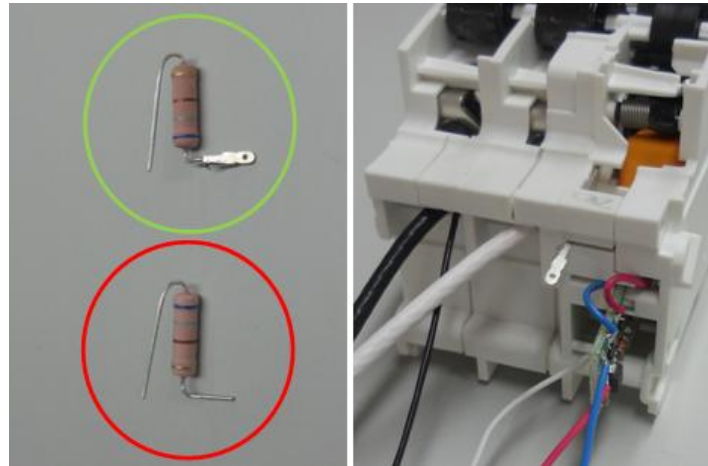


Figura 33 – Alterações propostas na resistência: à esquerda, a verde a solução proposta e a vermelho a situação antiga; à direita, a sua aplicação nos módulos do disjuntor.

Outras implementações

Neste ponto descrevem-se outras implementações realizadas no âmbito do desenvolvimento e implementação da célula de montagem, tais como:

- ✓ Aplicação da metodologia 5S na célula e no armário do ELCB;
- ✓ Apresentação de materiais;
- ✓ Gestão visual.

Ao nível da aplicação da metodologia 5S procurou-se apresentar condições óptimas dos locais de trabalho.

O desenvolvimento de 5S na célula e apresentação de materiais, coincidiram no sentido de que uma boa apresentação de materiais, nas quantidades devidas, com uma correcta identificação do abastecimento e posicionamento dos contentores segundo determinada ordem de montagem corresponde à implementação parcial de 5S na célula (figura 34).



Figura 34 – Aplicação 5S na célula de montagem. À esquerda a desorganização na linha actual e no meio e à direita as medidas tomadas na nova célula.

Todos os contentores de abastecimento encontram-se identificados como expressa a figura seguinte. Existe uma caixa vermelha para não conformidades em todos os postos de trabalho.



Figura 35 – Imagem do bordo de linha e das identificações nos contentores de abastecimento.

No armário de ferramentas do ELCB removeu-se tudo aquilo que era acessório e definiu-se um local para cada coisa tendo-se identificado esse mesmo conteúdo por zona específica de aplicação assim como etiquetados os conteúdos existentes. A azul correspondem as ferramentas directamente associadas à célula de produção, a verde conteúdo de marcação manual nos disjuntores e a laranja corresponde a área de diversos (figura 36).



Figura 36 – Aplicação 5S no armário de ferramentas do ELCB. À esquerda antes da aplicação 5S e à direita depois da metodologia 5S.

A apresentação de materiais é fundamental para um fluxo e abastecimento correctos. O desenvolvimento de sistemas deslizantes de abastecimento lateral foi a solução apresentada para os componentes de elevado consumo como é o caso dos módulos plásticos (figura 37).



Figura 37 – Sistema lateral e deslizante de abastecimento de módulos plásticos.

Outros componentes críticos são as bases, devido às suas grandes dimensões. Anteriormente eram colocadas no chão, ao lado do operador. Desenvolveu-se o seguinte sistema posicionado de frente para o operador melhorando a ergonomia no acesso aos mesmos (figura 38).

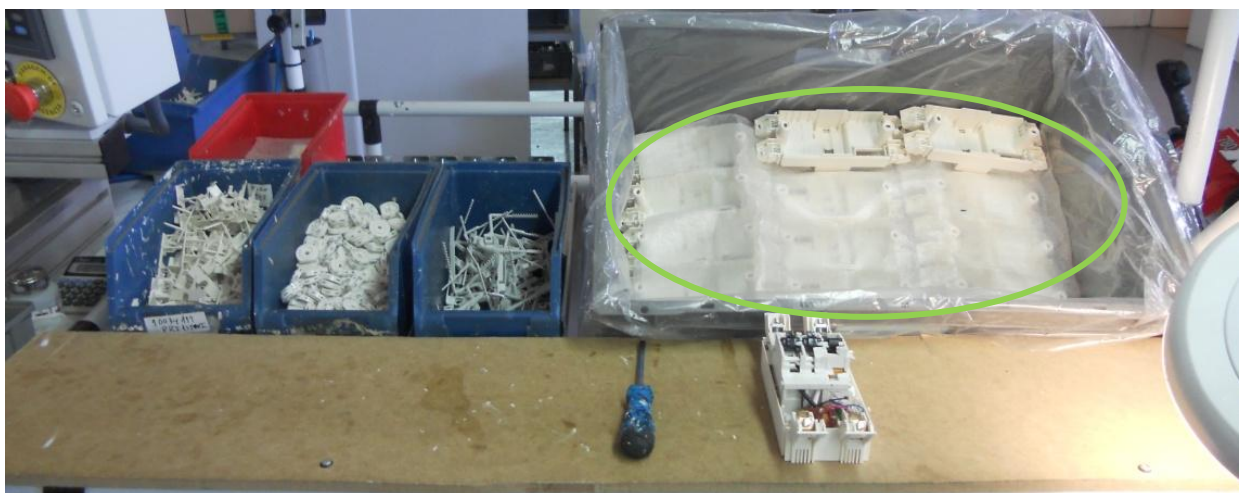


Figura 38 – Sistema de abastecimento frontal de tampas plásticas.

No que diz respeito à gestão visual foram desenvolvidos em frente à área de trabalho do operador, em cada estação de trabalho, painéis de gestão de informação onde se colocaram documentos como as instruções de trabalho na implementação de trabalho uniforme, informações relativas a questões ergonómicas e ginástica laboral. A título de exemplo, a figura 39 mostra a estação de trabalho 1 onde facilmente se visualiza, no topo da imagem, o que foi anteriormente descrito.



Figura 39 – Gestão visual aplicada à estação montagem do módulo térmico (estação 1).

5.3 Medição dos tempos de operação do produto 2P1545S

Algumas das melhorias contínuas representadas no capítulo cinco não contribuem ainda para as medições, dado se encontrarem em fase de aprovação tecnológica. Em fase de desenvolvimento foram analisadas as suas potencialidades, nomeadamente no que diz respeito ao benefício obtido em termos de rapidez de operação.

As medições dos tempos de operação decorreram durante 5 semanas, período correspondente aos testes realizados na célula. Durante todo esse período procurou-se estabilizar os índices de produção e agir no sentido de corrigir todos os aspectos indiciáveis de variabilidade na produção. Além disso, foi um período não só de medições mas também durante o qual se fizeram todas as melhorias apresentadas pela observação das necessidades de melhoria.

Tal como já realizado, as medições dos tempos foram feitas via filmagem das operações na célula de montagem e posterior análise cronometrada. Além disso, rodaram-se os operadores pelos diferentes postos de modo a observar também as oscilações que surgem com a adaptação a novas operações.

Dadas as elevadas alterações, durante as 5 semanas de análise, relativamente ao processo as IT encontravam-se em constante alteração. A cronometragem efectuou-se acompanhando as instruções de trabalho desenvolvidas para o efeito.

Novamente, as medições realizadas em cada estação de trabalho foram colocadas em modelos que permitiram posteriormente trabalhar os dados. Os resultados desta análise encontram-se compilados no anexo I.

Nesta célula, a distribuição dos tempos de operação face ao tipo de operação realizada durante a montagem do 2P1545S encontra-se na tabela seguinte (tabela 3). As operações foram classificadas, tal como anteriormente, como sendo operações: adicionais, ajustamento, controlo, pré- montagem, montagem, e movimento.

Tabela 3 – Distribuição dos tempos de operação no processo de montagem na célula.

Soma dos tempos médios [Seg.]	Tipo de operação						Sub-Total	
	Posto de trabalho	Adicional	Ajustamento	Montagem	Controlo	Movimento		Pré-montagem
#1			7,56	36,47		1,58		45,61
#2				32,80		1,86		34,66
#3				41,46		6,50	14,92	62,88
#4				24,30		1,56		25,86
#5				23,24		3,04	12,34	38,61
#6		9,48	8,13	38,66		5,01		61,28
#7				17,71	5,38	4,24		27,32
Sub-Total		9,48	15,69	214,64	5,38	23,77	27,26	296,21
		3%	5%	73%	2%	8%	9%	100%

5.4 Estudo dos tempos de operação do produto 2P1545S

Seguindo o mesmo processo de análise criou-se um gráfico Yamazumi para estudar a situação obtida com a transformação (figura 40).

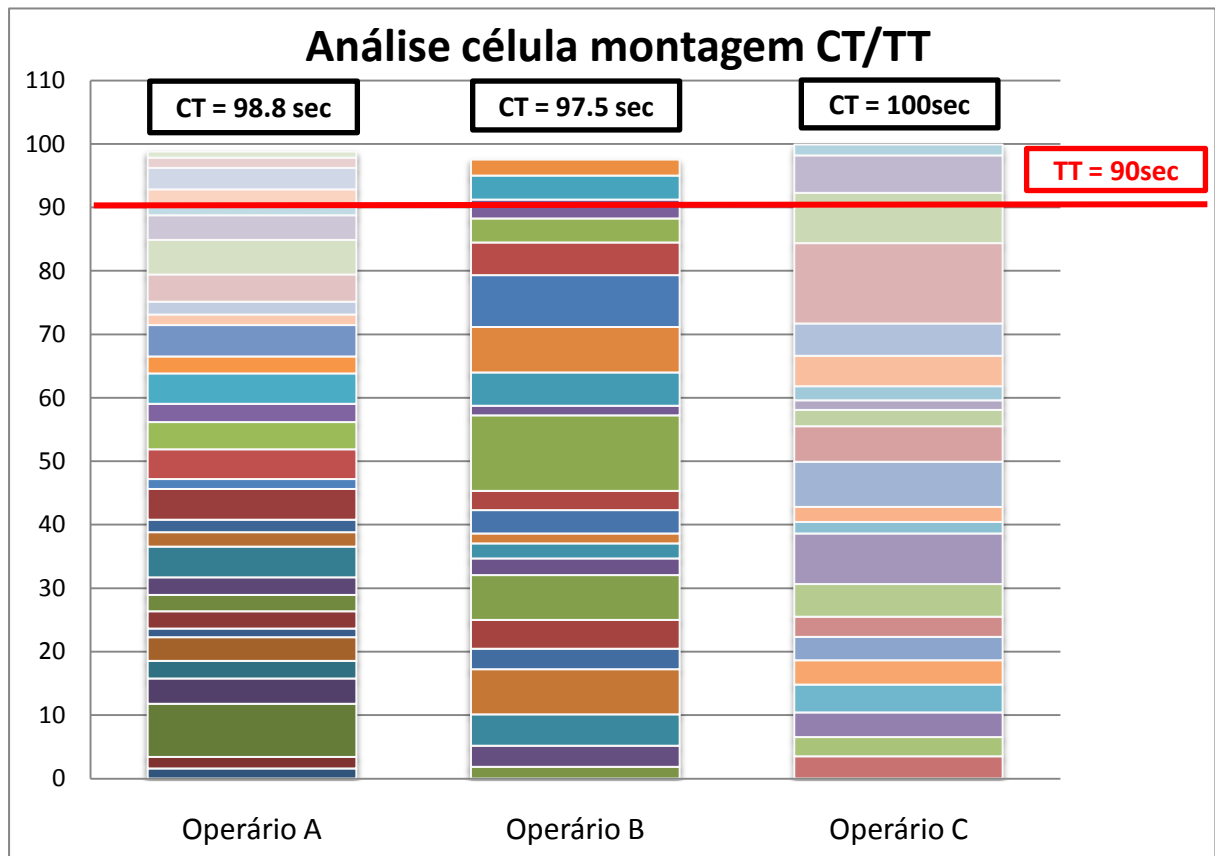


Figura 40 – Gráfico Yamazumi da montagem do produto 2P1545S na célula de montagem.

Como se verifica, no gráfico Yamazumi (figura 40), existe uma situação de equilíbrio expressa pela carga de operação nos três operários. O Cycle Time (CT) é, no entanto, superior ao Takt Time (TT) definido para o target de 300 disjuntores por dia, não se atingindo deste modo os objectivos diários de produção desejados. Face a esta situação verificamos que para atingir o potencial previsto para esta célula será ainda necessário "ganhar" aproximadamente 10 segundos em cada sequência operatória.

A montagem do 2P1545S é assegurada, nesta célula, por trabalho uniforme (sequenciamento das operações, cumprimento do takt time e standard WIP).

5.5 Estudo do estado de balanceamento da célula de montagem

Como se verifica no gráfico Yamazumi da figura 40, apesar do TT alvo definido ser de 90 segundos, este não é cumprido. Independentemente dessa situação, verifica-se equilíbrio entre postos conseguido à custa da implementação de trabalho uniforme (sequência de operações, takt time e standard WIP) e reduções na variabilidade de montagem na célula implementada.

Com vista à determinação do número teórico de operadores na célula de montagem, sabemos que:

$$\sum \text{tempos de operação} = 296.2 \text{ segundos}$$

$$\text{Takt Time} = 90 \text{ segundos}$$

Então o número mínimo de estações de trabalho necessárias é:

$$N^{\circ} \text{ estações trabalho} = \frac{\sum \text{tempos de operação}}{\text{Takt Time}} = \frac{296.2}{90} = 3.3$$

Para a capacidade apresentada, de modo a atingir 300 disjuntores/dia seriam necessários 4 operadores ao invés de 3.

No entanto, o objectivo passa não por aumentar o número de operários mas por continuar a eliminar desperdícios para além dos já obtidos. Com isto, a quantidade produzida diariamente é função do maior tempo de ciclo praticado nos diferentes postos da célula de montagem.

Pretende-se introduzir sistemas já desenvolvidos, mas não contabilizados nos aumentos de produtividade, tal como é o caso do sistema de cravagem substituindo o aparafusamento, a soldadura do núcleo, a porca do shunt, a soldadura do térmico e o terminal na resistência, que devido ao envolvimento de questões relacionadas directamente com o produto, necessitam de ser aprovadas pelo departamento de tecnologia e devido à morosidade do processo não foram consideradas, apesar de se saber já quais os potenciais ganhos efectivos.

Desse modo, prevê-se, através da introdução desses melhoramentos, reduzir em aproximadamente 20 segundos o total das operações, distribuídos da seguinte forma: redução de 7 segundos ao operário A e redução de 13 segundos ao operário C. O operário B será o mais afectado sendo necessário trabalhar sobre as operações afectas ao seu trabalho ou rebalancear novamente a célula.

6. Benefícios obtidos, conclusões e trabalhos futuros

Após a implementação da célula proposta, resta comparar a evolução da mesma com os dados da situação retratada para as linhas de montagem. Assim, a tabela seguinte compara alguns valores relevantes entre o antes e o depois deste projecto.

Tabela 4 – Comparação da situação antes e depois das implementações realizadas.

	Antes	Depois	Δ (antes/depois)	Objectivo	Δ (antes/objectivo)
Quantidade produzida (unid.)	610	270	-	300	-
TT (s)	44,3	100	-	90	-
Nº operadores	9	3	-	3	-
Nº peças / Operador (unid.)	68	90	32%	100	47%
Defeitos montagem DL01 (%)	18,85	0	-100%	0	-100%
WIP (unid.)	40	6	-85%	6	-85%
Posição de trabalho	Sentado	Em pé	-	Em pé	-

A uniformização do trabalho levou a uma redução da quantidade de peças rejeitadas, por dados fornecidos pelo departamento de qualidade, devido a defeitos provocados na célula de montagem (anexo J). O código DL01 corresponde a "defeitos da linha de montagem" o qual não foi detectado durante o período em análise na célula.

Relativamente à tipologia de operação, após se eliminar desperdício operacional com o novo processo de montagem, passou-se a dedicar mais tempo à montagem do disjuntor propriamente dita (montagem + pré-montagem) passando de 73% para 82% do tempo total de operação.

Apenas a título informativo ao nível da área de implementação, nas linhas recorre-se a uma área bruta de aproximadamente 35 m² ao invés da célula com 25 m².

O envolvimento do operador no desenvolvimento foi, através deste projecto, um óptimo benefício e uma boa oportunidade de instalar uma política de resolução de problemas e melhoria contínua.

Nos últimos dias de trabalho, quanto submetidas à questão “Quais as vossas opiniões e qual o vossa perspectiva relativamente a este projecto?”, as respostas foram as seguintes:

- ✓ Operador A: “Acho que se trabalha bem e o ambiente é bom! Gosto mesmo de trabalhar aqui. Trabalhar de pé é o pior mas acabamos por nos habituar. Está fixe!”

- ✓ Operador B: “Sinto-me bem, melhor que ali (nas linhas) e acho que acaba por ser mais produtivo e funcional!”
- ✓ Operador C: “Gosto de estar aqui e sinto-me bem aqui. As colegas são excelentes e o nível de trabalho é diferente mas bom! É uma experiência nova para mim e as mudanças tornarão certamente mais fácil o nosso trabalho. É muito mais fácil com 3 operárias do que com 9 como nas linhas!”

Estas afirmações focam outros benefícios atingidos neste projecto, tal como: aumento de flexibilidade de produção, melhoramentos intangíveis como bem-estar dos operadores, o aumento de competências laborais e um sentimento de cooperação nos operadores face ao desenvolvimento do projecto.

A resistência à mudança pode tornar-se no maior impedimento ao progresso. Factores como o de se produzir disjuntores da mesma forma à mais de 10 anos levam seguramente a dificuldades na imposição de mudanças. Dessa forma, impor não é palavra-chave. A solução fundamenta-se em integrar as pessoas, fazê-las sentir a mudança, aproveitar as suas capacidades e não recorrer a elas apenas dos ombros para baixo e liderá-las no sentido de obter respostas. Dessa forma seguramente ganharemos a sua confiança e com isso um caminho aberto à mudança e ao progresso contínuo.

Aumento de produtividade pode ser entendido pelos operários como uma via para o despedimento. Assim, de modo a torná-los mais receptivos à mudança, é necessário saber ouvir e comunicar, fazendo-os entender que se procuram aumentos de competitividade no mercado e com isso mais investimento e crescimento da empresa e não o contrário.

Como já referido anteriormente, implementar Lean é criar uma cultura de resolução de problemas e como cultura que é demora o seu tempo a implementar. Assim, apesar de ser uma dissertação em ambiente industrial de sensivelmente 4 meses e de apenas se terem realizado testes efectivos na proposta apresentada de célula de montagem durante 5 semanas, a evolução foi significativamente positiva. Nas próprias linhas de 9 postos de trabalho, no início de produção das mesmas, estas não eram capazes de produzir mais de 500 disjuntores por dia. Verificou-se nas mesmas uma progressão para 610 disjuntores durante uma década. Agora o ritmo instalado é elevado e as operações são realizadas naturalmente. Espera-se, fazendo uma analogia para a célula de montagem, visualizar um crescimento para além do projectado, não apenas com as melhorias já introduzidas mas também com o próprio hábito adquirido neste novo processo.

Surgiu durante o projecto alguma indecisão relativamente a como solucionar algo que fosse de facto inovador no que diz respeito à montagem do disjuntor, dado que para isso é necessário conhecer extremamente bem o produto e o processo. Também o facto da Moonshine (área específica para o desenvolvimento de protótipos, testes e melhorias contínuas, fisicamente independente da área produtiva propriamente dita) apenas ficar pronta no início do mês de Maio atrasou o arranque da implementação. De qualquer forma o compromisso da gestão de topo foi uma constante nesta realização, tendo sido acompanhado muito de perto o desenvolvimento, implementação e progresso da célula, inclusivamente pelo Plant Manager.

Mesmo com objectivos globais de aumentos de produtividade em 35%, metas ambiciosas que poderiam ser colocadas em causa, os resultados quantitativos e também qualitativos obtidos revelam a viabilidade deste projecto face à situação corrente de linhas de montagem. Conclui-se que os resultados alcançados são positivos e a questão relacionada com o potencial de melhoria torna ainda mais interessante o desenvolvimento da implementação realizada, assim como, a expansão deste novo processo.

Apesar de apenas se ter criado uma célula piloto encontram-se em curso a implantação de mais duas. A gestão de topo pretende ter em funcionamento até final do mês de Julho 7 células, como a desenvolvida neste projecto. Isso demonstra a confiança da gestão de topo para com este desenvolvimento e para com a potencialidade do mesmo.

A implementação em célula com derivações de montagem relativamente ao módulo térmico, neutro e diferencial funcionaram bem, uma vez que se conseguiu isolar a variabilidade criada na montagem de cada um deles e assim actuar insistentemente nesses problemas de forma independente.

Eliminar desperdício foi palavra-chave, no entanto, sempre de mãos dadas à qualidade de trabalho do operador. O objectivo passa por aumentar a taxa de valor adicionado, eliminando desperdício, aumentando a qualidade operacional do operador e melhorando a eficiência do processo e qualidade do produto.

Todos os desenvolvimentos e implementações foram realizados dentro de portas não se tendo procedido a investimentos significativos. Foi essencialmente envolvimento das pessoas, motivação e uma boa dose de originalidade que permitiu criar muitos dos melhoramentos realizados.

Relativamente à continuidade do trabalho, sugerem-se essencialmente três linhas de acção.

A primeira corresponde à implementação, assim que forem aprovadas, das restantes melhorias realizadas mas ainda não introduzidas na célula protótipo desenvolvida, assim como a verificação dos ganhos relativos às mesmas.

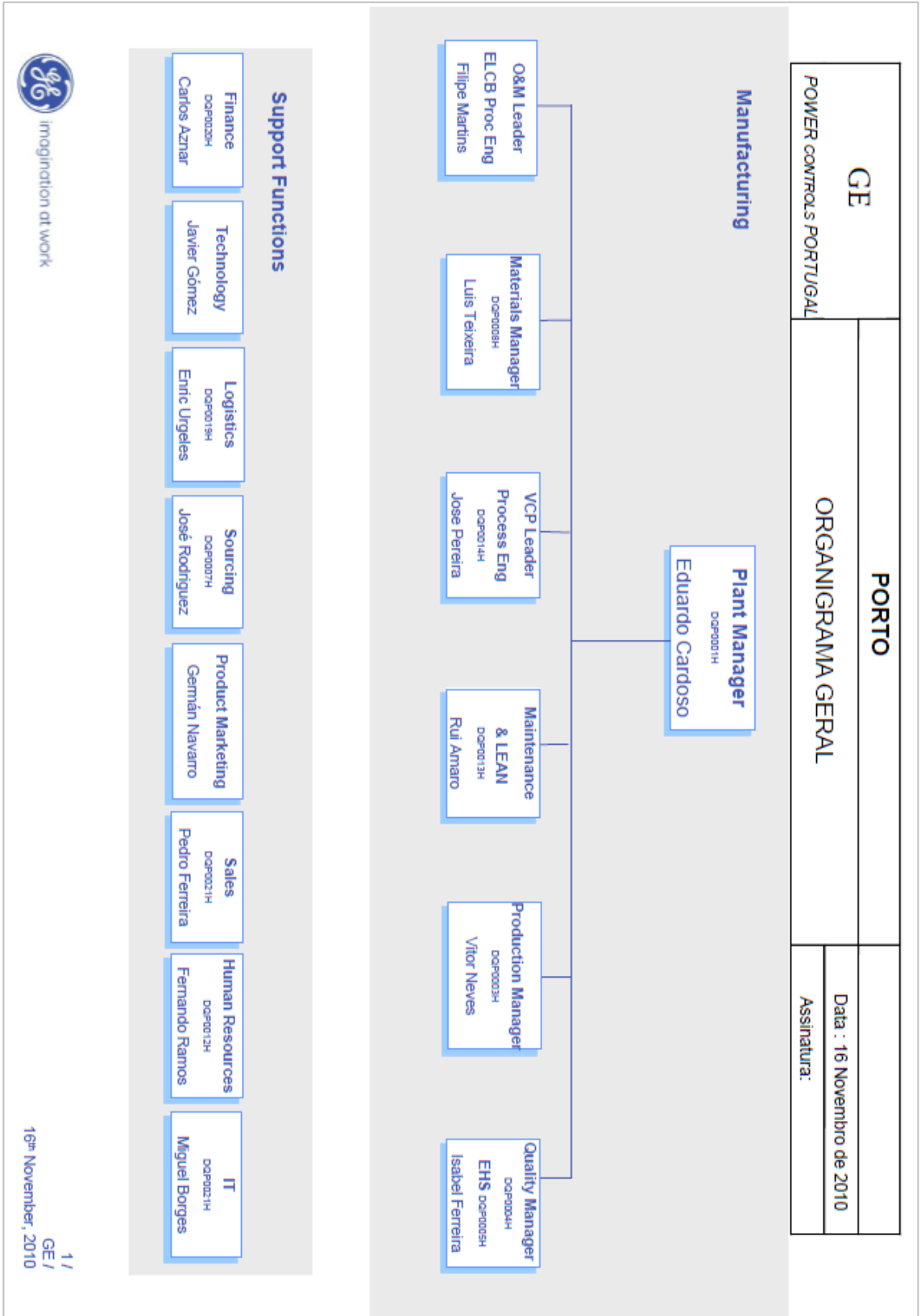
A segunda é no sentido da integração do processo de soldadura (componentes usados na montagem dos disjuntores) directamente com a célula, em sistema de *one piece flow* e da célula directamente com a linha de testes finais.

A terceira sugestão, e última, corresponde à colocação de um *andon* (painel electrónico informativo) no *gemba*, para monitorização da situação em tempo real da produção, em diversas células de montagem simultâneas.

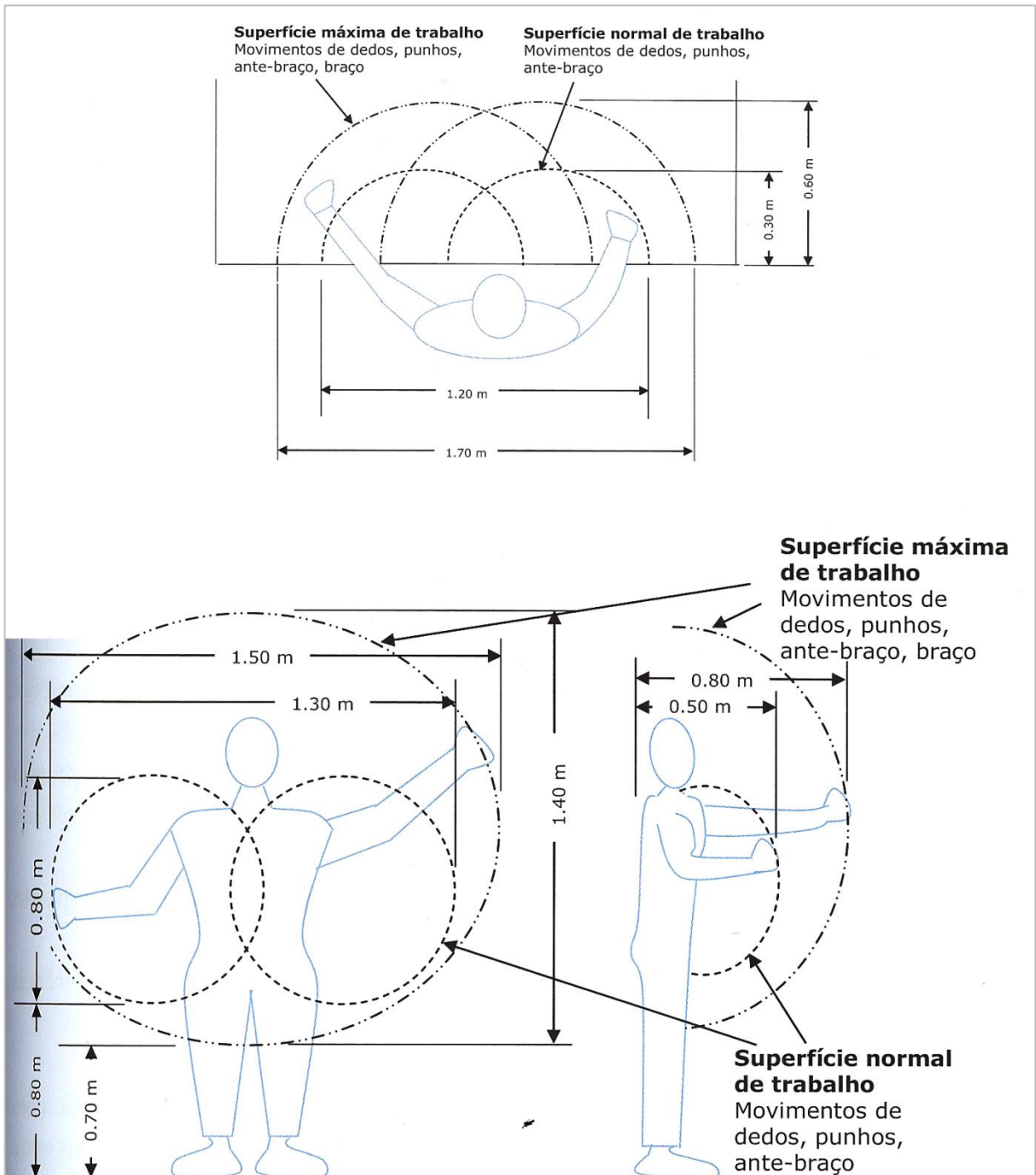
Referências

- ALVAREZ, R. e ANTUNES JR., J.:** Takt-Time - Conceitos e contextualização dentro do Sistema Toyota de Produção. Gestão & Produção, V.8, Nº1, Abril 2001.
- COURTOIS, A., PILLET, M., e MARTIN, C.:** Gestão da Produção. Lidel, 1997.
- GE Libraries, 2010** - Documentos internos: "Prep & Leading a 3P AWO".
- GE Libraries, 2011** - Documentos internos: "Basic Lean Overview March 2011 Short Version".
- JACOB, F., CHASE, R. e AQUILANO, N.:** Operations & Supply Management. McGraw-Hill/Irwin; 12º ed., 2009.
- Kaizen Institute:** "Kaizen College - Learning by doing", 2010.
- LARMAN, C. e VODDE, B.:** Lean Primer. Version 1.5, 2009.
- LIKER, J.:** Becoming Lean: Inside Stories of U.S. Manufacturers. Productivity, Portland, EUA, 1998.
- MEYERS, F.:** Motion and Time Study for Lean Manufacturing. Prentice Hall, Upper Saddle River, EUA, 2ª ed., 1999.
- OHNO, T.:** O Sistema Toyota de Produção - Além da Produção em Larga Escala. Bookman, Porto Alegre, RS, 1996.
- PINTO, J.:** Pensamento Lean - A filosofia das organizações vencedores. Lidel, 2009.
- ROLDÃO, V. e RIBEIRO, J.:** Gestão de operações - Uma abordagem integrada. Monitor, 2007.
- ROTHER, M. e HARRIS, R.:** Criando Fluxo Contínuo: um guia de acção para gerentes, engenheiros e associados da produção, Lean Institute Brasil, São Paulo, 2002.
- ROTHER, M. e SHOOK, J.:** Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda. The Lean Enterprise Institute, Brookline, EUA, 1999.
- SPEAR, S. e BOWEN, K.:** Decoding the DNA of the Toyota Production System. HBS, Setembro 1999.
- Toyota:** JIDOKA - Manufacturing high quality products. Disponível em http://www.toyota-global.com/company/vision_philosophy/toyota_production_system/jidoka.html (consultado em Abril de 2011).
- U.S Environment Protection Agency, 3P** - <http://www.epa.gov/lean/thinking/threep.htm>, consultado em Maio 2011.
- U.S Environment Protection Agency, Cellular Manufacturing** - <http://www.epa.gov/lean/environment/methods/cellular.htm>, consultado em Maio de 2011.
- WOMACK, J., JONES, D. ROOS, D.:** The Machine that Changed the World. New York, Free Press, 2007.

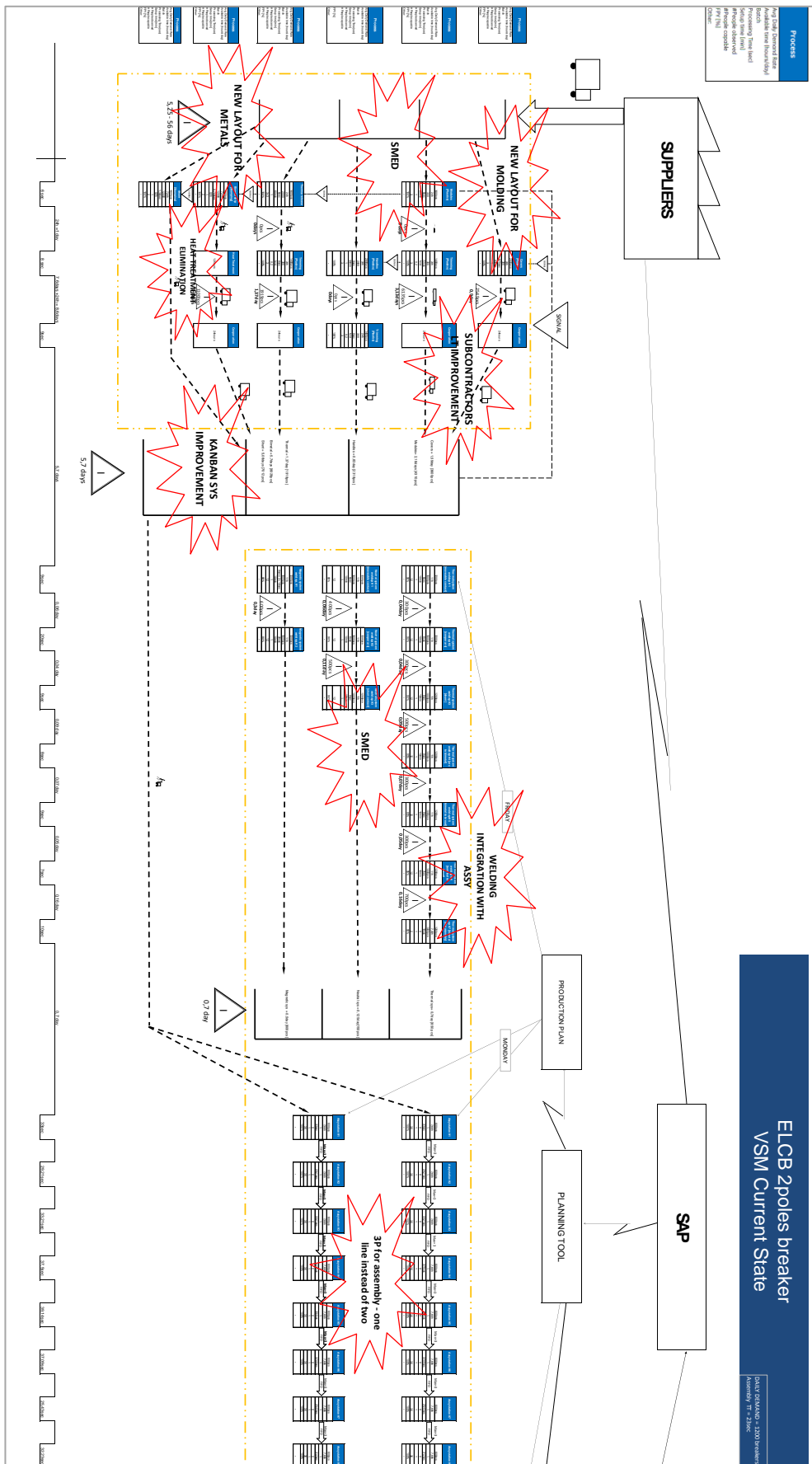
7. ANEXO A: Organigrama - GE Power Controls Portugal

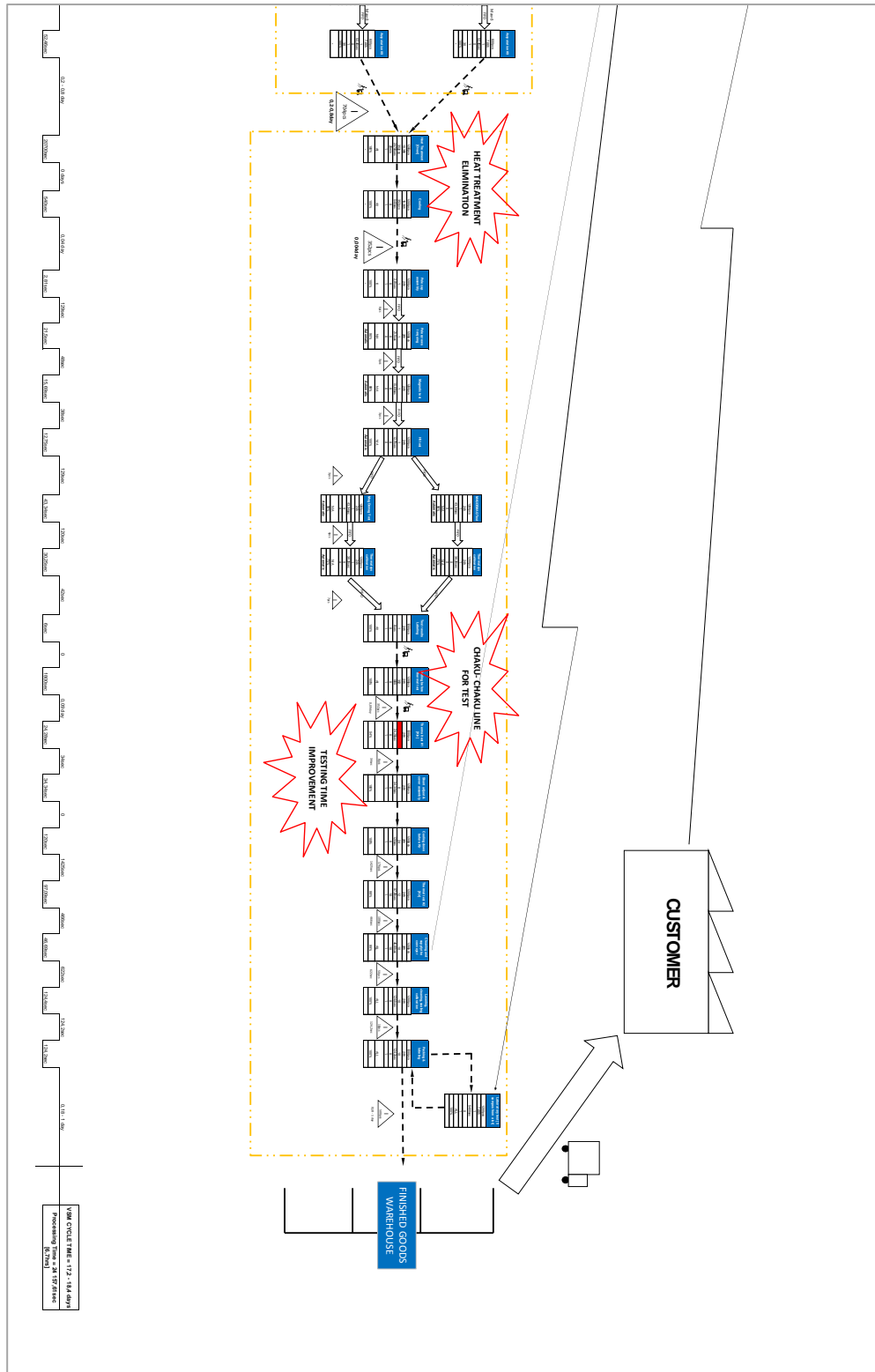


8. ANEXO B: Superfícies máximas e normais de trabalho para os planos horizontal e vertical



9. ANEXO C: Value Stream Mapping 2P1545S



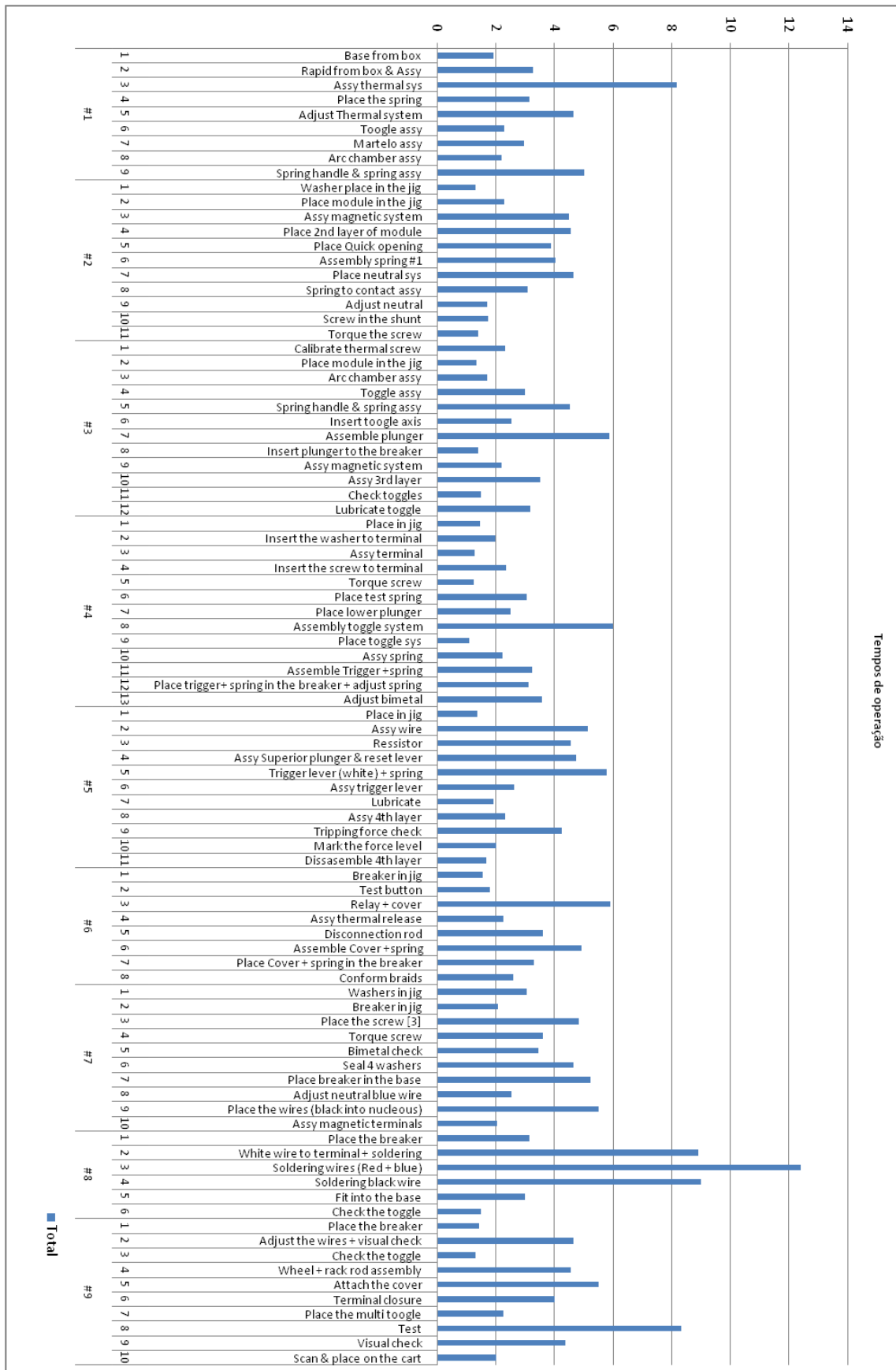


VSM LEAD TIME = 7,2 - 18,4 days
Processing Time = 24 157,61sec [6,7hrs]

10. ANEXO D: Subdivisão do processo montagem do disjuntor 2P1545S

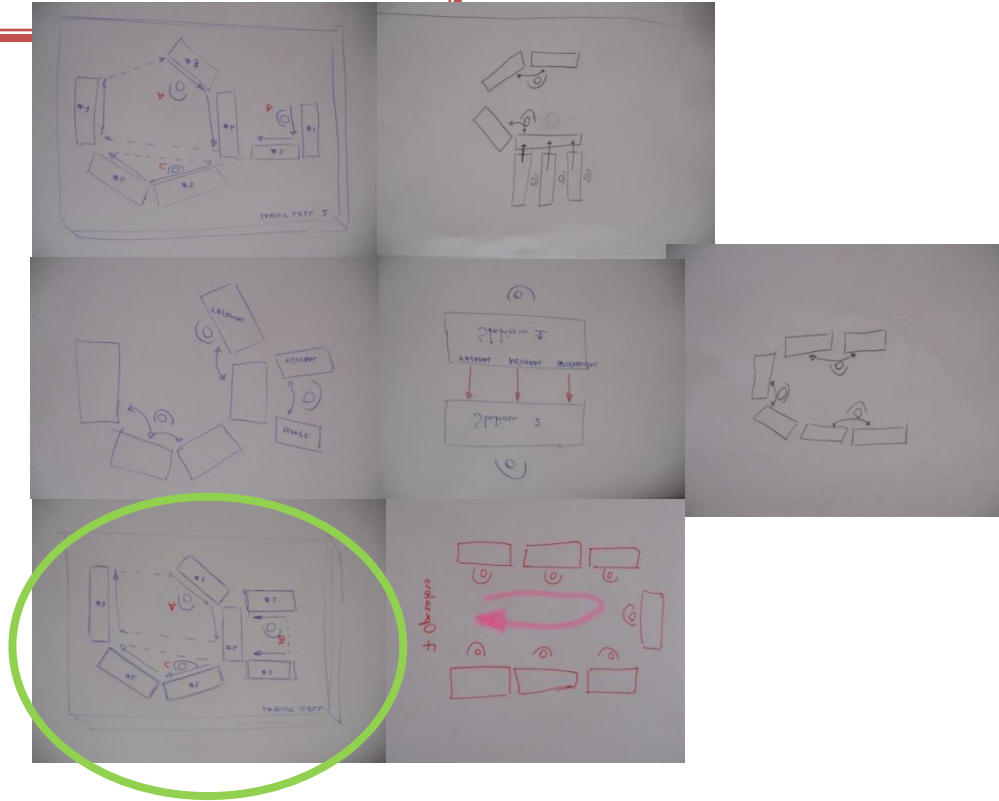


11. ANEXO E: Compilação dos tempos de operação de montagem do 2P1545S na linha



12. ANEXO F: Aplicação 3P no design da célula

7 WAYS

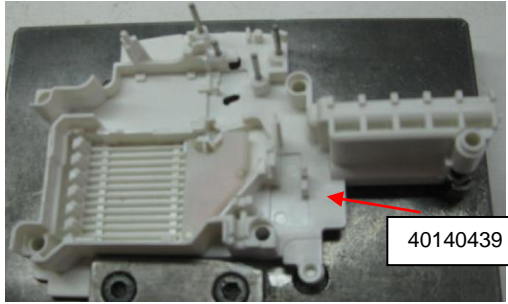
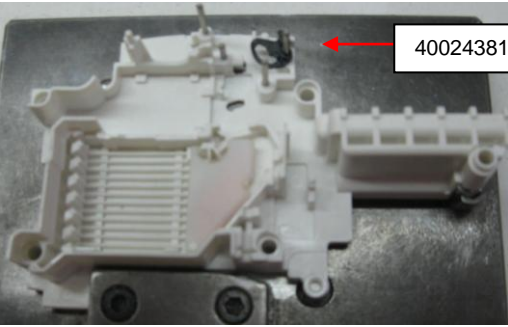
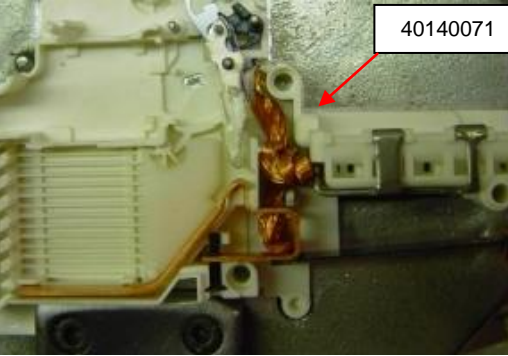


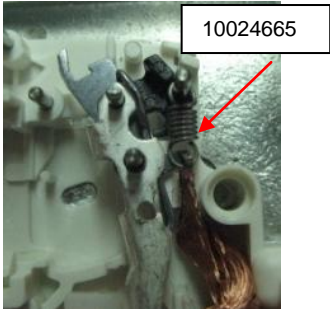
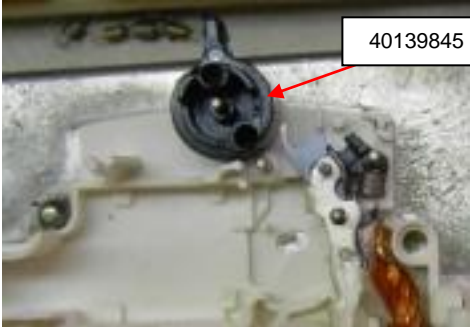
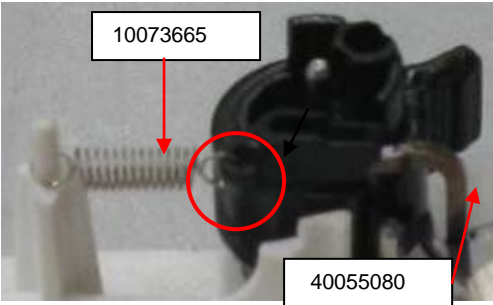
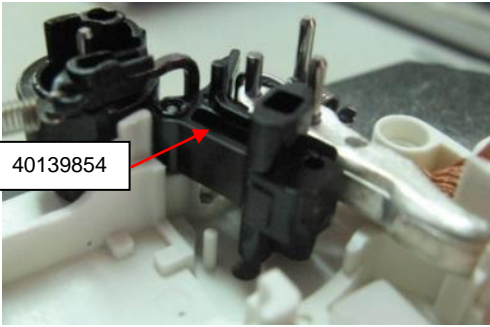
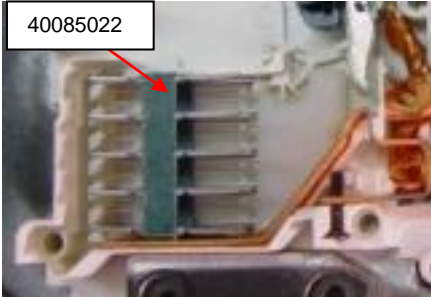
13. ANEXO G: Instruções de trabalho do posto 1

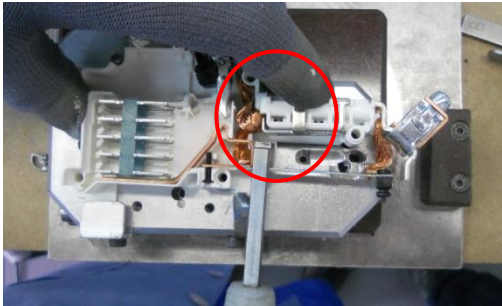
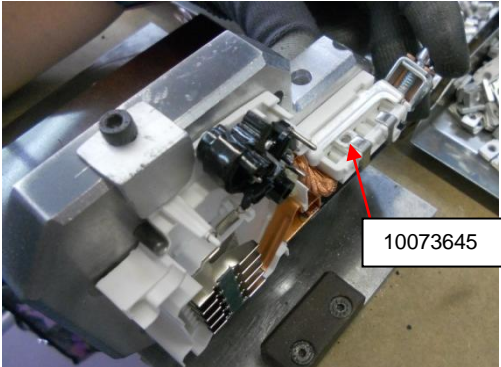
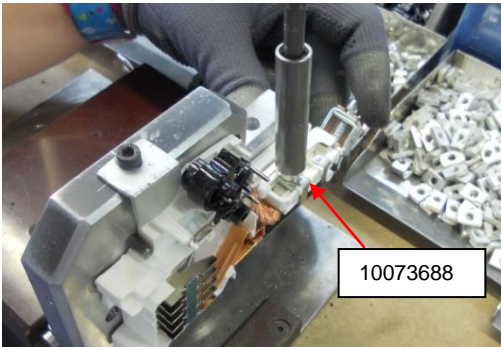

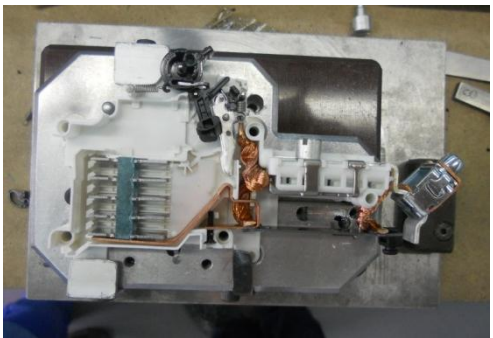
ITCB 1502/9	INSTRUÇÃO DE TRABALHO	
PÁG. 1/4	Departamento: ELCB	
Peça/Produto: 2P1545S-L		Cód. SAP:580014
Designação:	Linha Provisoria 2P-15/45S	

EHS:	Consultar JSA: CB-007
-------------	-----------------------

2P1545S-L _ Posto 1_Provisório

Nº.Op.	Descrição das operações	Fotos/localização de componentes
1ª.	Posicionar o conjunto Base 40140439 (AB90101C5), composto por base 101, eixos, isolador de arco e placa de ferro, no JIG de montagem.	
2ª.	Colocar o Fecho Rápido 40024381 (AB9013300), no eixo superior direito da Base.	
3ª.	<p>Colocar o conjunto Térmico de Fase 40140071 (PSQ1011C5).</p> <p>Encaixar o Contacto Móvel no eixo inferior direito da base, verificar que o eixo superior do contacto móvel entra no fecho rápido.</p> <p>Conformar a trança, com ajuda de uma chave de fenda, de forma que a trança não fique a impedir o movimento do contacto móvel e fique afastada entre si.</p>	

<p>4ª.</p>	<p>Posicionar a Mola 10024665 (PMH1201NN), entre o eixo superior direito e o gancho do Contacto Móvel.</p>	
<p>5ª.</p>	<p>Encaixar o furo central do Manípulo 40139845 (4301901210), no eixo central superior com a haste virada para o exterior da base.</p>	
<p>6ª.</p>	<p>Aplicar a Mola 10073665 (PMH1203NN), no gancho da biela 40055080 (AB90132C1). Encaixar este conjunto no Manípulo e no pino da Base.</p>	
<p>7ª.</p>	<p>Encaixar o Martelo 40139854 (4301901310) com a haste voltada para o exterior da base, no eixo situado abaixo do conjunto do manípulo.</p>	
<p>8ª.</p>	<p>Colocar o conjunto de Câmara de Extinção de arco 40085022 (PZA0005NN) com a abertura voltada para o lado direito.</p>	

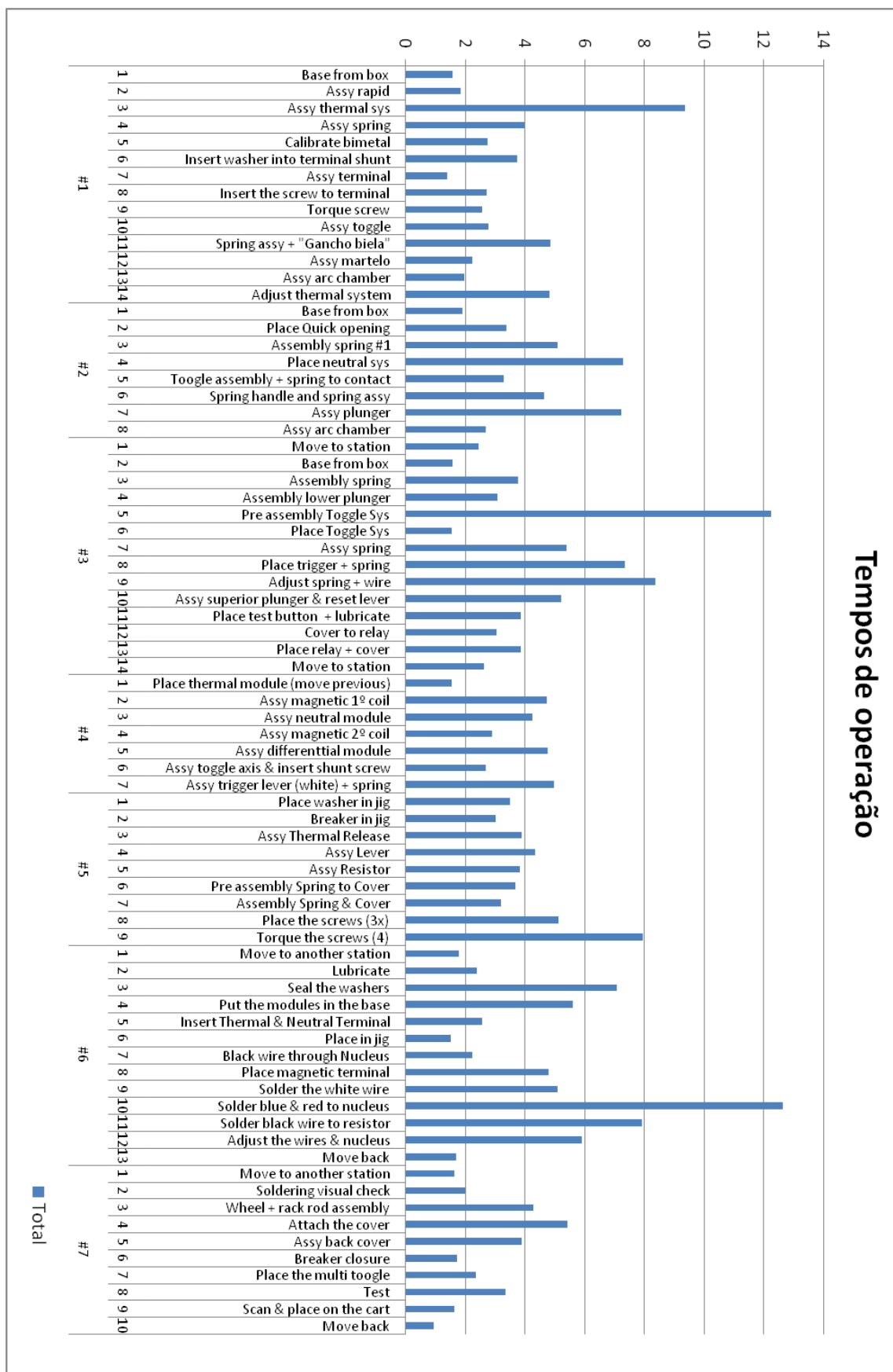
<p>9ª.</p>	<p>Calibrar o bimetetal com ferramenta de calibração e se necessário ajustar o bimetetal junto à pista de arco até obter a medida pretendida, marcada na base do JIG.</p> <p>Posicionar a ferramenta de acordo com a foto.</p>	
<p>10ª.</p>	<p>Virar o JIG como indicado na foto e introduzir a Porca de Shunt 10073645 (PFZ4001AG), com os dois rebaixes orientados para cima e para o lado do shunt, até à 2ª patilha do shunt, ver figura.</p> <p>Acoplar o terminal do borne longo na ranhura.</p>	
<p>11ª.</p>	<p>Em seguida introduzir o Parafuso 10073688 (PPZ4201AG), apertá-lo com aparafusadora Ref. Atlas LUM10 PR05 460Rpm 0,1 – 1,5 Nm.</p>	
<p>12ª.</p> 	<p>Autocontrolo: Efectuar o Autocontrolo de acordo com a IC LM01-2P-15_45.</p> <p>Concluída a montagem, passa para o Posto Seguinte.</p>	

OM	CB V. Neves	EP F. Martins	Q A.Ferreira /A.Mendes	EHS I. Ferreira	Data: 23-05-2011
----	----------------	------------------	---------------------------	--------------------	------------------

14. ANEXO H: Tabela de reabastecimentos diários da célula de montagem do disjuntor 2P1545S

Produção diária : 300			2P1545S	
Referência	Código SAP	Descrição	Unitário	Total / Dia
PMH1201NN	10024665	Mechanism Spring 068.9162.031.00	2	600
AB9012900	10027720	AB9012900_ Alavanca (Caramelo Negro)	1	300
PZL0002ZN	10030455	Realay Protection Plate_ PZL0002ZN	1	300
AB9010503	10072780	Base _ 2P Branco	1	300
AB90106C1	10072781	Tampa central (2P)	1	300
AB9012701	10072788	Alavanca Disp. Relé _ AB9012701 branco	1	300
PFS3001NN	10073641	Porca M3 Din 934-M6-A2F	4	1200
PFZ4001AG	10073645	Porca Shunt MN	1	300
PMH 1202NN	10073664	Mola Manipulo_ PMH 1202NN	1	300
PMH1203NN	10073665	Mola Manipulo R+N	2	600
PMH1401NN	10073666	Mola Torção Abertura Rápida_ PMH1401NN	1	300
PMH1403NN	10073668	Mola Teste_ PMH1403NN	1	300
PMH1405NN	10073670	Mola Alavanca de Desconexão_ PMH1405NN	1	300
PMH1407NN	10073671	Mola Recuperação Termica_ PMH1407NN	1	300
PMH 1409NN	10073672	Mola PMH 1409NN	1	300
PPF3091NN	10073676	Parafuso M3x55	3	900
PPF3530NN	10073680	Parafuso M3x16	1	300
PPZ4201AG	10073688	Parafuso Shunt_ PPZ4201	1	300
PRI2095NI	10073696	Eixo de União Manipulo 2P_ PRI2095NI	1	300
PZZ1002NI	10074089	Biela de Percutor (Fase T)_ PZZ1002NI	1	300
PZZ 1008 NI	10074090	PZZ 1008 NI	1	300
PRI1550NI	10074111	Eixo 1,5x14_ PRI1550NI	1	300
PRI1551NI	10074112	Eixo 1,2x14,3_ PRI1551NI	1	300
AB9013300	40024381	AB9013300_ Fecho Rápido	1	300
AB9013500	40024940	Bloqueador/Empujador	1	300
AB90132C1	40055080	AB90132C1_ Complete F-Part	2	600
PZA0005NN	40085022	Arc Chamber Plate B2000_ PZA0005NN	2	600
4301901043	40139829	AB 90104_ Tampa 104	1	300
4301901093	40139833	AB 90109_ Cremalheira (2P)	1	300
4301901110	40139835	AB 90111_ Manipulo MD	1	300
4301901120	40139836	AB 90112_ Abertura Rápida	1	300
4301901130	40139837	AB 90113_ Percutor (Superior)	1	300
4301901140	40139838	AB 90114 PT_ Percutor(Inferior Neutro)	1	300
4301901210	40139845	AB 90121_ Manipulo (Externo)	2	600
4301901220	40139846	AB 90122 PT_ Gatilho (MD)	1	300
4301901283	40139850	Botão teste_ AB 90128	1	300
4301901310	40139854	AB 90131	1	300
4301901880	40139859	AB 90188_ Percutor Martelo-fase T	1	300
PCB0201C3	40140020	Magnético 245 S	1	300
PSQ1011C5	40140071	Térmico de Fase 245 AC	1	300
AB90101C5	40140439	Conj. Base 101	1	300
AB90102C5	40140440	Conj. Base 102-C5	1	300
AB90126C1	40140444	Conjunto Alavanca do Relé	1	300
AB90202C3	40140445	Conjunto Base 202	1	300
PBE0312C1	40140467	Roda de Calibração 15-45	1	300
PSQ1003C2	40140495	Disparador Térmico	1	300
PZZ1003C1	40140520	Biela Rebatida	1	300
PKM1005C16	40152885	Térmico de Neutro 230ND-AC-245S-AC	1	300
PLP0136NN	40152920	PLP 136(140mm) BR	1	300
PCE0302C1	40153169	Resistência 680 Ohm e 3W Conformada	1	300
Sub. Conj. Relé Soldado	40153635	Sub Conj. Relé Soldado	1	300

15. ANEXO I: Compilação dos tempos de operação de montagem do 2P1545S na célula implementada



16. ANEXO J: Erros linha vs erros célula

