



Planeamento de Experiências na Soldadura na GE Power Controls Portugal

Nuno Alexandre da Silva Baptista Soares

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Professor Hermenegildo Pereira

Orientador na GEPC Portugal: Engenheiro Rui Inácio Amaro



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

2013-01-22

Aos meus pais, Joaquim e Filomena

Resumo

Esta dissertação relata a execução de um planeamento de experiências (DOE) em operações de soldadura, projeto que visa tanto a redução do tempo de ciclo da operação, como da sucata a esta associada, sem comprometer a qualidade do produto.

O primeiro passo para implementar qualquer projeto é a análise do caso atual. Após a mesma, constatou-se que seria inatingível uma redução de não-conformidades por serem praticamente inexistentes, assim, este projeto foca-se na redução de tempo de ciclo e na redução de sucata indireta. Tratando-se de operações com tempos de ciclo muito curtos, fixou-se um tamanho de lote para análise. Depois do levantamento de dados inicial sobre os processos, e estudo dos mesmos, escolheram-se 4 parâmetros com 3 níveis cada para o planeamento de experiências. Utilizou-se uma matriz ortogonal de Taguchi (L27) como guia das experiências. A variável de saída otimizada foi o tempo de ciclo.

Como consequência da análise do primeiro DOE decidiu-se executar mais dois, um na mesma operação e outro numa distinta, ambos com 2 variáveis de saída (tempo de ciclo e resistência da soldadura) um com 3 fatores e o último com somente 2 fatores. Em ambos foi possível aplicar um plano fatorial porque contemplavam menos experiências do que no primeiro DOE. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente por análise ANOVA complementada por testes de significância e gráficos de modo a facilitar a compreensão.

Como conclusão deste projeto apresenta-se uma combinação de fatores ideais e uma noção do peso geral de cada fator nas variáveis de saída, apenas se apresentam conclusões para dois dos DOE por não ter sido possível uma condução livre de ruídos no terceiro. Complementarmente referem-se algumas sugestões e soluções para agilizar práticas e métodos em atividades produtivas experienciadas durante o projeto.

Design of Experiments in Welding Processes

Abstract

This dissertation reports the implementation of a design of experiences in welding operations, project that aims the reduction of the operation's cycle time, as well as the reduction of the scrap associated to the same operation, without compromising the product's quality.

The first step to implement any protect is the analysis of the current state or problem, after this it was made clear that it would be impossible to reduce the number of defect welding products as these were practicaly inexistent, therefore the project is entirely focused into reduction of cycle time and indirect scrap. As these are operations with very short cycle times, a batch size was fixed for the analysis. After the initial data gathering about the processes, and subsequent study, 4 parameters were chosen, varying within 3 levels each, for the DOE. A Taguchi orthogonal array (L27) was used to plan the experiences. The optimized exit characteristic was the cycle time.

After the analysis of the first DOE, the decision to run two more was made, one in the same operation, and other in a different one, both with 2 exit characteristics to optimize(cycle time and weld resistance) one with 3 factors and the last one with 2. Both would follow a fully factorial plan, as there were fewer experiences to be made comparing to the previous DOE. The gathered data were statistically analyzed with ANOVA completed by significance analysis and interpretation aiding graphs.

As a conclusion to this project a ideal combination of factors is presented, along with an impression on the effect each factor has on the product's characteristics, only two of the DOE are granted conclusions as the other was impossible to run without noise infections. Furthermore, suggestions and solutions are presented, to be applied in certain erroneous procedures that crossed this project's path.

Agradecimentos

Começo por apresentar os meus agradecimentos profundos à principal ajuda que tive neste projeto, as operárias da área de soldadura da *General Electric Power Controls Portugal* (GEPCP), especialmente às diretamente envolvidas no projeto, Sr^a Joana, Sr^a Elvira, Sr^a Fernanda e Sr^a Marisa. Agradeço a quem me acompanhou, incentivou e ajudou em todo o percurso na GEPCP, Sr^a Ilda, Sr. Fernando, Sr^a Sara, Sr. José Eduardo, Sr. Jaime, Sr^a Sandra, Eng.º Felipe Covarrubias, Eng.º Rui Coelho, Eng.º Vitor Neves entre muitos outros.

Ainda relativo à GEPCP não posso deixar de expressar toda a minha gratidão aos estagiários presentes no meu dia a dia na empresa, Stephanie, Marta e Laura. Queria por fim deixar aqui um Muito Obrigado ao Eng.º Rui Inácio Amaro por toda a confiança que depositou em mim com um projeto arrojado como este, e por toda a disponibilidade que sempre demonstrou para comigo.

Agradeço ao Nuno Casimiro e Mónica Faria, da secretaria do MIEM, por me ajudarem a resolver os problemas burocráticos iniciais associados aos contratos de estágio.

Expresso uma enorme gratidão e um imenso respeito pelo meu orientador na FEUP, Eng.º Hermenegildo Pereira, pela disponibilidade demonstrada, pelos conhecimentos passados, pela paciência e atenção que teve comigo e para mim.

Não poderia deixar de agradecer a todos os amigos que estiveram presentes na minha vida pessoal durante este trajeto, facilitando a habituação a ambientes e hábitos com os quais não estava acostumado, ajudando-me a ultrapassar mais levemente este desafio, tal como todos os anteriores.

O maior agradecimento de todos vai e irá sempre para a minha família, a quem dedico esta dissertação e todos os demais projetos que encarei até então.

Finalmente, um sincero agradecimento à GEPCP pela oportunidade facultada, e pela bolsa de estágio que me facilitou bastante a vida pessoal e profissional durante a duração deste estágio.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	2
1.1	GE Power Controls Portugal – “ <i>Imagination at Work</i> ”	2
1.2	Planeamento de experiências na soldadura na empresa GEPC Portugal	3
1.3	Método seguido no projeto e análise comparativa de abordagens existentes	3
1.4	Temas Abordados e sua Organização no Presente Relatório	4
2	Estado da Arte	5
2.1	Planeamento de Experiências - DOE	5
2.2	<i>Taguchi</i>	7
2.3	Lean	9
	Gestão Visual	12
	Takt-Time	12
	Normalização de Trabalho e Kaizen	12
	Sistema Pull e Kanban	13
	Heijunka	14
	Produção celular/Fluxo contínuo	15
	SMED (Single Minute Exchange of Die)	17
3	Apresentação do problema e do projeto	18
3.1	ELCB – Earth Leakage Circuit Breaker	18
	Soldadura	19
	Subconjuntos	20
	Térmico	23
4	Planeamento de Experiências, Método de <i>Taguchi</i>	26
4.1	Estado atual e escolha de parâmetros no planeamento de experiências	27
	OP 120 – Soldadura do contacto-móvel	27
	OP 130 – Soldadura da pista de arco	29
4.2	Execução do Planeamento	31
4.3	Implementação de Sistema de <i>Kanbans</i>	34
5	Análise estatística das experiências e reflexão sobre os seus efeitos e resultados	38
	OP 120	38
	Análise do 2º ensaio na operação 120 – tempo de ciclo	41
	Análise do 2º ensaio na operação 120 – Resistência à tração da ligação soldada	43
	OP130	46
6	Considerações Finais	48
6.1	Conclusões	48
6.2	Sugestões e trabalhos futuros	50
	Referências	51
	Bibliografia	Erro! Marcador não definido.
ANEXO A:	Matriz Ortogonal de <i>Taguchi</i> – L27 – Operação 120 DOE 1	52
ANEXO B:	Matriz Completamente Fatorial – Operação 120 DOE 2	53
ANEXO C:	Matriz Completamente Fatorial – Operação 130 DOE 3	54
ANEXO D:	Planta do 2º piso da Fábrica, área dedicada aos ELCB	55
	Anexos Restantes – Instruções de Trabalho, Controlo e Programas de Soldadura	56

Índice de Figuras

Figura 1 - Dispersão de valores, diferença entre normal e desejado por Taguchi.....	7
Figura 2 - Ciclo SDCA.....	12
Figura 3 - Esquema do nivelamento de produção	14
Figura 4 - Produção em células	15
Figura 5 - Exemplo de <i>Value Stream Map</i>	16
Figura 6 - ELCB's.....	18
Figura 7 - Layout atual da área de soldadura.....	19
Figura 8 - Subconjunto Magnético 2P 30/ 60 S	21
Figura 9 - OP300, Soldadura de bobine	22
Figura 10 - OP230, atravessar tranças por núcleo. OP200, soldar borne curto.....	22
Figura 11 - Subconjunto Térmico 2P 30/60	23
Figura 12 - OP230	24
Figura 13 - OP130	24
Figura 14 - OP120	24
Figura 15 - OP200	24
Figura 16 - OP170	24
Figura 17 - OP160	24
Figura 18 - OP140	24
Figura 19 - Operações de soldadura do subconjunto Neutro 2P 15/45	25
Figura 20 - Comparação elétrodo retificado com elétrodo por retificar.....	29
Figura 21 - Extrato de tabela utilizada na recolha de dados durante o DOE.....	31
Figura 22 - Esquema da Organização do sistema de abastecimento de subconjuntos	35
Figura 23 - Esquema ilustrativo da distribuição dos contentores na estante de soldaduras	36
Figura 24 - Formato etiqueta contentores.....	37
Figura 25 - Formato sinal de produção.....	37

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Níveis concetuais do SMED e técnicas associadas (SHINGO,1985)	17
Tabela 2 - Sequência de operações de soldadura no subconjunto magnético	21
Tabela 3 - Informação sobre operações de soldadura no subconjunto magnético	21
Tabela 4 - Informação e cronologia das operações de soldadura no subconjunto térmico	23
Tabela 5 - Informação e cronologia das operações de soldadura no subconjunto neutro	25
Tabela 6 – Dados recolhidos nas medições iniciais da Operação 120	27
Tabela 7 - Fatores e níveis utilizados no DOE relativo a OP 120	28
Tabela 8 - Dados recolhidos nas medições iniciais da Operação 130	30
Tabela 9 - Fatores e níveis utilizados no DOE relativo a OP130	30
Tabela 10 - Dados de apoio à implementação do sistema <i>Kanban</i>	35
Tabela 11 - Capacidades de <i>Kanban</i> por subconjunto	36
Tabela 12 - Configuração ideal para operação 120 dada pelo DOE	40
Tabela 13 - Fatores e níveis utilizados no segundo DOE relativo a OP120.....	40
Tabela 14 - Configuração ideal de parâmetros para otimização de tempo de ciclo dado pelo segundo DOE relativo a OP120	42
Tabela 15 - Combinação final resultado dos 3 DOE	45
Tabela 16 – Resultado final dos DOE	48

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Efeito dos níveis de cada fator no tempo de ciclo.....	38
Gráfico 2 - Tempos de ciclo por tempo de soldadura.....	39
Gráfico 3 - Tempos de ciclo por estado de elétrodo inferior.....	39
Gráfico 4 - Efeito da variação de fatores no Tempo de ciclo	41
Gráfico 5 - Tempos de ciclo em função estado dos eléttodos	42
Gráfico 6 - Efeito dos fatores na resistência da ligação soldada	43
Gráfico 7 - Resistência da solda em função de temperatura de soldadura	44
Gráfico 8 - Resistência da solda em função do estado dos eléttodos	44
Gráfico 9 – Efeito de fatores no tempo de ciclo, OP 130.....	46
Gráfico 10 - Efeito dos fatores na resistência da ligação soldada	47

Glossário

ANOVA – *Analysis of Variance*

DOE – *Design of experiments*

ELCB – *Earth Leakage Circuit Breaker*

GE – *General Electric*

GEPCP – *General Electric Power Controls Portugal*

JIT – *Just in Time*

LIE/LSE – *Limite Inferior/Superior de Engenharia*

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

SDCA – *Standardize-Do-Check-Act*

SMED – *Single Minute Exchange of Die*

S/N – *Signal/Noise Ratio*

TPS – *Toyota Production System*

VSM – *Value Stream Map*

WIP – *Work-In-Process*

SAP – *Systeme, Anwendungen und Produkte in der datenverarbeitung - Sistemas, Aplicativos e Produtos para processamento de dados*

1 Introdução

Esta dissertação fundamenta-se num projeto proposto pela *GE Power Controls Portugal*, centrado no planeamento de experiências na soldadura.

Este documento está dividido em 6 capítulos:

- Introdução ao projeto e à empresa,
- Abordagem ao estado da arte e aos métodos estudados para este projeto,
- Levantamento do estado atual do problema a analisar,
- Proposta de execução do planeamento de experiências e execução do mesmo
- Análise do planeamento de experiências
- Algumas considerações finais e trabalhos futuros

O documento reflete a dedicação exclusiva, durante cinco meses, num projeto tão aliciante e desafiante como este, não relevando ocorrências e dificuldades diárias.

1.1 GE Power Controls Portugal – “*Imagination at Work*”

A *GE Power Controls Portugal* (GEPCP) faz parte do grupo *GE Energy Management*, por sua vez subsidiária da *General Electric* (GE). A GE é uma empresa multinacional centenária, resultante da fusão da *Edison General Electric* e da *Thomson-Houston Electric Company* em 1892. Atualmente emprega mais de 300,000 funcionários distribuídos por cerca de 100 países, tendo sido considerada a 3ª maior empresa do mundo pela revista *Forbes* em 2011.

Uma das representantes da GE em Portugal é a GEPCP, sediada em Vila Nova de Gaia. A principal área de operação é a produção de equipamentos elétricos de baixa tensão, maioritariamente com aplicação residencial. Entre os produtos comercializados encontram-se disjuntores, tomadas, interruptores, quadros, fichas entre outros, sendo de salientar que a comercialização de disjuntores (ELCB) é responsável por cerca de 70% da faturação da empresa, sendo o restante atribuídos aos *Wiring Devices*.

A fábrica está dividida em dois pisos, sendo que no piso térreo encontram-se duas áreas de produção auxiliar e fornecimento, plásticos e metais, onde se inserem processos como injeção de plásticos e conformação plástica de metais, assim como a área de manutenção que presta apoio a toda a fábrica e o armazém, onde se encontram os fornecimentos de apoio à produção. Ainda no piso térreo encontramos uma área de escritórios onde trabalham diretores e colaboradores da empresa, entre outros funcionários indiretos à produção, e finalmente a zona de produção dos *Wiring Devices*.

No piso superior, encontra-se a linha de produção dos ELCB, a linha de testes, efetuados a 100% dos produtos assim como as áreas destinadas a recuperações e reparações. Entre as linhas de produção e as linhas de testes os equipamentos passam por um forno de

conformação térmica, operação que podemos considerar o *bottleneck* de toda a produção visto demorar mais de 5 horas.

Separadamente existe uma área isolada, designada laboratório, onde são efetuados os testes mais específicos, por amostragem aplicada em cada palete de produto, para certificar que este se encontra dentro das especificações previstas.

Finalmente, próximo do laboratório, encontram-se os gabinetes e escritórios de pessoal afeto à produção dos ELCB's.

De modo a facilitar a interpretação do espaço descrito, foi anexado como a este documento um esboço legendado de uma planta deste piso, "Anexo D".

1.2 Planeamento de experiências na soldadura na empresa GEPC Portugal

A área de soldadura é uma das mais importantes e operacionalmente influentes em todo o processo de fabrico do produto mais financeiramente significativa na atividade da empresa.

Mesmo sendo das áreas mais importantes, não é a mais eficiente, sendo detetável o desperdício que deverá ser eliminado ou reduzido. Surgiu por isso a ideia de elaborar um planeamento de experiências para identificar e atuar sobre o desperdício que acontece no processo, assim como melhorar a sua eficácia, diminuindo se possível o tempo de ciclo deste.

A produção de diversos conjuntos soldados, nesta área, determinou a focalização do projeto num tipo de subconjunto soldado, para que se alcançassem resultados com o método selecionado demonstrando ser recomendável a sua aplicação a outros subconjuntos soldados.

1.3 Método seguido no projeto e análise comparativa de abordagens existentes

O método seguido para a realização do planeamento de experiências foi amplo, não se podendo sequer reduzir o planeamento de experiências como um método, antes como uma análise que varia a sua metodologia consoante o processo a ser analisado. No caso alvo, utilizaram-se dois métodos separados para o projeto, o método completamente fatorial, usado habitualmente em processos com menos variáveis, e o método de *Taguchi*, utilizado no estudo de processos com um número elevado de variáveis influentes.

A principal diferença entre estas duas abordagens ao DOE reside na sua aplicabilidade prática e no interesse que essa aplicação pode ter mediante o tipo de processo. Tal como o nome indica, o método completamente fatorial abrange e estuda a totalidade das combinações de diferentes níveis de diferentes fatores existentes no processo. *Taguchi* serve-se apenas de um certo número destas combinações, número esse dado pelas suas matrizes ortogonais e pela profundidade com que queremos analisar um processo com o DOE.

A segunda grande diferença reside na análise, enquanto *Taguchi* sugere a análise de um rácio S/N (*Signal/Noise*) criado por ele, o método completamente fatorial leva-nos à análise imediata dos valores obtidos como variáveis de saída, normalmente uma análise ANOVA, complementada por um teste de significância.

Estes dois métodos são os mais bem documentados, e com uma taxa de sucesso elevada face a outros, tendo, por isso sido considerados para este projeto. Também são relativamente fáceis de usar, não sendo necessários cálculos excessivos que a nada levariam numa análise deste género.

1.4 Temas Abordados e sua Organização no Presente Relatório

O tema central deste projeto é, obviamente, o planeamento de experiências, e o desenvolvimento desta dissertação pretende acompanhar a cronologia desse mesmo projeto, desde o levantamento de bibliografia e conhecimento sobre o planeamento de experiências e outras ferramentas de gestão, à perceção do estado atual da área de soldadura na empresa, culminando na preparação, execução e análise do DOE em si.

Contudo, o trabalho desenvolvido na empresa estendeu-se para lá deste projeto e desta competência, tendo existido um envolvimento em projetos diários ou semanais que não serão apresentados nesta dissertação. Contudo entende-se ser justificada a inclusão na dissertação da implementação de um sistema de *Kanban*, renovado, entre a área de soldadura e as linhas de produção. A razão da implementação deste sistema, assim como os procedimentos, análises e considerações que foram realizadas para essa implementação, podem ser consultados no capítulo 4 deste relatório.

2 Estado da Arte

Neste capítulo contextualizam-se alguns métodos utilizados no decurso do projeto, para uma maior compreensão dos tópicos discutidos posteriormente.

2.1 Planeamento de Experiências - DOE

Método que consiste em planear a aquisição de dados sobre o funcionamento de um sistema ou processo, através da definição prévia de uma bateria de testes, em vários parâmetros e diferentes níveis para os mesmos, dentro do sistema ou processo.

Este sistema pode ser o mais diverso possível, todos os dias se planeiam experiências de forma inconsciente, uma dieta, um desporto novo, ou experimentar caminhos diferentes no trânsito, não fogem do conceito básico do planeamento de experiências.

O planeamento de experiências assenta então na alteração de fatores entre níveis. Os fatores são parâmetros, controláveis ou não, que alteram o sistema, podendo ser:

Tipo

- Quantitativos – (temperatura, humidade, pressão...)
- Qualitativos – (tipo de material, operador, tipo de máquina...)

Controlo

- Controlável – quando é possível alterar e fixar o seu valor
- De ruído – quando não é possível ou viável fixar o seu valor

Os níveis são apenas valores ou estados que os fatores podem tomar. O número de níveis depende do fator e de quem está a conduzir o planeamento de experiências.

A recolha e processamento de dados pode ser algo muito complicado, uma vez que dependendo do número de fatores e de níveis neles incluídos pode se tornar impossível testar todas as combinações existentes, isto é, se o processo apresentar 4 fatores e cada fator variar entre 3 níveis tem-se um total de 81 combinações a testar. Aumentando para 5 fatores, ficamos com 243 combinações, o que já começa a ser pouco razoável. Ao teste de todas as combinações possíveis chama-se de Plano Fatorial Completo.

Existem contudo várias alternativas viáveis e acertadas estatisticamente ao uso do Plano Fatorial Completo e dos custos a este associados. São exemplos disso o Plano Fatorial Fracionado e o Método de *Taguchi* e as suas matrizes ortogonais, utilizadas neste projeto. Após a seleção do processo e recolha dos dados, esses mesmos dados são sujeitos a uma análise estatística para determinar quais são os fatores cuja variação pode alterar o processo mais significativamente e quais serão as melhores combinações de níveis entre esses mesmos fatores. As ferramentas que frequentemente utilizadas nesta análise são a análise de médias e a análise ANOVA complementados por vários tipos de gráficos, sejam eles histogramas, *boxplots* ou *dotplots*.

Todo o propósito do DOE é o de otimizar e regularizar um processo, fazendo-o sem alterar os seus componentes ou intervenientes, apenas modificando as relações entre eles, sendo assim uma ferramenta de apoio ao controlo de qualidade e produção bastante económica e maioritariamente eficaz, tornando o processo mais eficiente, ou o produto final mais robusto e resistente à variabilidade ou a possíveis intempéries incontroláveis (problemas ambientais, aprovisionamento, variação dimensional,...).

Assim sendo, o DOE é uma ferramenta utilizada na melhoria contínua tanto de processos como produtos. Para mais informação sobre aplicação prática do DOE, consultar Funkenbusch (2005)

No caso deste projeto, o objetivo inicial do DOE passava por otimizar o processo de soldadura do neutro, reduzindo o desperdício, diminuindo tempos de ciclo e aumentando deste modo a produtividade das células.

2.2 Taguchi

O Dr. Genichi Taguchi, nascido no Japão em 1924 e falecido em 2012, é considerado como um dos gurus da qualidade, ao lado de nomes como *Ishikawa, Juran ou Deming*, por todo o seu trabalho no âmbito do DOE, e por ter redefinido o conceito de qualidade. Segundo *Taguchi* a qualidade de um produto é definida por:

*“a perda causada à sociedade pelo produto,
desde o momento em que este é expedido para o cliente”.*

Desenvolveu a maior parte do seu trabalho nos anos 50, utilizando uma abordagem diferente ao DOE clássico criado anos antes (1924) por Sir R. A. Francis.

De um modo sucinto, a diferença prática entre estes dois métodos, é resumida em poucas palavras do seguinte modo: “o planeamento de experiências clássico defende fortemente uma abordagem sequencial e adaptável à experiência enquanto que a abordagem de *Taguchi* utiliza uma grande experiência para estudar todos os efeitos principais bem como algumas interações importantes” [Jiju Antony, 2006]

Taguchi começa por sugerir que a qualidade vem da robustez do processo, que produz algo e da sua invariabilidade face a condições perturbadoras (ruído). Enquanto a qualidade, de um processo produtivo ou produto, é muitas vezes definida por dois valores de controlo, LIE e LSE, *Taguchi* define-a como a proximidade a um valor específico, e tenta estabilizar o processo produtivo, assim como as características do produto, em torno desse valor, como se encontra ilustrado na figura seguinte, onde “LIE” e “LSE” representam os limites inferiores e superiores das características do produto, “u.p.” é o número ou percentagem de peças produzidas, “y” representa a medição da característica do produto sendo que “ y_0 ” será o valor alvo para o qual *Taguchi* sugere ser planeada a produção.

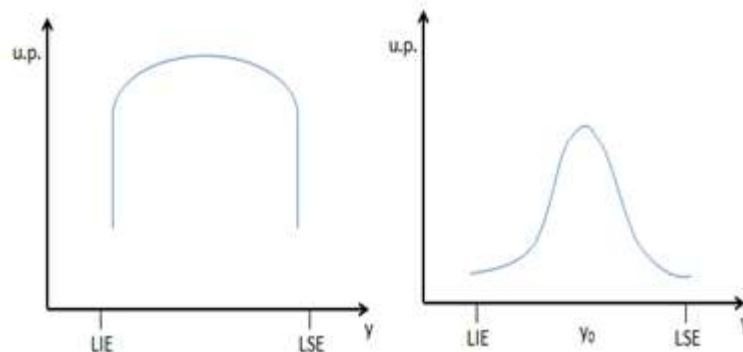


Figura 1 - Dispersão de valores, diferença entre normal e desejado por Taguchi

Num sentido mais prático, descrevendo já algo do que vem retratado experimentalmente no presente relatório, *Taguchi* sugere um rácio S/N, utilizado para medir a resistência do processo às intempéries incontrolláveis.

Existem 3 tipos de sinal-ruído:

- Um para quando se pretende que a característica final mensurável, chamada sinal de saída, se aproxime de um valor nominal - *nominal is better*
- Outros dois para quando se pretende que este sinal atinja valores extremos:
 - Máximos - *higher is better*
 - Mínimos - *smaller is better*

Em todo o caso, quanto maior for o rácio, maior é a estabilidade das características de saída do processo.

É este rácio, juntamente com os resultados efetivos, que serão analisados após as experiências, sendo então levado em conta não só o resultado da experiência, mas também a robustez desse mesmo resultado.

As experiências são realizadas segundo uma matriz ortogonal, preparada para cobrir as principais interações e os níveis de fatores estatisticamente mais relevantes. Estas foram aperfeiçoadas e normalizadas por *Taguchi*, e permitem-nos realizar um DOE com menos ensaios do que a grande parte de outros métodos, atingindo conclusões de igual peso no planeamento de um processo. Consultar Taguchi (1990) para aprofundar as bases estatísticas do seu método.

A escolha, utilização e interpretação destas matrizes serão descritas mais à frente no decorrer da experiência em si.

2.3 Lean

O planeamento de experiências em processos está obviamente associado à diminuição do desperdício, seja em recursos utilizados ou tempo. Isto acaba por tornar o planeamento de experiências numa ferramenta da abordagem *Lean*.

Podemos associar o nascimento do *Lean*, na década de noventa (séc.XX), ao reconhecimento pelos E.U.A do TPS (*Toyota Production System*). A história deste sucesso começa com Sakichi Toyoda que funda a *Toyota Motor Co.* em 1937.

O seu filho, Kichiro Toyoda, estuda e aprofunda o sistema de produção implementado pela Ford (1ª metade do séc. XX) e posteriormente Taiichi Ohno adapta-o às realidades do mercado japonês, inventando o conceito de JIT e aprofundando o TPS.

Convém ter em conta que tanto a criação do TPS e consequentemente do *Lean*, como a sua total implementação prática na *Toyota*, levou o seu tempo, “*Foram precisos mais de 30 anos de esforço incansável a Eiji Toyoda, Ohno e outros para implementar completamente todas estas ideias – incluindo o just-in-time – dentro da cadeia de abastecimento da Toyota. No fim eles conseguiram, com consequências extraordinárias para a produtividade, qualidade de produto e resposta às mudanças na procura do mercado*” (Womack, Jones, Roos, 1990)

Lean é uma cultura focalizada na eliminação do desperdício em qualquer processo que crie valor, em praticamente todas as frentes possíveis, na busca incessável pelo resultado ótimo.

Para isso o *Lean* identifica os três tipos de desperdício seguintes:

Muda – Qualquer atividade que consuma tempo ou recursos sem acrescentar valor ao processo ou produto.

Mura – Variabilidade por desregulação vinda de procuras esporádicas ou de ritmos de trabalho que levem a operadores ou máquinas a esperar ou a apressar-se.

Muri – Instabilidade e dificuldade, por sobrelotação, quantidade irrealista de trabalho alocado a uma máquina ou operador.

O *Lean* combate mais regularmente o *Muda*, utilizando a representação do *Value Stream Map* (VSM), que tem como função sinalizar, na cadeia de valor interna, quais os passos no processo que acrescentam valor ao produto, e quais são os que originam desperdício em tempo e recursos. Seguidamente, apresenta -se o que o *Lean* identifica como os 7 tipos principais de *Muda*:

- Transporte
- Inventário
- Movimento
- Espera
- Sobreprodução
- Defeitos
- Práticas laborais

Antes de especificar as ferramentas utilizadas na cultura *Lean*, para otimizar os processos, convém salientar que na atuação no “*Gemba*” (local onde tudo acontece e o valor se cria) o *Lean* privilegia o respeito pelos operadores, o seu envolvimento na melhoria e nos resultados, e potencia as suas competências, valorizando as suas tarefas sempre que se libertam conscientemente do desperdício e aumentam a sua participação na criação de soluções e valor. Sendo o trabalho feito pelos operadores da “linha da Frente”, é absolutamente necessário que estes sejam estimulados pelo trabalho que efetuam, tanto a nível profissional como pessoal. Para isto, a cultura *Lean* começa por defender que:

- Se deve permitir que o funcionário:
 - Trabalhe em segurança
 - Conheça o seu cliente
 - Esteja envolvido na empresa
 - Se sinta concretizado
- Sejam adotados os seguintes princípios para os operadores:
 - Trabalhar segundo o seu sistema
 - Remover passos inúteis do seu trabalho
 - Não sobrar nada a não ser passos que acrescentem valor ao produto
- Nunca se deve desperdiçar o tempo e esforço dos operadores

Este contínuo compromisso por parte da gestão em investir nos operadores, em inculir neles o desejo de melhorar o seu trabalho através da eliminação do desperdício é a espinha dorsal do *Lean* e de qualquer mudança que pretenda implementar o processo perfeito.

Após este compromisso estar assente, devemos salientar os 7 princípios *Lean* apontados por Pinto (2009):

1. Conhecer o *Stakeholder*
2. Criação de Valor
3. Definição de Cadeias de Valor
4. Otimização de Fluxo
5. Utilização de Sistema *Pull*
6. Lutar pela Perfeição
7. Contínua Inovação

A inovação e a luta pela perfeição reforçam a ideia de que os métodos *Lean* nunca têm fim, aproximam-se mais de uma filosofia que a empresa acolhe e adota do que apenas uma melhoria de processos. Com o início do *Lean* na empresa, este nunca mais deve ser esquecido ou abandonado, devendo a luta pela perfeição continuar ano após anos, numa melhoria contínua dos processos (*Kaizen*). (Pinto 2006)

Os benefícios resultantes de implementar a cultura *Lean* numa empresa são lógicos, e estão publicados casos e testemunhos em diversas obras, relatórios e estudo de casos.

De acordo com o *Lean Institute* dos EUA estes podem ser resumidos do seguinte modo:

- Crescimento do negócio – valores superiores a 30%
- Aumento da produtividade – valores entre 20 a 30 %
- Reduções dos stocks – valores típicos apontam para reduções superiores a 80%
- Aumento do nível de serviço – valores entre 80 a 90%
- Aumento da qualidade do serviço prestado ao cliente. Redução dos defeitos: 90%
- Maior envolvimento, motivação e participação das pessoas
- Redução de acidentes de trabalho:90%
- Redução de espaço ao nível do *shop floor* – valores na ordem dos 40%
- Aumento da capacidade de resposta por parte da empresa
- Redução do *lead time* – valores típicos entre 70% a 90%

De modo a atingir benefícios deste género, é preciso implementar a cultura *Lean* desde o início, como foi aqui explicado, o verdadeiro crescimento tem de provir dos colaboradores, só após eles estarem preparados e motivados as ferramentas da cultura *Lean* podem funcionar.

São conhecidas mais de 60 ferramentas de eliminação do desperdício, chamadas *Lean Tools*, sendo seguidamente resumidas aquelas que aqui se consideram proeminentes, tendo estado mais presentes no dia-a-dia nesta empresa.

Gestão Visual – assenta na ideia de que a fábrica e o seu funcionamento deve ser de fácil interpretação para os operadores, adaptando o sistema de informação para as pessoas, isto requer que “todo o local de trabalho disponha de sinais (sonoros ou visuais) que informem as pessoas do que fazer, quando fazer, o que está a correr mal, quem precisa de ajuda.” (Pinto, 2006)

Takt-Time – um “intervalo preciso de tempo”, utilizado na música para definir ritmos, e adaptado à produção com o mesmo intuito. Demonstra o tempo exato que a linha de produção dispõe para produzir uma unidade do seu produto. É obtido dividindo o tempo disponível de produção, pela quantidade a produzir. À medida que o ritmo de produção se aproxima deste valor elimina desperdício e não realiza sobreprodução.

Normalização de Trabalho e Kaizen – a filosofia *Kaizen* de melhoria contínua está sempre associada à ideia do *standard work* na indústria, uma não pode funcionar sem a outra. A normalização do trabalho serve-se de 3 ferramentas essenciais à estabilização de um processo para “definir a interação de e entre pessoas e o seu meio enquanto processam um produto ou um serviço” (Biblioteca *GE*), estas ferramentas são:

- *Takt-Time*
- Sequenciação do trabalho
- Eliminação do *work-in-progress* (WIP)

Se a isto não se aliar a melhoria contínua, não se deve esperar um aumento de produtividade nem diminuição do desperdício pois os problemas repetem-se sem serem abordados, o que acaba por destruir a motivação dos operadores e desperdiçar a criatividade que estes podem inculcar ao processo.

Do mesmo modo, se aplicarmos os conceitos *Kaizen* de melhoria contínua e de aumento de produção a partir do aumento de confiança nos funcionários, sem uniformizar o trabalho, a mudança fica caótica, insustentável, tornando-se impossível a identificação do progresso acabando este por estagnar antes de ser considerável.

Assim sendo, podemos associar o ciclo de melhoria contínua PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), substituindo o P de *plan* por um S de *standardize*, criando o ciclo SDCA (*Standardize-Do-Check-Act*).



Figura 2 - Ciclo SDCA

Sistema Pull e Kanban – O sistema *pull* e a utilização de *Kanban*, estão intrinsecamente associados, sendo uma das coligações mais acertadas e producentes na filosofia *Lean/TPS/JIT*.

“*Kanban* é uma palavra de origem Japonesa que significa cartão, quadro de aviso ou bilhete. (...) Por ser uma ferramenta muito importante na filosofia *TPS/JIT*, o *Kanban* tornou-se sinónimo do sistema *pull*”.(Pinto,2006)

Este funciona como o meio de troca de informação que possibilita a aplicação de sistema *pull* com sucesso, criando um fluxo contínuo de informação entre a procura e a oferta num processo fabril. A “autorização” para a produção é dada através do cartão *Kanban* priorizando o *output* impedindo casos de *starving* e sobreprodução. O fluxo de operações é coordenado pelo cliente final, e à medida que a linha de montagem vai consumindo as peças necessárias, vai autorizando os centros de trabalho anteriores a produzir mais um lote de peças.

Embora muito importante, deve ser implementado com a preparação adequada de todos os intervenientes para não fomentar o descrédito em eventuais dificuldades e falhas que comprometam os objetivos definidos.

João Paulo Pinto, descreve no livro “Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços”, as condições necessárias para correta implementação de um sistema *Kanban/pull*:

- Necessidade de um bom *layout* dos postos de trabalho (de preferência o *layout* celular)
- Necessidade de tempos reduzidos de operação e *Setup*
- Eliminação de situações imprevistas (i.e., processos estáveis)
- Desenvolvimento e extensão das relações entre clientes e fornecedores a todo o processo (necessidade de uma definição abrangente de cliente e fornecedor)
- Necessidade da polivalência das pessoas através de formação e treino
- Os colaboradores terão de ser capazes de mudar o posto de trabalho e executar afinações ou operações de manutenção quando necessário (manutenção autónoma)
- Processos uniformizados e estáveis
- Produtos com design simples e sujeitos a uma procura estável e previsível
- Necessidade de evolução ao nível do design dos produtos, i.e., torna-se necessário normalizar materiais, subconjuntos constituintes do produto, levando a uma diminuição no número de referências a trabalhar, no número de mudanças de produtos e na variedade de *Kanbans*.

Como principais vantagens pode referir-se a rápida movimentação da informação, uma boa adaptação do sistema à procura, diminuição de *stocks*, descentralização de controlo dos processos fabris, um serviço mais eficiente e uma comunicação mais eficaz dentro da fábrica.

Heijunka – Termo japonês para “programação nivelada”, grande apoio ao sistema *pull* na medida em que pretende equilibrar e gerir de modo eficaz possíveis oscilações que surjam no planeamento de produção. Em vez de produzir em contínuo o volume de produto necessário para satisfazer as necessidades previstas a médio prazo, o *heijunka* procurará alternar a produção desses produtos com outros artigos, em menor quantidade e em espaços de tempo mais curtos, isto lineariza os planos de produção e cria um padrão cíclico de procura e oferta dentro da fábrica.

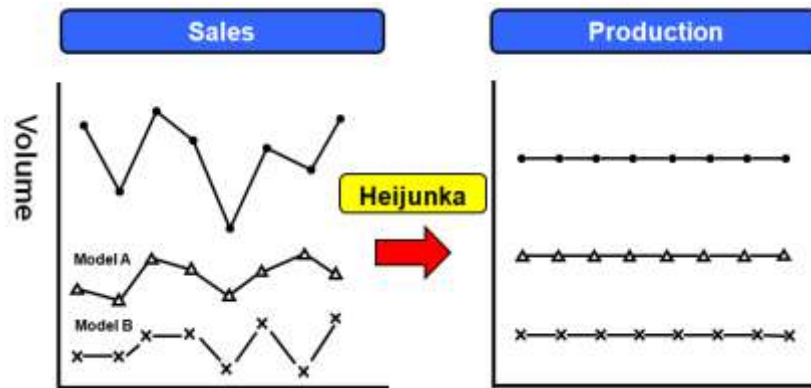


Figura 3 - Esquema do nivelamento de produção

Antes da implementação deste planeamento é preciso atingir uma compreensão profunda de como funciona a produção na unidade fabril, percebendo todos os fluxos de materiais e informação. Então deve iniciar-se a diminuição do *lead-time*, fundamental ao nivelamento de produção, porque se se tentar nivelar a produção antes de reduzir o *lead-time* para valores muito baixos, incorre-se no risco de aumentar os inventários de forma drástica, sendo este o efeito contrário ao visado pelo *heijunka*.

Segundo Suzaki (2010) um modo de aplicar este tipo de planeamento de forma simples passa por dividir a produção mensal em duas partes, como se o mês tivesse duas partes completamente independentes, seguidamente voltar a fazer o mesmo, e continuar este processo até ser incomportável para a empresa suster este tipo de planeamento. Este planeamento, levado sistematicamente, reduzirá o *lead-time*, o valor de inventários intermédios e reduzirá os custos operacionais.

Produção celular/Fluxo contínuo – A produção celular defende a criação de células de pequeno tamanho, em detrimento das grandes linhas de produção, isto permite a produção de pequenos lotes, aumentando a flexibilidade da produção e permitindo a existência de um fluxo contínuo de peças.

Entre outros fatores relevantes associados a este método estão:

- Redução do tempo de *setup*
- Diminuição das movimentações dos materiais;
- Redução dos *stocks* em curso (WIP);
- Facilidade de monitorizar os processos;
- Autocontrolo com gestão visual e sistemas *poka yoke*;
- Polivalência dos operadores na célula.

Estas células podem ter várias configurações, sendo a mais comum a configuração em “U”, com um número reduzido de trabalhadores, e com produção unitária, permitindo a redução instantânea do WIP.

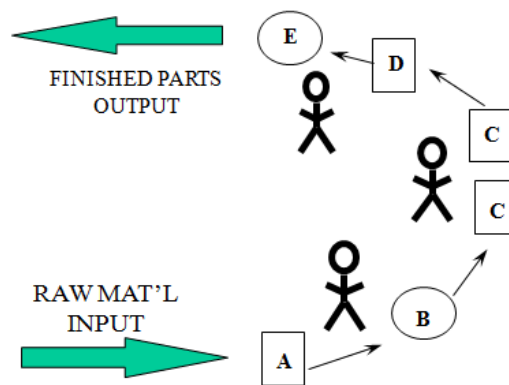


Figura 4 - Produção em células

J.P. Rodrigues Silva em *Técnicas e ferramentas Lean*, defende 6 fundamentos para a produção celular:

- Fluxo dos Materiais – Células dispostas perto umas das outras, diminuindo a movimentação de materiais.
- Proximidade a equipamentos especiais (monumentos) – Estes equipamentos devem ficar localizados entre as células que os usam
- Linha de Montagem – Semelhança com uma pequena linha de montagem
- Mobilidade – Facilidade de reajustar ocasionalmente as máquinas dentro da célula
- Proximidade – Processos sequenciais devem ser colocados lado-a-lado
- Gestão Única – os recursos de uma célula devem responder apenas a um responsável

VSM (Value Stream Map) – originalmente referido como “Material and Information Flow Mapping” quando criado na Toyota, era usado para demonstrar tanto o presente e o futuro do fluxo de materiais e informação. O conceito de VSM foi introduzido por Womack e Jones em *Lean Thinking*, 1996, e aprofundado pelo Lean Enterprise Institute em “*learning to see*”.

Esta é, atualmente, uma das mais poderosas ferramentas *Lean*, sendo essencial à implementação desta filosofia, e determinante em qualquer processo, mesmo que não industrial.

O VSM é uma ferramenta de identificação do desperdício, maioritariamente temporal, com que se mapeia a cadeia de valor, que permite separar visualmente o que acrescenta valor ao produto, do que é desperdício, identificar as fases do processo onde o *Lean* deve ser introduzido com mais celeridade. Para além disto, também se efetua um mapeamento hipotético do futuro desejado para a produção, assim, com um objetivo delineado, deve tentar-se atingi-lo num ponto de vista geral, melhorando o processo como um todo, não focando apenas passos específicos.

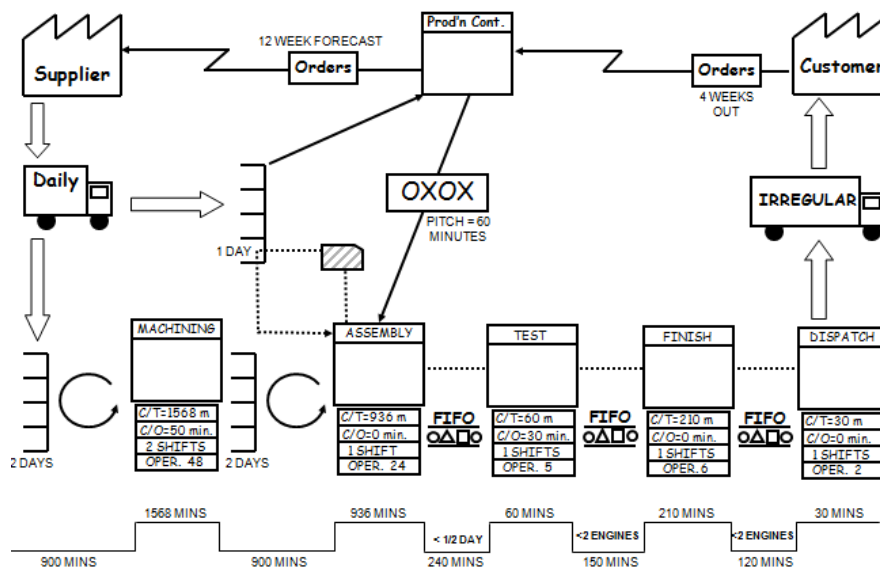


Figura 5 - Exemplo de *Value Stream Map*

SMED (Single Minute Exchange of Die) – Durante um *setup* ou um *changeover*, a empresa não está a adicionar valor ao produto, o que não é desejado, muito pelo contrário. O *setup* é entendido como desperdício e deve ser eliminado, ou reduzido ao mínimo possível.

O método mais estudado e mais utilizado na redução destes tempos é o *SMED*, metodologia *Lean* desenvolvida por Shigeo Shingo que, segundo as suas palavras, consiste em:“(...) abordagem científica para redução do *setup*, que pode ser aplicada em qualquer fábrica ou equipamento”(Shingo, 1985)

Podemos separar 3 passos fundamentais a que o método *SMED* recorre:

- Separação de *setup* interno e externo, sendo que as externas são as atividades que se podem realizar com a máquina em funcionamento, enquanto que internas são as que necessitam da máquina parada.
- Conversão de *setup* interno em externo, todas as actividades que possam ser efetuadas com a produção a correr devem sê-lo, isso garante um menor tempo de quebra, além disso, muitas vezes há tarefas que consideramos serem internas que podem perfeitamente ser externas
- “Melhoria sistemática de cada operação básica do *setup* interno e externo”[Shingo,1988], se os 2 passos anteriores não se revelam suficientes para alcançar o *single-minute*. Shingo delinea ainda algumas técnicas, que se podem aplicar em qualquer ambiente industrial, para atingir o *SMED*.

Tabela 1 - Níveis conceituais do SMED e técnicas associadas (SHINGO,1985)

Nível de implementação	Técnicas associadas
1º Nível	Utilização de <i>Check-List</i>
	Verificar condições de funcionamento
	Melhoria no transporte de ferramentas
2º Nível	Preparação antecipada das condições operacionais
	Normalização de funções
	Utilização de guias intermediárias
3º Nível	Melhoria no armazenamento de ferramentas
	Implementação de operações em paralelo
	Eliminação de ajustes
	Mecanização das operações

3 Apresentação do problema e do projeto

3.1 ELCB – Earth Leakage Circuit Breaker

É a designação utilizada pela GEPCP para um disjuntor residencial, como referido anteriormente, é o principal produto da empresa e, conseqüentemente, o foco da maior parte dos procedimentos e processos internos. Um processo crítico associado a este produto é a soldadura, área onde decorre o planeamento de experiências.

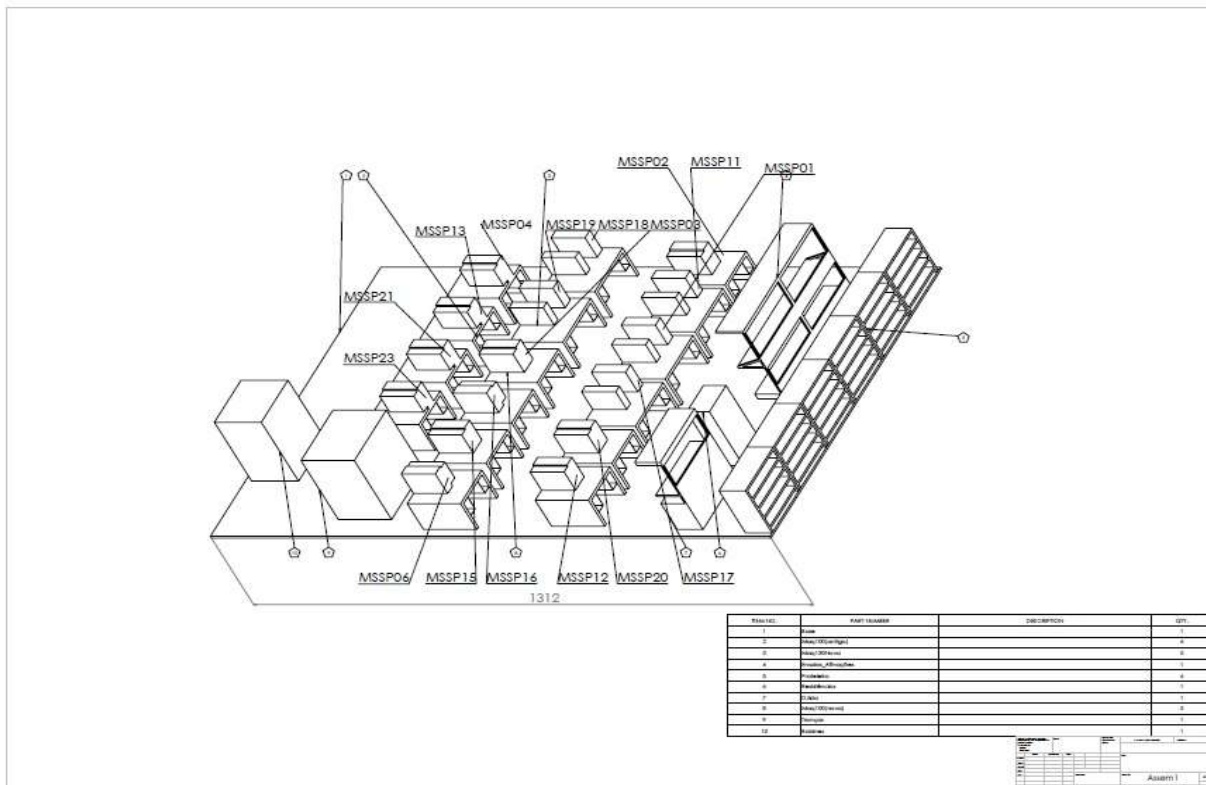


Figura 6 - ELCB's

Pode colocar-se a soldadura no centro de um mapa para de todo o processo de produção de um ELCB, desde a receção de materiais até o despacho de *Finished Goods*, sendo um processo *core*, insubstituível na conceção do principal produto da empresa.

A GEPCP produz vários tipos de ELCB's, com diferentes capacidades, sensibilidades e sistemas de segurança, podem ser pelos circuitos que têm, 2 ou 4 polos, assim como pela amplitude entre a qual operam, 5A, 15/45 A, 30/60 A, 60/90 A, e o facto de serem diferenciais ou não, com disparo mais lento ou mais rápido, ND, S e AC.

Qualquer uma destas características está associada à soldadura dos subconjuntos que compõe os circuitos dos ELCB's, sendo então necessária a existência de uma ampla gamas de subconjuntos, diferenciados pelas características do circuito: neutro, fase (térmico) ou magnético.

Soldadura**Figura 7 - Layout atual da área de soldadura**

A área de soldadura é composta por 16 bancas de trabalho, cada uma com o seu equipamento de soldadura por resistência e completamente independente das restantes.

“Na soldadura por resistência, o calor necessário para criar a ligação é gerado aplicando uma corrente elétrica através das camadas empilhadas entre os elétrodos.”(Zhang; Senkara, 2012)

Os equipamentos podem ser, e são, configurados de acordo com a operação a ser efetuada, alterando parâmetros como o jig (ferramenta que segura a peça a ser soldada), elétrodo, material de adição e parâmetros da máquina, tais como corrente, pontos de soldadura, tempo de solda, etc.

Todas as bancas costumam operar em simultâneo, num esquema de produção constante, respondendo às necessidades das linhas de montagem, quer a curto, quer a médio prazo, não havendo muito WIP. Assim sendo, as máquinas precisam de ser configuradas para diferentes tipos de operação com uma frequência mais alta do que a normal, estando à mercê de alterações nos pedidos das linhas de montagem, de eventuais avarias de outros equipamentos ou da falta de algum componente em específico.

O controlo de qualidade é principalmente efetuado por via visual, controlo esse a cargo do operador que atua o equipamento e efetua a operação a ser controlada. Para além disso, sempre que um equipamento sofre uma alteração, seja um novo *setup*, o início de uma nova operação ou alteração de parâmetros ou operadores, a qualidade da solda é testada através de um ensaio de tração, levado a cabo com um equipamento disponível no local, de modo assegurar imediatamente que a força da ligação soldada resiste dentro dos parâmetros de qualidade exigidos. Este teste é destrutivo e aplicado a 5 peças do início da produção, de modo a retificar imediatamente o equipamento, caso seja necessário, sem perdas de produção.

O controlo numa fase seguinte é feito nas linhas de montagem, finda a montagem, a linha de testes assegura-se da conformidade de 100% dos produtos. Se em qualquer passo deste controlo, um produto ou parte deste é considerado não-conforme, é imediatamente enviado para a recuperação, que investiga a não-conformidade e procede de acordo com a natureza da mesma. No caso das soldaduras, quase todos os materiais podem ser reparados e reutilizados *in loco*, e os que não o são, são enviados como *scrap* para subcontratados que realizam a recuperação e reciclagem da sucata produzida.

Tendo em conta que todo o processo tem uma taxa de rejeição bastante elevada, esta política de qualidade total, complementada com uma forte recuperação de elementos erróneos, permite a manutenção da sustentabilidade do sistema, mesmo não o aperfeiçoando, nem o tornando mais económico a longo prazo. Esta consciencialização é essencial para levar a cabo os procedimentos e as mudanças que são imprescindíveis ao aumento da rentabilidade e eficácia do processo inteiro.

Ao todo, existem 11 tipos diferentes de operações de soldadura, cada operação pode servir um ou mais tipos de subconjuntos, e cada uma destas operações é definida por instruções de trabalho, afinações e parâmetros de solda, instruções de controlo e componentes intervenientes diferentes. Em anexo, disponibilizam-se as instruções de trabalho e os programas de soldadura que definem as operações intervenientes na soldadura do neutro, operações em que se foca este projeto.

Subconjuntos

O que define o funcionamento e a aplicação de um ELCB são os subconjuntos que o constituem. Cada subconjunto é uma associação de componentes, distribuídos entre os seguintes grupos:

- Bobine
- Shunt
- Pista de arco
- Trança
- Contacto móvel
- Borne
- Bimetal
- Núcleo magnético

Os componentes podem ser fabricados internamente, como é o caso de algumas bobines e tranças, ou fornecidos externamente por subcontratos, no caso do contacto móvel e borne.

É a soldadura destes componentes em certas formas e ordens que forma um subconjunto, a sua natureza e funcionalidade varia consoante os componentes soldados e a forma como os mesmos foram soldados.

MAGNÉTICO

O Subconjunto magnético é constituído por quatro componentes distintos – Trança, Borne, Bobine, e Núcleo Magnético.



Figura 8 - Subconjunto Magnético 2P 30/ 60 S

A sua construção é formada por 3 operações, apenas duas delas de soldadura de componentes e sendo apenas estas catalogadas como operações internas. A terceira é uma operação manual, que toma lugar antes da operação 200, sendo considerada parte desta pela análise da empresa, e consiste em atravessar as tranças por dentro do núcleo magnético. Neste caso separa-se a análise dessa pré-operação, pelo facto de esta ser morosa o suficiente para tal.

A tabela 2 apresenta a sequência de operações neste processo, para um magnético utilizado no ELCB 2P 30/60 S, dos mais produzidos e idêntico ao 2P 15/45 S, o qual é alvo deste projeto.

Tabela 2 - Sequência de operações de soldadura no subconjunto magnético

Subconjunto	Soldar Bobine à trança	Atravessar Tranças pelo núcleo magnético	Soldar Borne Curto
M 2P 30/60S	OP. 300	“OP. X”	OP. 200

Esta sequência não difere muito da do neutro, mais aprofundada neste relatório, a OP.200 é inclusive parte dos dois processos de soldadura, com a diferença de alojar neste caso a “OP.X”.

Neste caso em particular existem duas operações a necessitar de equipamento de soldadura, com propósitos e características de solda diferentes, e consequentemente parâmetros de soldadura diferentes, apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Informação sobre operações de soldadura no subconjunto magnético

Operação	Descrição	Jig	Eléctrodo Inferior	Eléctrodo Superior	Tempo de Operação
300	Soldar Bobine à Trança	BX9400	BX982	BX923	5,11
200	Soldar Borne Curto	BX9450	BX953	BXProtop	15.7

Como representado na tabela anterior, nenhuma das ferramentas é comum às duas operações, por isso é essencial a existência de uma máquina livre para cada operação, evitando um tempo de *setup* elevado ao mudar as ferramentas e mesmo os parâmetros de trabalho da máquina.

Convém salientar que a operação 300 tem que ser efetuada duas vezes, o mesmo número de bobines no subconjunto, e que grande parte do excessivo tempo absorvido pela operação 200 provém da operação manual de atravessar as tranças por dentro do núcleo. Servem as imagens seguintes para melhor clarificar este processo.



Figura 9 - OP300, Soldadura de bobine



Figura 10 – OP”X”, atravessar tranças por núcleo. OP200, soldar borne curto

Térmico

Composto por um maior número de componentes (entre 7 a 9 componentes diferentes), o subconjunto térmico requer um maior número de operações de soldadura para ser produzido, tendo por isso um tempo de processo final mais elevado que os restantes. Os componentes que formam este subconjunto estão divididos em: Bobine, Shunt, Pista de Arco, Bimetal, Trança e Contato Móvel, sendo que cada subconjunto pode conter mais do que um tipo de cada componente.

Na construção dos subconjuntos térmicos são utilizadas 9 diferentes operações de soldadura, isto não significa que sejam 9 operações em cada térmico, mas que para a construção dos 7 diferentes térmicos existentes, são utilizadas 9 instruções de trabalho diferentes. No subconjunto térmico 2P30/60, ilustrado na figura 11, podemos contabilizar 6 operações de soldadura distintas:

- Soldar trança ao contacto móvel – OP120
- Soldar trança à pista de arco – OP130
- Soldar shunt – OP140
- Soldar bimetálico à pista de arco – OP160
- Soldar trança ao bimetálico – OP170
- Soldar trança ao borne comprido – OP210



Figura 11 - Subconjunto Térmico 2P 30/60

A soldadura do subconjunto térmico é, neste momento, a única que pode ser efetuada através de um processo de fluxo contínuo, com a estação de soldadura anterior a abastecer a seguinte em linha e de forma direta, embora ainda se conte com a existência de *buffers* que acumulam uma quantidade indesejada de *WIP*.

A cronografia das operações utilizadas na produção deste subconjunto está representada por ordem na seguinte tabela:

Tabela 4 - Informação e cronologia das operações de soldadura no subconjunto térmico

Operação	Descrição	Jig	Eléctrodo Inferior	Eléctrodo Superior	Tempo Médio de Operação
120	Soldar contacto móvel	BX9403	BX993	BX990	5.7
130	Soldar pista de arco à trança	BX9510	BX989	BX952	6.2
140	Soldar Shunt	BX9465	BX943	BX915	6.1
160	Soldar pista ao bimetálico	BX9440/3	BX912/3	BX921	4.2
170	Soldar Trança ao bimetálico	BX9435	BX919	BX923	5.2
200	Soldar borne comprido	BX9450	BX953	BX917	
230	Montar união, retirar rebarba, acertar parafuso	-	-	-	5,3

De forma a melhor clarificar as operações intervenientes neste processo, assim como os componentes nestas envolvidos, as seguintes imagens foram captadas aquando a realização de cada passo acima descrito.



Figura 14 - OP120

Figura 13 - OP130

Figura 18 - OP140

Figura 12 - OP230



Figura 17 - OP160

Figura 16 - OP170

Figura 15 - OP200

NEUTRO

O subconjunto neutro é o alvo deste projeto e as operações de soldadura que o constituem são aquelas que este pretende melhorar e fortificar.

É dos três subconjuntos o mais simples, de mais fácil montagem, e o que apresenta uma taxa de rejeição menor (cerca de 0.5%), contudo existe sempre algo a melhorar, uma forma mais eficaz de se realizar o processo.

A produção deste subconjunto passa em 5 dos 6 possíveis casos por somente 3 operações, sendo estas:

- Soldar trança ao contacto móvel – OP120
- Soldar trança à pista de arco – OP130
- Soldar trança ao borne curto – OP200

O caso estudado, o neutro 2P15/45, está contido neste lote de 5 de operações idênticas, sendo também o subconjunto neutro com maior procura, o que faz deste um produto perfeito para a aplicação do planeamento de experiências.

Tal como nos subconjuntos apresentados anteriormente, são representados na seguinte tabela a cronologia destas operações, assim como a duração média das operações e as ferramentas a alterar no equipamento de soldadura.

Tabela 5 - Informação e cronologia das operações de soldadura no subconjunto neutro

Operação	Descrição	Jig	Eléctrodo Inferior	Eléctrodo Superior	Tempo de Operação
120	Soldar contato móvel	BX9400	BX982	BX923	5,8
130	Soldar pista de arco à trança	BX9515	BX937	BX952	6,4
200	Soldar borne curto	BX9450	BX953	BX927	4.7

Servem as seguintes ilustrações para melhor clarificar as operações, os formatos dos jigs assim como o formato do subconjunto em si.



Figura 19 - Operações de soldadura do subconjunto Neutro 2P 15/45

Estes processos serão evidentemente aprofundados aquando a apresentação e identificação do problema, sendo sobre a operação 120 e a 130 que o planeamento de experiências recairá diretamente.

4 Planeamento de Experiências, Método de *Taguchi*

O planeamento de experiências pretende reduzir a sucata no processo de soldadura, seja ela planeada ou não, e diminuir o tempo de ciclo com a normalização do mesmo.

Para tal, foi necessário o levantamento inicial do estado atual do processo alvo, a soldadura do neutro.

Como foi descrito anteriormente, o neutro é um conjunto criado a partir de 3 operações de soldadura distintas, com características distintas, que levam a resultados diferentes tanto em qualidade como em eficácia.

Assim sendo, foi necessário considerar as três operações em separado, começando pela análise dos parâmetros utilizados em cada uma, e da aplicabilidade do planeamento de experiências. Foi definido um caso de estudo, porque existem 6 tipos diferentes de neutros, não sendo viável, no tempo do projeto, a extensão do DOE a todos estes. Após análise da procura dos produtos por parte das linhas, assim como das operações envolvidas na produção dos circuitos, escolheu-se o neutro *2P10/30,15/45*, e o *2P30/60*. Estes subconjuntos soldados, sendo utilizados em mais de 75% dos ELCB produzidos e tendo parâmetros de soldadura idênticos, constituíam um caso de estudo com uma abordagem relativamente acessível e com um grande impacto na produção diária da fábrica

4.1 Estado atual e escolha de parâmetros no planeamento de experiências

O objetivo primário do DOE, era a redução do tempo de ciclo e das sucatas de soldadura, assim sendo foi imediata a análise destas variáveis de saída nos processos, através de medições iniciais nas linhas de soldadura. Esta análise recaiu sobre as operações 120 e 130, deixando de lado a 140. Foi assim decidido porque a operação 140 encontrava-se em fase de mudança para um processo novo, um tipo de soldadura diferente que ainda não estava plenamente desenvolvido aquando do início do projeto.

Separou-se então a análise da operação 120 da análise da operação 130.

OP 120 – Soldadura do contacto-móvel

Esta operação de soldadura diferencia-se das demais pelo tipo de material de adição usado. Enquanto as restantes operações utilizam uma fita rígida de cobre prata e chumbo, esta utiliza uma pasta que embora tenha uma composição muito semelhante, fisicamente é bastante distinta. Esta distinção tem como principais vantagens o aumento da facilidade ergonómica do processo, não sendo tão violento para os operadores, e a possibilidade de melhor controlar a quantidade de material de adição depositado. Contudo, pode em alguns casos diminuir a celeridade da operação e, por vezes, levar à diminuição da qualidade de soldadura, por não ser depositada a quantidade de pasta ideal, enquanto o uso de fita rígida é um sistema anti erro neste campo.

As medições iniciais foram efetuadas durante aproximadamente duas semanas, utilizando para os tempos de ciclo amostras de 20 unidades e 3 medições sucessivas, sendo então inserida no ficheiro a média destas. Após 20 repetições deste processo, ao longo das referidas duas semanas, foram abrangidos cerca de 1200 subconjuntos, uma base grande o suficiente para a ser considerada significativa. Os resultados são apresentados na seguinte tabela:

Tabela 6 – Dados recolhidos nas medições iniciais da Operação 120

Nº subconjuntos por minuto	10,35
Tempo para 100 peças (minutos)	9,66
Tamanho da amostra	20
Média por subconjunto (segundos)	5,80
Desvio Padrão por subconjunto (segundos)	0,33

Relativamente a não conformidades encontradas, como se relatou anteriormente, foram praticamente inexistentes. O levantamento do panorama relativo às não conformidades foi efetuado através da análise da sucata de soldadura diária das linhas de produção, ficando evidente a raridade com que esta soldadura era não-conforme, decidindo-se então mudar o objetivo para a redução de tempo de ciclo e manutenção de qualidade da soldadura.

Numa primeira análise, tinham sido identificados os seguintes fatores influentes na soldadura:

- Tempo de Solda (A)
- Temperatura de Solda (B)
- Estado do Eléctrodo Inferior (C)
- Estado do Eléctrodo Superior (D)
- Material de Adição

- Operador
- Equipamento de soldadura
- Força de Soldadura

Os fatores finais foram acima sublinhados, não tendo sido possível considerar o material de adição, por não ser aceitável voltar ao uso da fita e pelo facto da quantidade de pasta depositada em cada soldadura ser doseada a partir de um sistema automático, ajustado pelos operadores consoante o nível de pasta disponível na seringa, e consoante a sua decisão relativamente à necessidade da mesma.

Ao considerar o operador estar-se-ia a inserir um fator humano diretamente no centro do DOE, elevando o ruído. Adicionalmente, poderia existir uma contaminação dos valores obtidos ao mudar de operador e de fatores entre experiências.

O equipamento de soldadura foi excluído por inserir ruído na experiência, influenciando os resultados tal como o operador, e por não se tornar viável mudar de máquina entre experiências, quando a soldadura é efetuada em 95% dos casos no equipamento escolhido para a realização das experiências.

Embora parecesse um fator lógico a alterar, a força de soldadura não foi inserida no planeamento por conselho da engenharia do processo da empresa, isto porque é um parâmetro fixo e inalterado desde as instalações dos equipamentos, este valor considera-se correto pois não se verificaram sinais de irregularidades neste ponto. “Se a força for baixa, pode ocorrer expulsão de material na superfície externa da chapa, (...) e desgaste prematuro do elétrodo. Quando a força é muito alta a resistência de contato na superfície dos dois metais será baixa, reduzindo o calor gerado nesta área” (Branco, H., 2004)

Restaram então, o estado dos eléttodos, o tempo de solda, e a temperatura da mesma. Os valores em que variariam foram encontrados através de alterações nos valores inseridos nos programas de soldadura (ver anexo A).

Os valores finais utilizados como níveis destes fatores no DOE foram os seguintes:

Tabela 7 - Fatores e níveis utilizados no DOE relativo a OP 120

Nível	Fator			
	A (nº de ciclos)	B (% de calor fornecido)	C (estado do elétrodo superior)	D (estado do elétrodo superior)
1	10	58	Novo	Novo
2	11	60	A meio	A meio
3	13	62	Por retificar	Por retificar

Podemos observar que, enquanto os níveis de “A” e “B” são valores objetivos, inseridos na experiência através da alteração de parâmetros diretamente no programa do equipamento de soldadura, os níveis de “C” e “D” são subjetivos, carecendo de uma elucidação acerca da sua razão e aplicabilidade.

O equipamento de soldadura é equipado com dois eléttodos, que se desgastam com o tempo, sendo que esse tempo de desgaste é função de um grande número de fatores, entre os quais o número de soldaduras efetuadas, a temperatura usada, o número de ciclos entre outros.

Quanto mais desgastado se torna o eléctrodo, mais difícil será o uso do mesmo de forma apropriada porque as rugosidades e irregularidades geométricas, com origem nos resíduos provocados pela oxidação de impurezas químicas presentes no eléctrodo, dificultam a operação, por vezes tornando-a impossível até, quando o eléctrodo “agarra” sistematicamente as partes a soldar.

Como a qualidade da ligação soldada também varia com esta alteração, o estado do eléctrodo pareceu um fator óbvio a incluir na experiência, sendo que a seleção dos níveis foi facilitada pela diferença evidente entre os três estados:

Novo – estado logo após retificação, o eléctrodo encontra-se em perfeito estado geométrico, necessitando de algum tipo de rodagem para a perfeição operacional

A meio – o eléctrodo apresenta algum desgaste, embora esteja em perfeitas condições de utilização

Por retificar – o eléctrodo necessita de manutenção, sendo já difícil a sua utilização, impossível mesmo, em alguns casos e combinações de parâmetros.

O uso de elementos por retificar pode levar à impraticabilidade de alguns dos ensaios planeados, contudo parece ser mais proveitoso registar e documentar esses casos, do que deixar de parte algo que sucede regularmente, e com um peso significativo, no decorrer do processo.

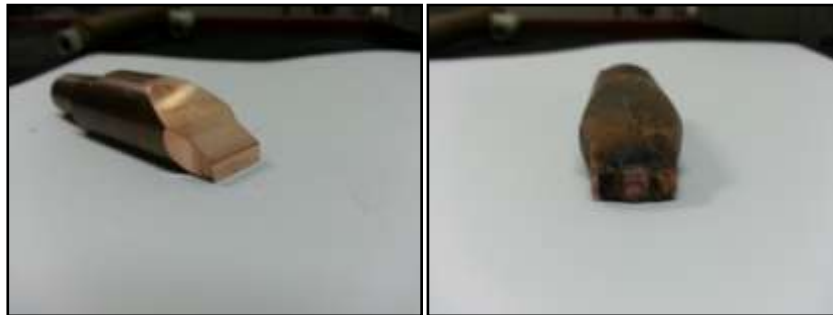


Figura 20 - Comparação eléctrodo retificado com eléctrodo por retificar

Após a definição destes parâmetros, passou-se à construção do planeamento de experiências. Um plano completamente fatorial, para este caso, significaria a execução de 3^4 (81) experiências, foi escolhida uma matriz de *Taguchi*, mais especificamente a matriz ortogonal L27, com 27 experiências. Todas as matrizes utilizadas no DOE são apresentadas em anexo, podendo ser consultadas na íntegra.

OP 130 – Soldadura da pista de arco

A soldadura da pista de arco aproxima-se mais das restantes pelo facto de ter como agente de soldadura a fita de soldadura, este processo parece à primeira vista mais mecanizado e simples que o anterior, mesmo não o sendo.

As medições iniciais foram levadas a cabo exatamente como na operação 120, salvo o aumento da amostra de 20 para 30 unidades. Isto ocorreu pela necessidade de perceber se haveria diferença significativa nos desvios padrão das medições consoante o tamanho da amostra, algo que não se verificou, ficando assim definido o tamanho da amostra no planeamento de experiências como 20 unidades.

Tabela 8 - Dados recolhidos nas medições iniciais da Operação 130

Nº peças por minuto	9,35
Tempo para 100 peças (minutos)	10,69
Tamanho da amostra	30
Média por subconjunto (segundos)	6,41
Desvio Padrão por subconjunto (Segundos)	0,49

Relativamente a não-conformidades, é de salientar uma diferença entre os dados recolhidos aqui e na anterior operação. Apesar de serem insignificantes, existiram algumas ocorrências de soldadura defeituosa neste caso. Constatou-se que não havia ligações soldadas fracas, ou soltas, mas sim fora de sítio, ocorrências irrelevantes para o DOE.

Uma diferença significativa entre esta operação e a anterior, é o desgaste do elétrodo, enquanto o elétrodo na operação 120 é normalmente trocado uma vez por dia, o que faz da sua condição um parâmetro variável no processo, na operação 130 o elétrodo raramente é trocado, o que o torna um parâmetro fixo e imutável. O mesmo sucede com o material de adição, como anteriormente foi descrito, o jig desta operação apenas permite a entrada da quantidade certa de fita de adição, pelo que não existem problemas de falta de material de adição na soldadura.

Assim sendo, o material de adição, e o estado dos elérodos deixam de fazer sentido como possíveis fatores. Eliminando os parâmetros “Operador” e “Equipamento de Soldadura” pelos motivos enunciados para a operação 120, sobram apenas 2 fatores:

- Tempo de Soldadura
- Temperatura de Soldadura

Obtiveram-se então os valores que servirão de níveis para os fatores do DOE, através de experiências prévias, alterando os valores em torno dos valores padrão.

Os valores finais definidos para esta experiência foram os seguintes:

Tabela 9 - Fatores e níveis utilizados no DOE relativo a OP130

Nível	Fator	
	A (nº de ciclos)	B (% de calor fornecido)
1	9	51
2	10	53
3	11	55

Após a definição destes níveis, a escolha da matriz mostrou-se fácil e lógica. Neste caso, uma abordagem completamente fatorial apenas conduziria a 9 experiências, abrangendo todas as possíveis combinações e interações. Optou-se então por essa via, deixando as matrizes de *Taguchi* de parte, não se considerando haver necessidade da sua aplicação neste DOE.

4.2 Execução do Planeamento

Experiência	Fator					Sinal	Designação	Parâmetros medidos		Ratio S/N
	A	B	C	D	Tempo(s/200x)			Não Conformes(%)	Tempo	
13	1	3	1	1	1	1	4 A ₁ B ₃ C ₁ D ₁ E ₁	102,6975	0	-40,45406483
33	3	1	2	1	1	1	5 A ₃ B ₁ C ₂ D ₁ E ₁	98,075	0	-39,83116634

Figura 21 - Extrato de tabela utilizada na recolha de dados durante o DOE

Na figura 21 pode-se ver um excerto da tabela utilizada para o acompanhamento das experiências. No primeiro campo figura o número da experiência, seguido dos níveis dos fatores que compõe a experiência, e um campo para o sinal, apesar de se ter optado por não o incluir na experiência. O campo seguinte é o da ordem das experiências, *Taguchi* defende que as experiências devem ser conduzidas de uma forma aleatória, esta aleatoriedade confere mais segurança a esta ferramenta, não permitindo que uma ordem específica e lógica insira mais ruído ao processo. Por isso a ordem das experiências foi baralhada, utilizando a função *aleatório* no *Microsoft Excel*. Contudo, nem sempre foi exequível ou adequado seguir esta ordem aleatória, por motivos relacionados com a produção e o funcionamento da fábrica, no entanto foi seguida qualquer outra ordem, assegurando a aleatoriedade associada ao projeto.

Taguchi defende que, sempre que possível, o DOE deve ser realizado completamente *off-line* sem interferências dos vícios inerentes a uma linha de produção, que podem significar mais ruído, e influência nos resultados registados. No presente caso, não foi possível realizar todas as experiências nesses moldes, em grande parte devido à necessidade da continuidade produtiva dos subconjuntos produzidos segundo o DOE, sendo estes necessários à produção.

Para prevenir o eventual impacto de problemas ocasionais no DOE, e para ser possível uma análise significativa à qualidade dos subconjuntos soldados, o tamanho da experiência foi fixado em 100 subconjuntos, proporcionando até 5 medições (embora normalmente só se fizessem 4), assim como uma base para análise de não conformidades com um tamanho suficientemente para ser considerado significativo.

Antes de dar início a qualquer experiência, efetuava-se um controlo de qualidade por teste à tração em 3 subconjuntos, soldados previamente, com os parâmetros correspondentes à experiência a registar. Apenas se os três subconjuntos estivessem dentro da conformidade definida pelo departamento de qualidade da fábrica, a experiência era validada. Isto significaria que a solda era resistente a uma tração de 6 *kgf* no caso da operação 120, e 7.6 *kgf* no caso da operação 130.

OP 120

As experiências do primeiro planeamento na operação 120 desenrolaram-se ao longo de duas semanas, sempre com a mesma operária e sempre na mesma máquina, sendo que a sua execução estava condicionada por fatores inconstantes, como a produção do subconjunto, disponibilidade do equipamento, da operária, a possibilidade do seu registo.

A variável de saída que refletia a qualidade da solda foi o número de não-conformidades nas peças. Para assegurar o controlo desta resposta do planeamento a cada linha de produção correspondia uma experiência, e o abastecimento dos subconjuntos às linhas foi realizado por quem registava os resultados do DOE enquanto os subconjuntos a serem analisados estivessem disponíveis.

O controlo final ficava então associado às operárias, que montam o subconjunto no produto, assegurando-se da correta junção dos componentes envolvidos, entre os quais o subconjunto neutro.

Com o decorrer do planeamento, constatou-se que haveria experiências que seriam impossíveis de realizar, devido aos níveis dos fatores, por estas requeridos. A combinação de elétrodos por retificar, com níveis altos de temperatura e mesmo de tempo de soldadura, levava a que a trança a ser soldada ao contato móvel, se agarrasse ao eletrodo. Isto aconteceu devido às impurezas acumuladas no eletrodo, e à alteração da sua forma inicial devido ao calor excessivo e à pressão que efetua constantemente ao executar a sua função.

Esta inconformidade na operação tem dois graves revés: para além de poder danificar a solda, atrasa o processo, pois por vezes não é possível separar o subconjunto do eletrodo manualmente, sendo necessário o uso de uma ferramenta a servir de alavanca contra o jig, separando a peça do eletrodo.

Por estes motivos foram descartadas experimentalmente 5 experiências, tão-somente pela sua impraticabilidade, ao constatar uma dificuldade maior do que o normal, e o risco de danificar mais o equipamento e as peças fabricadas, o que não consta nos princípios do planeamento de experiências. Os parâmetros que levaram a que esta irregularidade ocorresse estão assinalados a na matriz das experiências presente em anexos.

Como se referiu anteriormente, antes de dar início à experiência, efetuava-se um teste de tração à solda de uma amostra de 3 elementos. Se algum dos resultados não se encontrasse dentro dos valores definidos pela qualidade descartava-se a experiência por não servir os propósitos da empresa. Isso ocorreu 3 vezes, diminuindo o número de experiências para 19.

As restantes experiências desenrolaram-se sem nada a assinalar, mantendo a proximidade não só à soldadura, mas também às linhas de produção, isto por se encontrar lá a 2ª variável de saída prevista para este planeamento de experiências inicial.

OP 130

O 2º planeamento de experiências, decorrido nesta operação, teve início aquando o fim do primeiro, e teve a duração de duas semanas. Esta demora proveio da rotatividade da mão-de-obra, não podendo trocar de operador, e não querendo interferir na rotatividade planeada pelo chefe de secção, preferiu aguardar-se pelo retorno do operador ao equipamento definido para esta operação.

Esta demora serviu também para assegurar que as condições de soldadura se mantiriam incólumes após algum tempo, não se pretendendo realizar todas as experiências num único dia, tornando isso um fator da experiência.

Devido a esta demora, acabou por se revelar impossível a realização da experiência, ou melhor, a não viabilidade da mesma.

Como referido anteriormente, os eléctrodos utilizados nesta operação são mais resistentes do que aqueles utilizados na operação 120, só se desgastando ao fim de um longo espaço de tempo, necessitando cerca de uma retificação por mês, enquanto na operação 120 se retifica o eléctrodo diariamente, até mais dependendo da utilização dada.

Este facto, excluindo o estado do eléctrodo do rol de fatores do segundo planeamento de experiências, introduziu um ruído indesejado que, em conjunto com o intervalo entre ensaios, tornou inviável este planeamento.

Nessas duas semanas entre ensaios, o estado do eléctrodo piorou e aquando das últimas experiências, os resultados obtidos foram bastante diferentes dos recolhidos anteriormente, tendo em conta o comportamento habitual do material. Houve inclusive uma experiência que não pode ser concluída devido ao mau estado do equipamento.

Uma troca de eléctrodo apenas inseriria mais ruído e incerteza no planeamento de experiências, pelo se considerou mais acertado e interessante para o projeto reportar este incidente, extraíndo dele considerações acerca do estado do eléctrodo e da sua influência nesta operação, que será realizado no capítulo seguinte.

4.3 Implementação de Sistema de *Kanbans*

Durante a análise da área de soldaduras, o desperdício tornava-se visível e de resolução simples e rápida, como casos de sobreprodução e desorganização geral dos espaços reservados para produto acabado de soldadura, esperando procura por parte das células.

A elevada rejeição de alguns componentes e as necessidades variáveis em subconjuntos soldados, para abastecer as linhas de reparação, inviabiliza ordens de produção com quantidades pré-definidas para as linhas, existindo sempre uma sobreprodução não controlada que serve para colmatar essas necessidades.

Contudo, são conhecidas as necessidades das linhas, e para estas pode produzir-se apenas o necessário, assim sendo torna-se viável e quase intuitivo a implementação efetiva de um sistema *Kanban* que seja adequado aos requisitos do processo.

O modelo *Kanban* existente, entre a área de soldadura e as linhas de produção funcionava através de contentores específicos por subconjunto de soldadura, e modelo do ELCB. As quantidades de subconjuntos nos contentores, e de contentores disponíveis por subconjunto foram determinadas segundo a procura média diária de cada subconjunto.

Este método de organização parece acertado em primeira análise, mas na prática era inviável pois:

- A procura média diária por subconjunto não representa a procura real, sendo que por este motivo os contentores por subconjunto nunca eram suficientes para a procura diária. Exemplo disso é a procura do ELCB 2P10/10 AC, com média diária de 50 subconjuntos (um contentor), contudo a produção mensal deste subconjunto era efetuada num dia apenas, cerca de 1000 subconjuntos, não existindo então contentores disponíveis
- Cada linha precisa de ter um contentor quando em produção, são 6 linhas de 2 polos, e 4 linhas de 4 polos, ou seja, eram necessários no mínimo 6 contentores por subconjunto de soldadura para ELCB de 2 polos, e 4 contentores para cada subconjunto de ELCB com 4 polos.
- Existia um controlo a nível interno dos contentores, um contentor marcado com “Térmico 2P30/60” não poderia conter subconjuntos que não esses. Esta necessidade eleva substancialmente o nível de contentores necessários.
- Grande parte dos contentores estavam vazios, inutilizados enquanto se amontoavam subconjuntos noutros por serem específicos para esses subconjuntos.
- Após um cálculo aproximado concluímos que no sistema atual, seriam necessários mais de 1000 contentores para satisfazer todas as condições do sistema sem exceções. O número de contentores disponíveis rondava os 180.

Nesta análise clarifica-se que o grande problema deste método era o facto de os contentores estarem identificados por subconjunto, apenas podendo ser utilizados para essa identificação. Contudo, não se poderia atribuir mais do que um tipo de subconjunto a um contentor sem esperar que isso resultasse numa completa desordem neste sistema.

A solução que encontrada consiste em identificar os contentores por tipo de subconjunto (térmico, magnético ou neutro) e por linha de produção, isto por cada linha ter uma designação distinta das restantes. O tipo de ELCB para o qual o subconjunto se destina é sinalizado por uma placa disposta nas linhas, e pelo local que o contentor ocupa na estante que abastece os subconjuntos soldados às linhas.



Figura 22 - Esquema da Organização do sistema de abastecimento de subconjuntos

Foi necessário voltar a calcular a procura de subconjuntos diária, equivalente à produção das linhas, analisando os dados de produção relativos às 10 semanas anteriores. Aqui não se separou as necessidades de soldadura por tipo de subconjunto, apenas por número de polos, por existir uma diferença significativa tanto na duração dos ciclos produtivos de um e de outro, como pela diferença física entre os subconjuntos em questão.

Elaborou-se então uma tabela para melhor compreender a necessidade de contentores, se os que estavam disponíveis seriam suficientes para este tipo de organização.

Tabela 10 - Dados de apoio à implementação do sistema *Kanban*

	Procura considerada	Procura horária	Procura horária/linha	Horas/Contentor	Nº de Kanbans	Nº Kanban por linha
2Polos	1620	231,42	38,57	N/A	60	11
Neutro	1620	231,42	38,57	3,37	13	3
Térmico	1620	231,42	38,57	2,59	17	3
Magnético	1620	231,42	38,57	1,42	30	5
4Polos	720	102,85	25,71	N/A	53	14
Neutro	720	102,85	25,71	3,88	8	3
Térmico	2160	308,57	77,14	3,11	27	6
Magnético	720	102,8	25,71	1,56	18	5
					Total	122

Convém neste ponto apresentar uma explicação da tabela anterior, das considerações tomadas aquando da sua construção.

A “Procura considerada” surge da produção diária se os operadores estiverem a produzir a um ritmo elevado, acompanhando a norma de produção de nível máximo. É de salientar a diferença na procura do subconjunto térmico para 4 polos, isto acontece por cada ELCB de 4 polos necessitar de 3 térmicos e somente um magnético e um neutro.

“Procura horária” é a divisão do valor anterior por 7 horas de trabalho, considerando eventuais perdas de produção, o não uso de as 8 horas reais é apenas um fator corretivo, dividindo o valor anterior pelo número de linhas.

“Horas/contentor” obtém-se dividindo o tamanho do lote no contentor pelos valores na coluna anterior, o tamanho do lote foi determinado num conluio entre questões ergonómicas e económicas e pode ser consultado na tabela 11 disposta em seguida.

“Nº de *Kanbans*” representa o número mínimo de contentores necessários para cada subconjunto, enquanto “Nº de *Kanbans* por linha” representa os números finais considerados para este sistema.

Tabela 11 - Capacidades de *Kanban* por subconjunto

2Polos	Capacidade <i>Kanban</i> (unidades)
Neutro2P	130
Térmico2P	100
Magnético2P	55
4Polos	Capacidade <i>Kanban</i> (unidades)
Neutro4P	100
Térmico4P	80
Magnético4P	40

Com esta abordagem ficam ocupados somente 122 contentores, não existindo nenhum choque entre o sistema e as normas da empresa, todos os subconjuntos devem continuar armazenados em contentores identificados, a identificação em si é que muda.

Sobram cerca de 50 contentores desta adaptação, estes serão utilizados dentro da área de soldadura, e para armazenar excedentes de produção que não estejam a ser utilizados no imediato.

A acomodação dos contentores será feita de forma diferente também, não mudando as 6 estantes disponíveis para o efeito, mas alterando a disposição e finalidade de cada uma, atribuindo um tipo de subconjunto a cada prateleira, o resultado será uma organização como a mostrada na imagem seguinte:

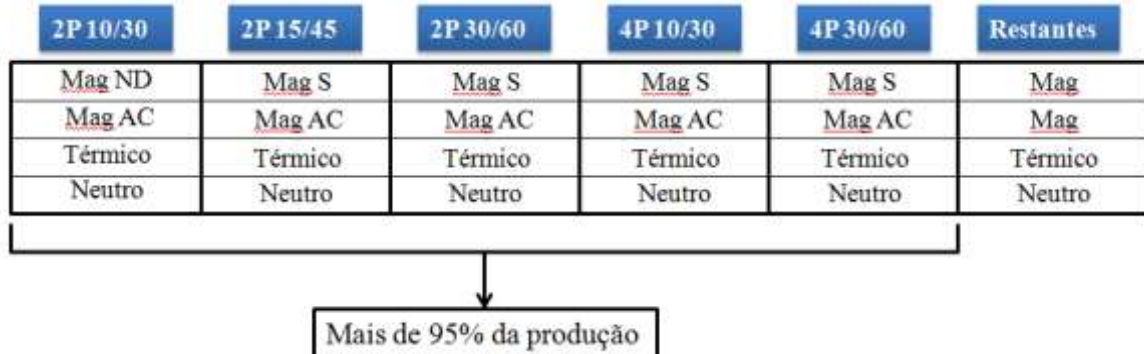


Figura 23 - Esquema ilustrativo da distribuição dos contentores na estante de soldaduras

Para além das vantagens organizacionais, redução de WIP através de um controlo visual do material disponível e de uma filosofia mais focada numa produção *on-demand*, a implementação deste sistema permitirá ao chefe de produção um controlo mais real da relação consumo/produção, uma vez que todas as linhas serão abastecidas da mesma maneira entre os mesmos intervalos de tempo, com as mesmas quantidades, se uma linha produzir sistematicamente menos produtos com os mesmos subconjuntos que as restantes, pode considerar-se que os operários dessa linha necessitam de uma nova formação nas suas tarefas.

As quantidades produzidas também serão mais facilmente controladas, existe alguma dificuldade neste ponto pois algumas células são mais céleres que outras, consumindo mais material e destabilizando a produção, causando por vezes fenómenos de sobreprodução. Longe de poder ser considerada como algo reprovável, esta celeridade de algumas células deve ser controlada e usada em benefício dos planos de produção e, conseqüentemente, da empresa.

Esta proposta determinou a redefinição da identificação por etiquetas. O formato das mesmas pode ser consultado nas imagens seguintes:

Magnético - 1/5	2P	55
Linha Beta - β		

Formato da identificação presente nos contentores - contém o tipo de subconjunto, o tamanho do lote, a linha a que se destina, e o número do contentor.

Figura 24 - Formato etiqueta contentores

2P 15/45		S
Magnético	PCB2455C1N - 40158506	
Térmico	PSQ1011C5 - 40140071	
Neutro	PKM1005C16 - 40152885	

Formato das placas de sinalização nas células de produção - contendo o tipo de ELCB e os códigos locais e SAP para os subconjuntos presentes no produto. As cores utilizadas são específicas de cada ELCB, uma ferramenta de gestão visual.

Figura 25 - Formato sinal de produção

Finalmente salienta-se que, como acréscimo à implementação deste sistema de organização e abastecimento, as células passam a informar visualmente que tipos de ELCB estão a produzir, algo que por si só justificaria o tempo e trabalho investido neste projeto.

5 Análise estatística das experiências e reflexão sobre os seus efeitos e resultados

A análise estatística foi efetuada segundo as recomendações encontradas na pesquisa bibliográfica sobre este tema, a análise mais recomendada foi a ANOVA, complementada por um método de *Tukey* para definir significâncias.

A variável de resposta é o tempo de ciclo para 20 unidades. Antes da análise em si, na recolha de dados, decidiu-se retirar da análise a variável de saída “não conformidades” pela inexistência das mesmas, esta não existência permite concluir que o controlo de qualidade efetuado é eficaz, eliminando as não conformidades à partida.

Para melhor perceção por parte do leitor, organizou-se esta parte segundo planeamento de experiências, separando a análise da operação 120 da análise da operação 130.

OP 120

Como foi descrito previamente, das 27 experiências efetuadas, apenas se validaram 19, tendo as restantes sido excluídas por não cumprirem os requisitos de qualidade afetos à produção.

Dos 4 fatores utilizados, dois foram sinalizados como influentes na variável de resposta, o “tempo de soldadura” e o “estado do elétrodo inferior”. Tanto a influência do “tempo de soldadura”, por influenciar diretamente o tempo gasto no processo, como a do “estado do elétrodo inferior”, por agarrar ao material quando em estado mais deteriorado, eram espectáveis.

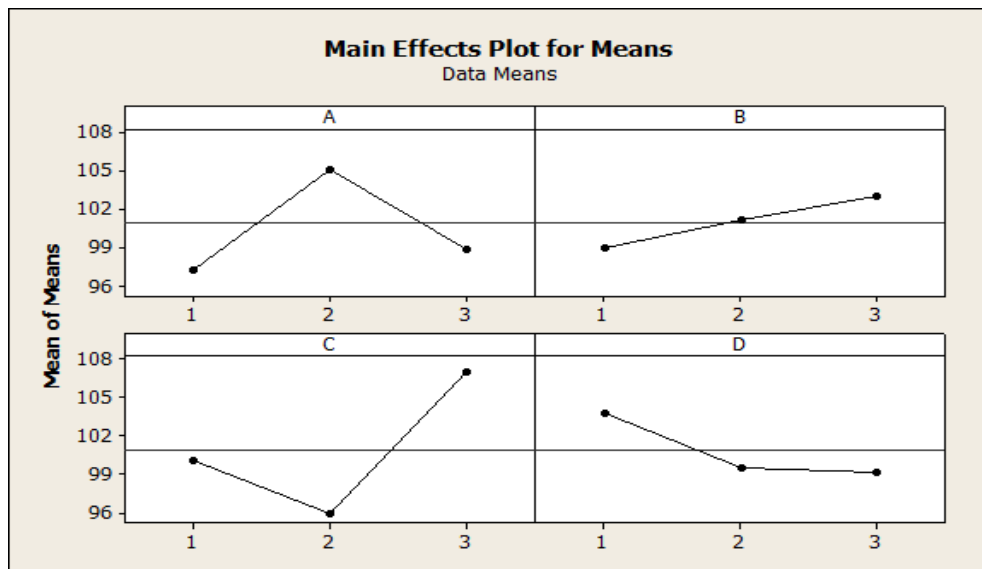


Gráfico 1 - Efeito dos níveis de cada fator no tempo de ciclo

No gráfico anterior pode-se ver o importante efeito que tanto o fator “A” como o “C” têm sobre a variável de saída.

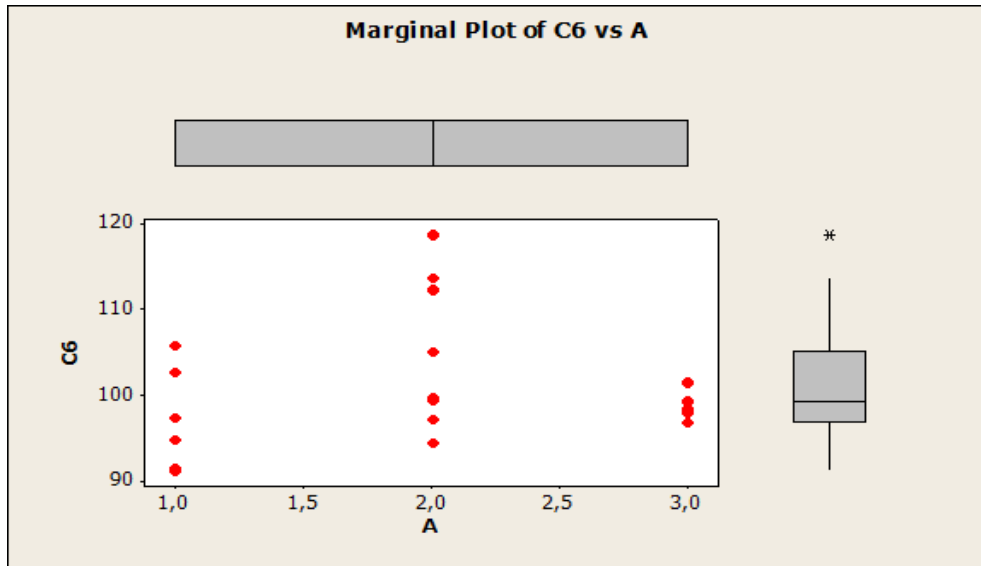


Gráfico 2 - Tempos de ciclo por tempo de soldadura

É necessário explicar o efeito de tais variáveis: a variável “A”, tempo de soldadura, faz com que o tempo de ciclo seja reduzido no seu valor mais baixo, por razões lógicas, a redução implica a redução direta do tempo de ciclo do processo. É então expectável que com o aumento do valor deste fator o tempo de ciclo também aumente, o que se constata no nível 2 deste fator.

Pode-se constatar que quando a variável “A” toma o valor 3, o mais elevado, o valor do tempo de ciclo do processo estabiliza em torno de um valor superior ao obtido com o nível 1 para esta varável. Será a partir deste ponto que a operação é condicionada pelo tempo de soldadura, ocorrendo então uma normalização do tempo de ciclo, determinada pelo tempo de soldadura.

A dispersão evidenciada nos valores do tempo de ciclo, relativos ao nível 2 desta variável, resulta dos restantes fatores do planeamento, sobretudo do estado do eléctrodo inferior.

Verifica-se que o tempo de soldadura deve ser reajustado para o valor correspondente ao nível 1, ou seja, 10 ciclos de soldadura.

Avançando para a análise do efeito da variável “C”, ”estado do eléctrodo inferior” constatamos que a maior diferença ocorre entre o estado deteriorado do eléctrodo e os restantes.

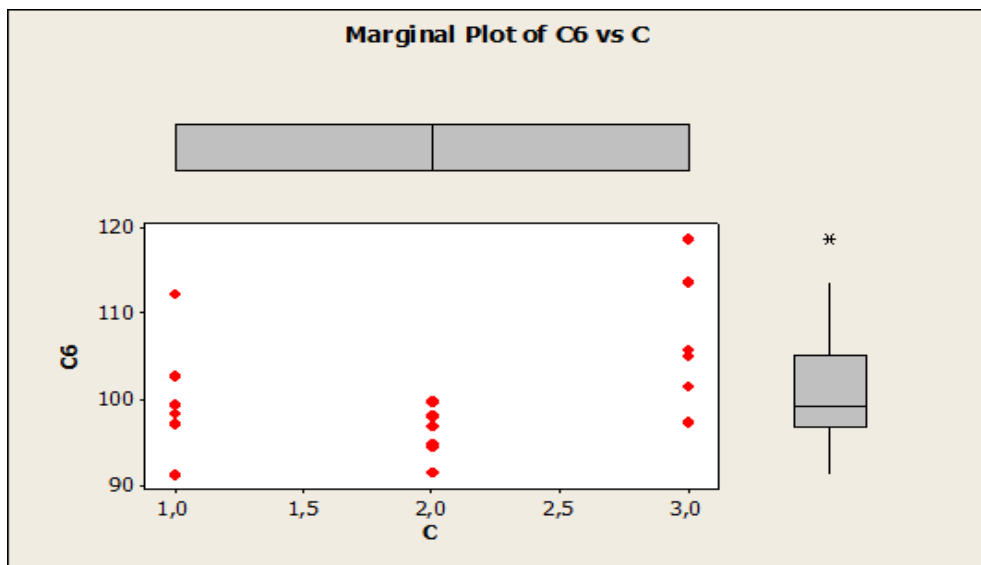


Gráfico 3 - Tempos de ciclo por estado de eléctrodo inferior

Tal como indicado previamente, esta diferença no tempo de ciclo surge pela dificuldade de retirar o subconjunto do equipamento de soldadura quando o eléctrodo inferior se deteriorou. À medida que o eléctrodo se gasta, este ganha resíduos e irregularidades geométricas que fazem com que o aquecimento não seja homogéneo, e que parte destes resíduos se agarrem ao material a ser soldado.

Para além de ser indesejado, por dificultar ou até impossibilitar o processo, esta circunstância pode danificar a soldadura, tornando-a irregular, chegando por vezes a danificar os componentes a serem soldados.

Contudo estes efeitos podem ser atenuados com a modificação de outros fatores, tal como a temperatura e o tempo de soldadura.

O primeiro planeamento de experiências resultou então nas considerações acima descritas, tendo dado como perfil ideal para a operação a seguinte combinação de fatores:

Tabela 12 - Configuração ideal para operação 120 dada pelo DOE

Fator	Nível
"A" - Tempo de Soldadura	1 - 10 Ciclos
"B" - Temperatura de Soldadura	2 - 60% Calor disponível
"C" - Estado do Eléctrodo Inferior	2 - Eléctrodo a meio uso
"D" - Estado do Eléctrodo Superior	2 - Eléctrodo a meio uso

Como não foi possível observar certos casos em que se poderiam obter melhores resultados do que os obtidos no planeamento, e de maneira a validar a experiência anterior, numa escolha bem fundamentada dos melhores parâmetros, delineou-se um novo planeamento de experiências, fixando o valor do tempo de soldadura, e reduzindo o número de níveis para o estado dos eléctrodos para 2 – novo e usado.

Na tabela seguinte estão evidenciados os fatores e os níveis que estes tomam.

Tabela 13 - Fatores e níveis utilizados no segundo DOE relativo a OP120

Nível	Fator		
	A (tempo de soldadura)	B (estado eléctrodo inferior)	C (estado eléctrodo superior)
1	58	novo	novo
2	60	usado	usado
3	62	-	-

O resultado foi um planeamento de experiências completamente fatorial, 12 experiências, que permitiram estudar todos os casos compatíveis com a redução do tempo de soldadura. Neste caso utilizou-se como variável de saída, não só o tempo de soldadura, mas também a resistência da ligação soldada, medida num ensaio de tração efetuado a 5 dos 100 subconjuntos soldados.

Análise do 2º ensaio na operação 120 – tempo de ciclo

Neste caso foi possível validar todas as experiências, as 12 sem exclusões.

Como não estava em causa a variável “tempo de soldadura”, a de maior influência no tempo de ciclo do processo, confirma-se o estado do eléctrodo inferior como elemento influente no processo, adicionando o estado do eléctrodo superior, que era relevante como se pode constatar no Gráfico 4.

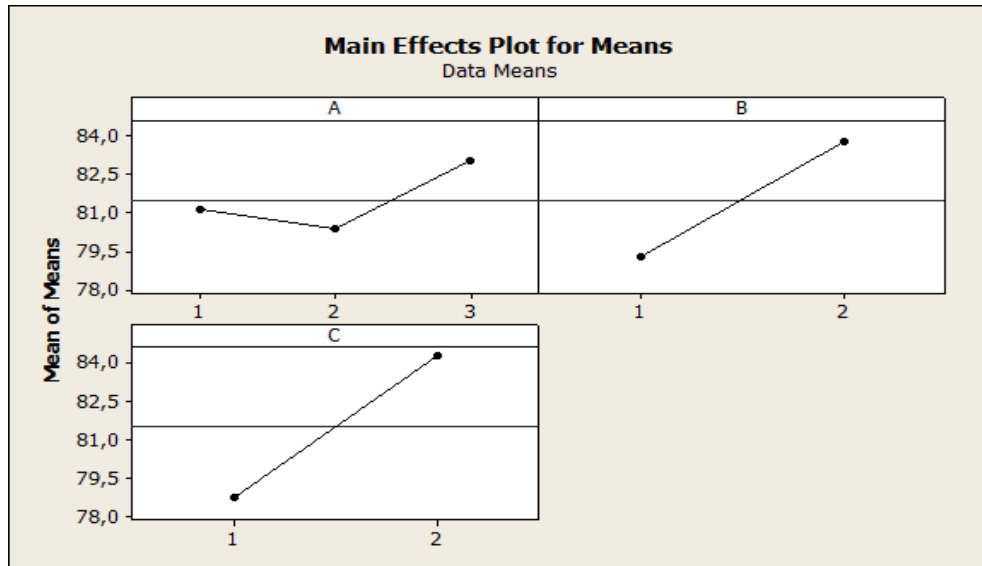


Gráfico 4 - Efeito da variação de fatores no Tempo de ciclo

Segundo a análise ANOVA, complementada pela análise de significâncias do método de *Tukey*, apenas se podem considerar significantes, com uma confiança de 95%, as diferenças entre os níveis 1 e 2 dos fatores “B” e “C”, isto é, o estado dos eléctrodos. Mais uma vez a temperatura de solda utilizada não é um fator que, perante esta significância, influencie o tempo de ciclo.

O estado dos eléctrodos influencia aqui pelos mesmos motivos que no ensaio anterior, sendo este um ensaio mais específico, que abrange todas as combinações de variáveis influentes no processo à parte do tempo de soldadura, foi possível obter dados mais aprofundados sobre a influência destes parâmetros, ficando aqui evidente a influência também do estado do eléctrodo superior no bom funcionamento do processo em questão, e não apenas do estado do eléctrodo inferior como o primeiro planeamento sugeria.

No ensaio anterior, utilizaram-se 3 níveis para estes dois fatores, daí provém a diferença de resultados, sendo que o nível 1 destes fatores no presente ensaio estaria colocado entre os níveis 1 e 2 do ensaio anterior, tal como o nível 2 estaria algures entre o nível 2 e 3 do ensaio anterior.

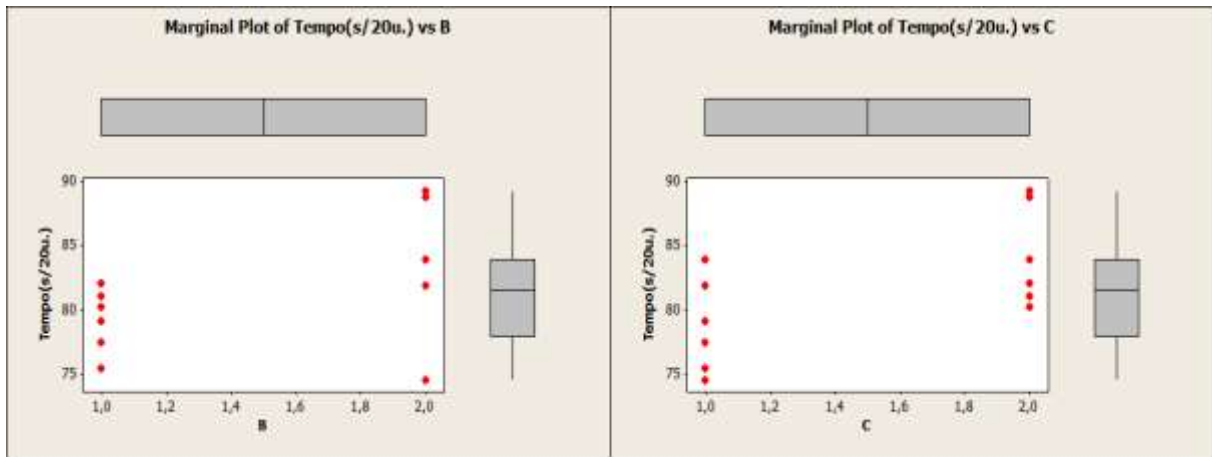


Gráfico 5 - Tempos de ciclo em função estado dos eléctrodos

Nos gráficos anteriores podemos constatar o que foi descrito acima, sendo claramente perceptível tanto a diferença entre o nível 1 e 2, como a dispersão existente em ambos, dispersão esta proveniente da diminuição do número de níveis destes fatores.

Tendo como objetivo a redução do tempo de ciclo do processo, este planeamento de experiências serviu tão-somente para cimentar algumas teses extraídas do planeamento anterior. A combinação ideal de fatores obtida neste planeamento foi a seguinte:

Tabela 14 - Configuração ideal de parâmetros para otimização de tempo de ciclo dado pelo segundo DOE relativo a OP120

Fator	Nível
"A" - Temperatura de Soldadura	2 - 60% Calor disponível
"B" - Estado do Eléctrodo Inferior	2 - Eléctrodo Usado
"C" - Estado do Eléctrodo Superior	1 - Eléctrodo Novo

Convém salientar que o valor da variável de saída desta experiência foi bastante aproximado ao das experiências $A_1B_1C_1$ e $A_2B_1C_1$.

Análise do 2º ensaio na operação 120 – Resistência à tração da ligação soldada

Terminada a análise e otimização do tempo de soldadura, é necessária uma validação da qualidade da ligação soldada, validação essa efetuada no primeiro planeamento de experiências com o seguimento do produto para avaliar não-conformidades, método que deixou algo a desejar por não serem perceptíveis diferenças entre experiências.

Neste caso decidimos documentar os resultados dos testes de tração, para os incluir na análise do planeamento, podendo assim assegurar a sustentabilidade do processo ao utilizar os níveis referidos como ideais nas análises anteriores.

Os resultados obtidos encontraram-se dentro do esperado, sendo possível verificar a influência de cada fator no seguinte gráfico

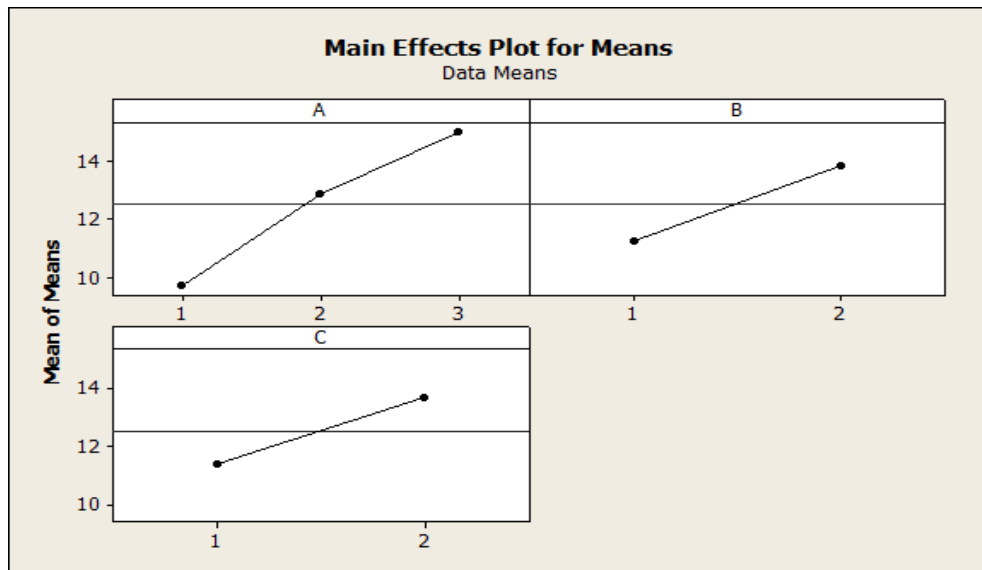


Gráfico 6 - Efeito dos fatores na resistência da ligação soldada

Segundo a análise ANOVA, e mais uma vez consultando o teste de significância por análise de *Tukey*, pode confirmar-se o que é evidente no gráfico anterior, existindo uma diferença significativa entre o uso de diferentes níveis para diferentes fatores.

O fator temperatura de soldadura é aquele no qual encontramos a maior discrepância de resultados entre níveis. Isto sucede pelo simples facto de a soldadura estar diretamente dependente da temperatura com que é efetuada, já que quanto maior for o calor transferido pelo elétrodo à peça, maior poderá ser a extensão da ligação soldada por fusão do material de adição com os componentes a soldar.

Este é porém um ponto sensível, não sendo aconselhável o uso de calor excessivo, por poder danificar os componentes a serem soldados, e por desgastar prematuramente os elétrodos. Este facto será tomado em devida conta no final da análise e na escolha dos níveis otimizados obtidos neste planeamento de experiências.

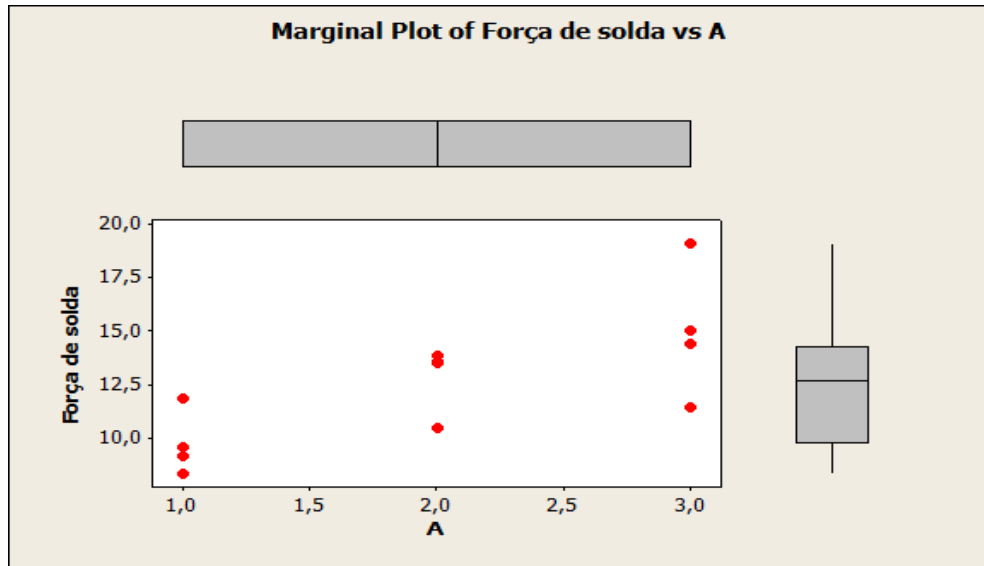


Gráfico 7 - Resistência da solda em função de temperatura de soldadura

A influência do desgaste do eléctrodo também é evidente neste caso, uma vez que o eléctrodo à medida que é usado começa a aquecer, não sendo o seu arrefecimento tão eficaz entre soldaduras, como consequência a sua forma pode sofrer alterações, quase sempre pela incorporação de resíduos que na soldadura se agarram aos componentes, interferindo negativamente na finalidade do processo. Contudo, esta irregularidade faz com que mais calor seja fornecido à soldadura, tornando-a mais resistente do que uma soldadura com os mesmos parâmetros mas com os eléctrodos acabados de retificar. Este efeito foi documentado e é apresentado no gráfico que se segue.

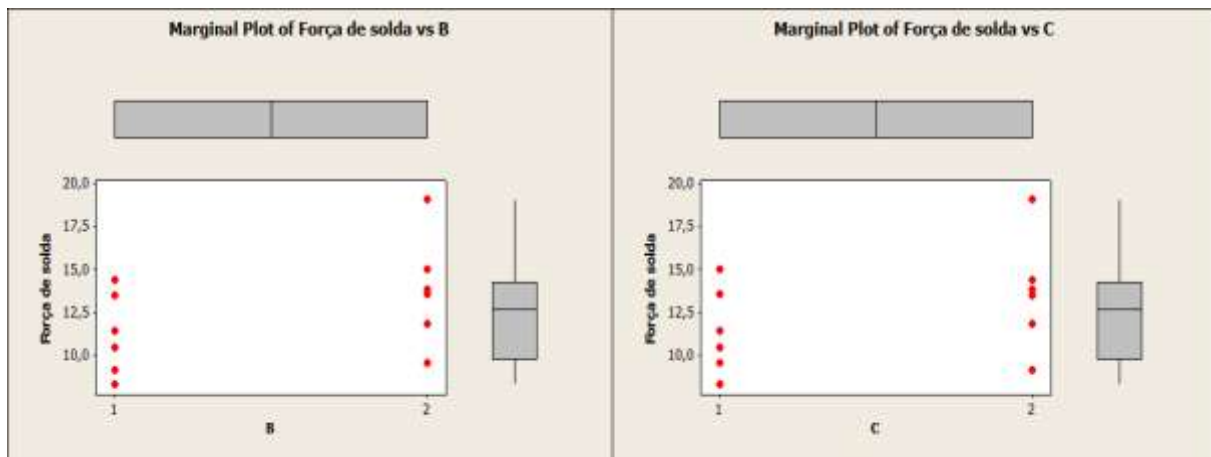


Gráfico 8 - Resistência da solda em função do estado dos eléctrodos

Porém, isto não significa que seja razoável utilizar eléctrodos desgastados, porque poderão transferir calor em excesso danificando a peça. Deve-se saber quando é necessário mudar o eléctrodo e, se possível, diminuir a frequência com que estes são retificados, de modo a reduzir o número de *setups* desta operação. Esta diminuição pode ser alcançada através de um banho químico aos eléctrodos, limpando-os das impurezas que oxidam em resíduos indesejados.

Todas as experiências realizadas nesta fase tiveram resultados positivos no que diz respeito à resistência da soldadura à tração, ou seja, a força necessária para desfazer as soldaduras foi sempre superior ao limite inferior imposto como controlo de qualidade (6kgf). O valor mínimo obtido, média aritmética do resultado de 5 ensaios à tração, foi de 8,350 kgf, correspondente ao uso de elétrodos retificados e ao nível mais baixo de calor fornecido. O valor máximo registado foi de 19,140 kgf, alcançado com níveis opostos aos que resultaram no valor mínimo.

Conclui-se não ser recomendável a mudança dos parâmetros para aqueles que apresentaram melhores resultados porque implicaria uma descida do tempo de ciclo, sugerindo-se uma solução de acordo com o objetivo do planeamento de experiências: diminuição do tempo de ciclo, assegurando a robustez do processo. Com este facto bem presente, após esta 3ª análise, encontra-se forma de otimizar o processo com a combinação de níveis seguinte:

Tabela 15 - Combinação final resultado dos 3 DOE

Fator	Nível
"A" - Tempo de Soldadura	1 - 10 Ciclos
"B" - Temperatura de Soldadura	2 - 60% Calor disponível
"C" - Estado do Eléctrodo Inferior	2(1) - Eléctrodo não desgastado
"D" - Estado do Eléctrodo Superior	2(1) - Eléctrodo não desgastado

No caso singular de desgaste de elétrodos, e para aumentar a longevidade dos mesmos após o desgaste, sugere-se que a percentagem de calor fornecida seja diminuída para 58%, visto ser o suficiente para a manutenção da qualidade da solda, e diminuição da frequência com que o material se agarra ao eléctrodo dificultando a soldadura e aumentando o tempo de ciclo do processo.

OP130

A análise do DOE para a operação 130, não pode ser como a anterior, pois não foi possível a obtenção dos dados em condições favoráveis á utilização dos mesmos, tendo-se constatado demasiado ruído entre experiências.

Contudo, existem algumas considerações a retirar do sucedido.

Começando pela enorme influência do estado do elétrodo na funcionalidade operacional deste processo. O elétrodo tem um tempo de vida mais longo do que na anterior operação, no entanto a sua deterioração tem consequências mais perturbantes á estabilidade do processo. Esta perturbação é tanta que chega a anular os efeitos esperados dos outros parâmetros.

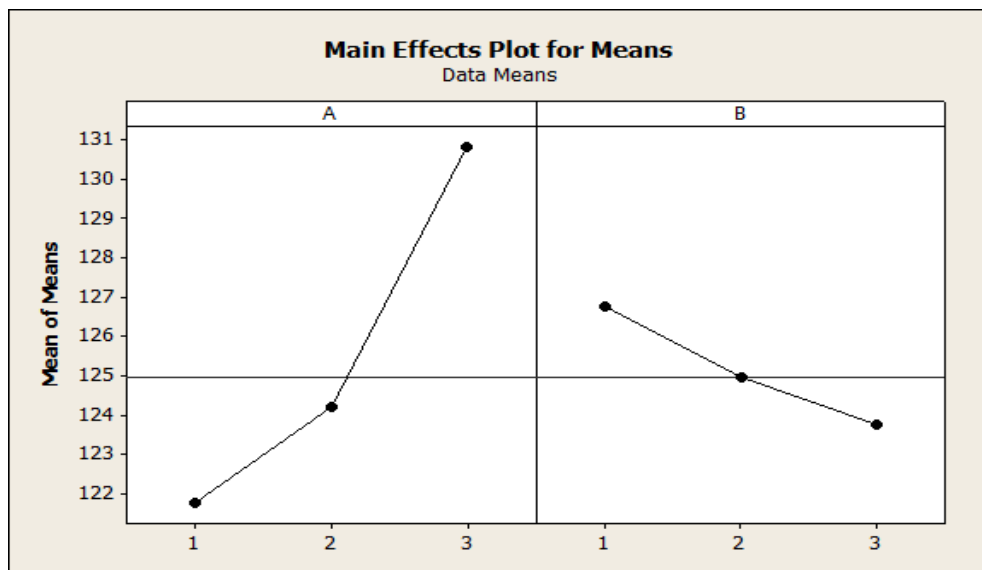


Gráfico 9 – Efeito de fatores no tempo de ciclo, OP 130

É no entanto possível analisar o efeito dos parâmetros em alguns níveis, porque ordem das experiências neste caso tinha ditado que a 3 últimas fossem aquelas onde o nível do fator B seria “1”. Tendo isto em conta são aceites como válidas as diferenças entre os resultados do nível 2 e o nível 3, mesmo não sendo significativas.

Deve-se salientar o grande efeito que o tempo de ciclo apresenta nesta operação, sendo possível afirmar isto devido á diferença abismal entre os níveis do fator A, não é no entanto prudente extrair conclusões práticas desta diferença, devido à inclusão de ruído no planeamento.

Também nesta operação foi analisado o efeito destes fatores na resistência da ligação soldada, variável de saída que também ficou alterada com a degradação do elétrodo.

É, no entanto, possível discernir diferenças entre níveis destes fatores, diferenças expectáveis tendo em conta o anterior DOE e os princípios associados ao funcionamento da soldadura por resistência.

O gráfico 10 apresenta os resultados extraídos com as experiências efetuadas.

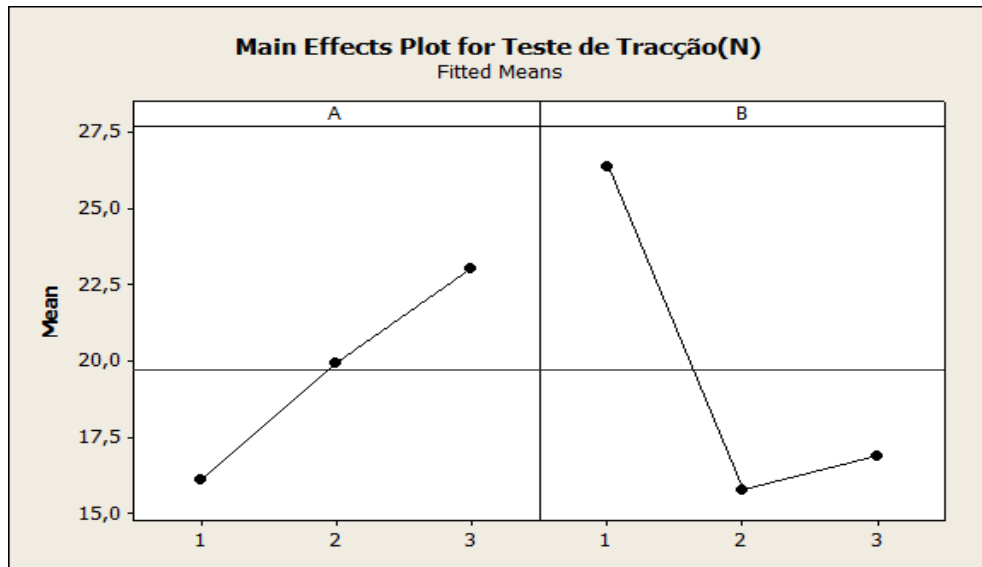


Gráfico 10 - Efeito dos fatores na resistência da ligação soldada

È neste gráfico que se pode analisar a grande influência do estado do elétrodo numa operação de soldadura por resistência. O nível “B1” corresponde às experiências realizadas após deterioração do elétrodo, e a elevada resistência á tração provém do excesso de calor fornecido. Este excesso é explicado pela criação de resistências (impurezas) entre os intervenientes na soldadura, aumentando o número de pontos de soldadura, fazendo com que os materiais soldem de uma forma mais firme embora irregular, e que comecem a soldar-se ao elétrodo.

Ainda no fator B, podemos constatar uma diferença expectável entre os níveis 2 e 3, quanto maior a corrente fornecida, mais forte é a ligação soldada.

Analisando o fator A, encontramos mais uma vez resultados de acordo com o esperado, o aumento da resistência da ligação soldada acompanha o aumento do tempo de soldadura, sendo que os resultados relativos aos níveis “A2” e “A3” são inflacionados pelas experiências que decorreram com o elétrodo desgastado.

A matriz dos resultados deste DOE encontra-se em anexo, como Anexo D, estando sinalizadas a azul as experiências relativas ao uso do elétrodo desgastado, aconselha-se a consulta da mesma durante a leitura desta análise.

6 Considerações Finais

O resultado de um planeamento de experiências apresenta os parâmetros otimizados que permitem tornar um processo robusto e o produto obtido com a qualidade expectável.

Durante o desenvolvimento deste projeto, com a realização dos vários DOE(s), foi possível analisar toda a área de soldadura e o seu funcionamento, sendo que existem considerações finais cujo âmbito excede o do projeto.

6.1 Conclusões

O DOE desenrolou-se como o planeado, tendo resultados satisfatórios e dentro do esperado, para a OP 120, ficando documentada a importância da manutenção eficaz dos elétrodos, assim como a influência expectável do tempo de soldadura no tempo de ciclo das operações.

Assinala-se também o compromisso ideal entre a temperatura e o tempo de soldadura, compromisso esse refletido na relação Resistência da Solda/Tempo de Ciclo.

Da análise dos DOE(s) obteve-se a combinação otimizadas de fatores do processo de soldadura na OP 120, referida no capítulo anterior.

Tabela 16 – Resultado final dos DOE

Fator	Nível
"A" - Tempo de Soldadura	1 - 10 Ciclos
"B" - Temperatura de Soldadura	2 - 60% Calor disponível
"C" - Estado do Eléctrodo Inferior	2(1) - Eléctrodo não desgastado
"D" - Estado do Eléctrodo Superior	2(1) - Eléctrodo não desgastado

Relativamente à análise efetuada da operação 130, salienta-se a influência dos fatores intervenientes na mesma, os efeitos destes são semelhantes aos efeitos constatados no estudo da operação 120, com diminuição do tempo de ciclo a acompanhar a diminuição do tempo de soldadura e o aumento da resistência da ligação com o aumento do calor fornecido.

Não se apresenta uma combinação final de fatores para esta operação, por os resultados obtidos estarem influenciados pelo ruído, com origem na deterioração do eléctrodo.

Foi no entanto possível retirar considerações importantes sobre o efeito dos fatores planeados, e desta alteração imprevista, sendo estas considerações fundamentais na caracterização do processo.

Conclui-se assim o DOE nas operações de soldadura do subconjunto neutro. Para além dos resultados finais do DOE em si, e das melhorias por si alcançadas, este projeto serve também como impulsionador de futuros DOE nos demais subconjuntos de soldadura existentes, e talvez noutros processos e produtos dentro da empresa.

Considera-se que uma análise semelhante deve ser aplicada às restantes operações de soldadura, para robustecer esses processos e para reduzir o desperdício nessa área produtiva.

Até a data de conclusão deste documento não foi possível conduzir uma requalificação do processo de soldadura estudado, sendo algo que deve ser feito com alguma urgência pois os métodos de controlo de qualidade aplicados de momento produzem mais sucata e desperdício do que todos os processos envolvidos na produção do subconjunto neutro. É possível afirmar isto, pois em 1900 subconjuntos soldados e estudados no primeiro DOE, nenhum foi considerado soldado irregularmente.

Mesmo assim foi criada sucata equivalente a cerca de 80 subconjuntos, devido ao controlo de qualidade destrutivo aplicado como validação do lote após alteração de parâmetros. Se tal for considerada uma prática diária, facilmente se conclui que, neste caso, existe maior desperdício no controlo do que nas não conformidades em si. A consistência dos resultados do DOE em outros subconjuntos soldados será determinante na diminuição da frequência dos ensaios destrutivos do controlo atual ao processo em questão.

Após uma breve pesquisa bibliográfica final, encontrou-se uma tese reportando problemas semelhantes aos aqui relatados sobre o desgaste acentuado dos elétrodos e os incómodos que esse mesmo desgaste causava. Este documento refere uma bateria de testes entre elétrodos com várias composições e acabamentos. Concluiu-se que, para este efeito, um eletrodo de cobre com menor teor de oxigénio na composição, desgasta-se menos rapidamente do que um comum, diferença situada entre os 30 e os 40%. Sugere-se um pequeno estudo relativamente á aplicabilidade desta mudança. Para mais informação sobre o assunto consultar Branco (2004).

Uma outra sugestão importante para o aumento da operabilidade geral desta área seria a definição de uma frequência de mudança de elétrodos, determinada pelo número de soldaduras efetuadas. Após inquérito no âmbito do processo revelou-se que este método não seria indicado para a operação 120, devido á variabilidade que esta apresenta e ao desgaste rápido do eletrodo, sendo a sua longevidade dependente de um grande número de fatores incontroláveis.

Relativamente á operação 130, esta implementação poderia tornar-se proveitosa, sendo aconselhável uma bateria de testes para determinar a longevidade média do eletrodo, e a implementação de um plano de manutenção preventiva, reduzindo a hipótese de danos tanto aos subconjuntos como ao equipamento, assim como prevenindo a diminuição da rentabilidade verificada com o desgaste do eletrodo.

Os projetos sugeridos não são postos em prática nem estudados de modo mais aprofundado devido ao tempo que seria necessário para encetar cada um deles. É matéria para projetos internos da empresa, se forem selecionados como viáveis. Figuram neste projeto meramente como sugestões para resolução de um problema encontrado.

6.2 Sugestões e trabalhos futuros

Nesta dissertação abordamos, justificando, uma análise e proposta para implementar um sistema *Kanban* que substitua o existente na área da soldadura.

É imprescindível à correta organização desta área a implementação de um sistema viável e eficaz de abastecimento de subproduto (o mais direto possível), associando a esse abastecimento um método de controlo de produção, para reduzir a sobreprodução quer na área de soldadura, quer nas células de produto final.

O sistema descrito e proposto está calculado segundo as normas produtivas da empresa, para responder tanto às necessidades planeadas como às reais, existindo uma discrepância entre estas, habitual num ambiente fabril sujeito a variação de solicitações.

Este sistema não tinha sido introduzido até a data da conclusão deste relatório devido à falta do material necessário, entretanto encomendado, contudo foi assegurado o treino dos colaboradores para o implementar.

A execução de forma acertada do projeto sobre o qual se centra esta dissertação necessitou de uma análise transversal relativamente á organização não só a área de soldadura, mas também a sua interação com as restantes áreas da fábrica. Essa observação e subsequente análise sugerem algumas intervenções sobre os atuais modos de operação em alguns pontos.

Existiram alguns problemas com a integridade dos subconjuntos magnéticos, alguns chegavam às células de produção num estado deteriorado, já sem utilidade para o ELCB. Identificaram-se duas principais causas para este problema, o modo apressado como estes eram tratados, e a quantidade armazenada num contentor entre a soldadura e as células.

O segundo defeito fica solucionado com a implementação do sistema de *Kanban*, o primeiro necessita de uma revisão das normas produtivas da área de soldadura. Aquando das medições iniciais estenderam-se estas a uma grande parte dos subconjuntos de modo a compreender todas as operações que tomavam parte na área em questão. Comparando os resultados obtidos com as metas dos indicadores existentes, constatou-se que as do subconjunto magnético eram demasiado exigentes face aos resultados, apesar dos operadores se submeterem a um ritmo mais elevado, danificando com alguma frequência o material. Justifica-se uma revisão e estabilização dessas metas, ou uma reavaliação dos métodos de produção.

Salienta-se ainda uma falta de operacionalidade na área de soldaduras, problema de solucionável com a alteração do *layout* existente e das funções que cada equipamento exerce. A área ficaria mais flexível, adaptada a eventuais avarias e em condições adequadas à implementação de planos de produção *just-in-time*.

Os documentos com o *layout* sugerido e os cálculos e medições efetuados para sustentar a alteração do *layout* atual serão arquivados nos servidores da empresa, e estarão disponíveis para o uso dos colaboradores para se proceder às mudanças sugeridas, sendo que também neste caso se instruíram colaboradores nos procedimentos necessários a este projeto.

Referências

- Funkenbusch, Paul D. (2005) "Practical Guide to Designed Experiments, A Unified Modular Approach", Marcel Dekker 2005
- Jiju Antony, (2006), "Taguchi or classical design of experiments: a perspective from a practitioner", Sensor Review, Vol. 26 Iss: 3 pp. 227 – 230
- Taguchi, Genichi: Introduction to quality engineering : designing quality into products and processes. Tokyo : Asian Productivity Organization (1990)
- Womack, James P.; Jones, Daniel T.; Roos, Daniel (1990), "The Machine that Changed the World", Collier Macmillan Canada, Inc.
- Pinto, João Paulo (2009), "Pensamento Lean", Lidel – Edições Técnicas, Lda
- Pinto, João Paulo (2006), "Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços", Lidel – Edições Técnicas, Lda
- Suzaki, Kiyoshi(2010)"New Shop Floor Management: Empowering People for Continuous Improvement", Free Press
- Rodrigues da Silva, J.P, "Lean Manufacturing", último acesso Novembro 2012, <http://www.freewebs.com/leanemp Portugal>
- Shingo, Shigeo (1985) "A Revolution in Manufacturing: The SMED System", Productivity Press, Cambridge
- Shingo, Shigeo (1988) "Non-Stop Production: The Shingo system of continuous improvement", Productivity Press, Cambridge
- Zhang, Hongyan; Senkara, Jacek (2012), "Resistance Welding, Fundamentals and Applications", CRC Press
- Branco, Hideraldo Luiz Osorio (2004), "Avaliação de capas de elétrodos utilizados na soldagem por resistência de chapas galvanizadas automotivas", Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Panamá, Curitiba

ANEXO A: Matriz Ortogonal de Taguchi – L27 – Operação 120 DOE 1

Experiência						Parâmetros medidos		Ratio S/N		
Nº	A	B	C	D	Ordem	Designação	Tempo(s/20u.)	Não Conformes(%)	Tempo	Não Conformes
13	1	3	1	1	4	$A_1B_3C_1D_1$	102,6975	0	-40,454064	
39	3	1	2	1	5	$A_3B_1C_2D_1$	98,075	0	-39,831166	
41	3	1	3	2	6	$A_3B_1C_3D_2$	101,54	0	-40,132743	
23	2	1	3	1	8	$A_2B_1C_3D_1$	105,168	0	-40,437672	
29	2	2	3	1	9	$A_2B_2C_3D_1$	113,6737895	0	-41,113206	
33	2	3	2	3	10	$A_2B_3C_2D_3$	Máquina a aquecer, trança a colar ao eléctrodo			
1	1	1	1	1	11	$A_1B_1C_1D_1$	Arrancamentos			
17	1	3	3	3	15	$A_1B_3C_3D_3$	Máquina a aquecer, trança a colar ao eléctrodo			
27	2	2	2	3	18	$A_2B_2C_2D_3$	99,7125	0	-39,974992	
7	1	2	1	1	19	$A_1B_2C_1D_1$	91,1225	0	-39,192512	
43	3	2	1	3	22	$A_3B_2C_1D_3$	98,405	0	-39,860343	
31	2	3	1	2	24	$A_2B_3C_1D_2$	99,455	0	-41,716807	
15	1	3	2	2	25	$A_1B_3C_2D_2$	94,7794736	0	-39,534285	
25	2	2	1	2	28	$A_2B_2C_1D_2$	112,265	0	-41,004887	
11	1	2	3	3	30	$A_1B_2C_3D_3$	105,81	0	-40,490534	
19	2	1	1	2	31	$A_2B_1C_1D_2$	97,164	0	-42,131825	
47	3	2	3	2	35	$A_3B_2C_3D_2$	Máquina a aquecer, trança a colar ao eléctrodo			
51	3	3	2	1	37	$A_3B_3C_2D_1$	Máquina a aquecer, trança a colar ao eléctrodo			
5	1	1	3	3	38	$A_1B_1C_3D_3$	97,42	0	-39,772962	
3	1	1	2	2	39	$A_1B_1C_2D_2$	Arrancamentos			
49	3	3	1	3	40	$A_3B_3C_1D_3$	99,26	0	-39,935485	
21	2	1	2	3	41	$A_2B_1C_2D_3$	94,4480347	0	-39,503858	
53	3	3	3	2	42	$A_3B_3C_3D_2$	Máquina a aquecer, trança a colar ao eléctrodo			
37	3	1	1	3	45	$A_3B_1C_1D_3$	Arrancamentos			
9	1	2	2	2	49	$A_1B_2C_2D_2$	91,495	0	-39,227947	
45	3	2	2	1	29	$A_3B_2C_2D_1$	96,8366666	0	-39,720796	
35	2	3	3	1	52	$A_2B_3C_3D_1$	118,619133	0	-41,483094	

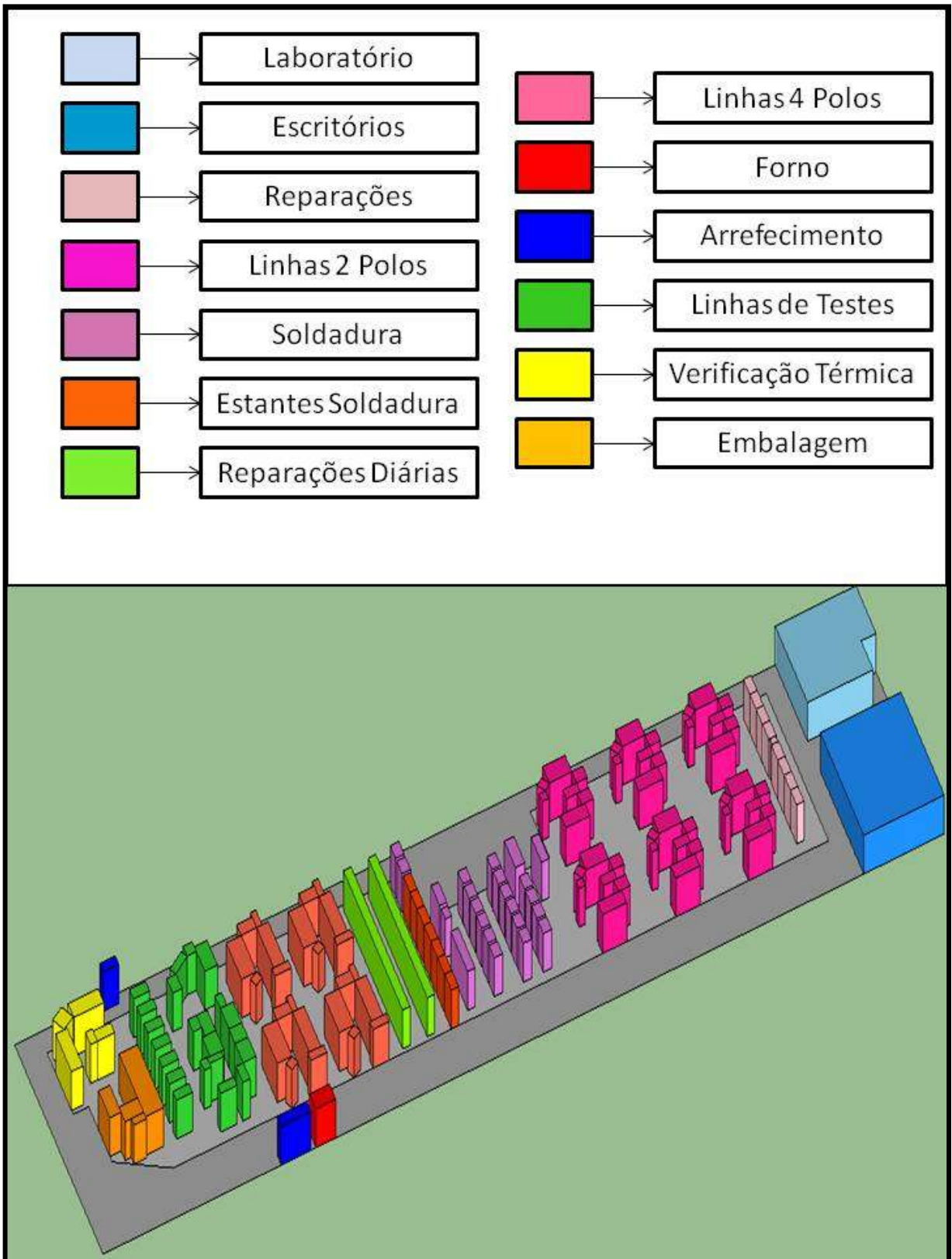
ANEXO B: Matriz Completamente Fatorial – Operação 120 DOE 2

Experiência	Fator				Parâmetros medidos	
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>Descrição</i>	<i>Tempo (s/20u.)</i>	<i>Resistência Ligação Soldada (kgf)</i>
1	1	1	1	$A_1B_1C_1$	75,47	8,35
2	1	1	2	$A_1B_1C_2$	81,104	9,18
3	1	2	2	$A_1B_2C_2$	83,958	11,86
4	1	2	1	$A_1B_2C_1$	83,914	9,55
5	2	1	1	$A_2B_1C_1$	77,494	10,49
6	2	1	2	$A_2B_1C_2$	80,278	13,51
7	2	2	2	$A_2B_2C_2$	89,2825	13,84
8	2	2	1	$A_2B_2C_1$	74,48490909	13,55
9	3	1	1	$A_3B_1C_1$	79,12727273	11,4204
10	3	1	2	$A_3B_1C_2$	82,068	14,392
11	3	2	2	$A_3B_2C_2$	88,84	19,14
12	3	2	1	$A_3B_2C_1$	81,944	15,044

ANEXO C: Matriz Completamente Fatorial – Operação 130 DOE 3

Experiência	Fator				Parâmetros medidos	
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Ordem</i>	<i>Descrição</i>	<i>Tempo (s/20u.)</i>	<i>Resistência Ligação Soldada (kgf)</i>
1	1	1	8	A_1B_1	126,394	21,85
2	1	2	5	A_1B_2	119,42	13
3	1	3	6	A_1B_3	119,5475	13,51
4	2	1	9	A_2B_1	127,14	27,64
5	2	2	1	A_2B_2	125,405	15,62
6	2	3	3	A_2B_3	120,1275	16,64
7	3	1	7	A_3B_1	Problemas em soldar, mau estado do eletrodo	
8	3	2	2	A_3B_2	130,0625	18,79
9	3	3	4	A_3B_3	131,5475	20,64

ANEXO D: Planta do 2º piso da Fábrica, área dedicada aos ELCB



Anexos Restantes – Instruções de Trabalho e Programas de Soldadura