

**Automatização de linha de montagem na  
Paulo Mendes S. A.**

*André António Moreira Azevedo de Sousa*

**Dissertação de Mestrado**

Orientador na FEUP: Prof. Ana Camanho

Orientador na Paulo Mendes S.A.: Eng.<sup>a</sup> Mónica Santos



**FEUP**

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão**

2009-07-02



## Resumo

O objectivo inicial do projecto consistia no estudo da automatização das operações de montagem da linha de *sidemarkers*, de maneira a reduzir os custos de produção pouco competitivos, relacionados com as operações manuais de montagem e movimentação de material, entre os diferentes postos de trabalho. Devido a limitações económicas da empresa para a aquisição de automatismos para certos processos, não estava no âmbito do projecto a implementação / automatização da linha.

O projecto desenvolveu-se então, segundo uma metodologia baseada nos princípios *Lean*, em que se pretendia reduzir o tempo de ciclo (*cycle time*) das operações, através da reengenharia dos processos, na redefinição do *layout* produtivo para uma linha em forma de U, de maneira a haver um fluxo de produção de lote unitário (*one-piece flow*), se possível. Procedeu-se então ao balanceamento das operações no processo de montagem, de maneira a definir as necessidades de mão-de-obra e achar custos e proveitos operacionais relacionados.

Começou-se por fazer um levantamento da situação produtiva dos *sidemarkers*, de maneira a saber quais as referências a analisar e respectivos consumos, através da análise de Pareto. Analisou-se o processo produtivo das diferentes referências, elaborando-se os respectivos fluxogramas, do qual constam as operações realizadas no processo de montagem, que permitiram identificar operações críticas e zonas do processo a necessitar de estudo cuidadoso e da remoção de ineficiências. Procurou-se, então desenvolver individualmente e/ou em conjunto com outras pessoas da organização diversas soluções (ferramentas, rotinas, *layouts*) e experiências para melhorar as operações (ao nível da produtividade, diminuindo o desperdício, melhorando a ergonomia), o processo produtivo e o fluxo de materiais. A partir dos fluxogramas e do levantamento dos *cycle times*, procedeu-se ao balanceamento das operações e à construção da linha de montagem, de modo a que se atingisse um processo do tipo *one-piece flow*, caso seja possível, em detrimento do sistema por lotes (*batch flow*), conduzindo assim a uma redução do *work-in-process (wip)*.

O *layout* da área sofreu alterações profundas, tal como os fluxos de materiais e produção. A reorganização dos processos e respectiva padronização resultaram em que objectivos como reduções de espaço, de *cycle time*, de *wip* e *lead time*, fossem atingidos. Nem todas as propostas puderam ser concretizadas, mas a expectativa criada adivinha implementações a curto-prazo.

## **Automatization of the assembly line in Paulo Mendes, S.A.**

### **Abstract**

The initial goal of the project consisted in the study of the automatization of the operations in the sidemarkers assembly line, in a way, to reduce the very high and non competitive production costs associated, with the manual operations and movements between the diferent workstations. Due to certains economical limitations of the company, for the automatization of some processes, the main focus of the project will not be in this particular area.

The methodology used during the project was based in the principles of Lean Manufacturing, with the reduction of the cycle times of the operations (reengineering of the processes), balancing the operations of the assembly process and the respective requirements of workforce, redefinition of the layout in the shape of a U-line and the implementation of a one-piece flow, if possible, in the assembly line.

First of all, there was the need of knowing the productive process of the sidemarkers, in a way to identify the references produced and respective comsumptions (Pareto Chart). To illustrate the productive process it has been drawn some fluxograms, that indicates the operations realized in the assembly line and has also allowed, identifying several critical operations and areas needing a careful study and the remotion of inefficiencies. To solve these problems, it has been developed solutions and experiments to improve several operations, the productive process and the material flow, regarding productivity, waste reduction and ergonomics improvement. From the fluxograms and the study of different cycle times, it has been possible to balance the operations and construct the assembly line in order to obtain a process of one-piece flow type, as always possible, avoiding the batch flow, which leads to the reduction of the wip.

The layout of the area suffered deep alterations, such as the flows of materials and production. The reorganization of the processes and consequent standardization reached the goals of reduction of space, cycle time, wip and lead time.

## **Agradecimentos**

À Eng<sup>a</sup>. Mónica Santos pela orientação ao longo do projecto de dissertação e pelos conhecimentos técnicos transmitidos.

À Professora Ana Camanho pela disponibilidade, confiança, autonomia e responsabilidade que depositou em mim ao longo de todo o projecto.

Ao Albino Gomes, à Fátima Lourenço, ao Paulo Silva, pela disponibilidade que demonstraram sempre que foram por mim solicitados, e sobretudo pela assistência fornecida no desenvolvimento de alguns produtos / programas.

A todos os outros colaboradores da Paulo Mendes, S.A. e da Pameltronic, Lda. pela sua enorme simpatia.

A todos os professores do MIEIG e da LGEI, pelos conhecimentos que me transmitiram ao longo do curso.

## Índice de Conteúdos

1	Introdução.....	1
1.1	Apresentação da Empresa Paulo Mendes S.A. ....	1
1.2	O Projecto “Automatização de linha de montagem” na Empresa Paulo Mendes S.A. ....	1
1.3	O Produto - <i>Sidemarkers</i> .....	2
1.4	Metodologia utilizada para a análise da linha de montagem dos <i>sidemarkers</i> .....	3
1.5	Temas Abordados e sua Organização no Presente Relatório .....	4
2	Princípios de Produção <i>Just In Time</i> .....	6
2.1	<i>Just in Time</i> .....	6
2.2	<i>One-Piece Flow</i> .....	7
2.2.1	<i>Takt Time</i> .....	11
2.2.2	<i>Flow manufacturing</i> em sistemas produtivos em forma de U .....	11
2.2.3	Normas de trabalho .....	12
2.2.4	Controlo de produção <i>pull</i> .....	13
2.2.5	<i>Jidoka</i> .....	14
2.3	Análise comparativa de abordagens existentes de atribuição de operações a estações e das suas vantagens e inconvenientes .....	16
3	Descrição do processo produtivo e das necessidades de produção dos <i>sidemarkers</i> .....	17
3.1	Caracterização do sistema de produção e respectivos fluxos de materiais / informação na linha dos <i>sidemarkers</i> .....	17
3.2	Análise de Pareto às encomendas dos <i>sidemarkers</i> .....	19
3.2.1	Período Histórico (13-11-2007 até 23-01-2009) .....	19
3.2.2	Período Projecto (02-02-2009 até 17-06-2009) .....	20
3.3	Determinar quando o <i>One-Piece Flow</i> é apropriado .....	21
3.4	Conclusões .....	21
4	Evolução das Operações <i>SM Omega / SM Zeta</i> .....	22
4.1	Montagem .....	24
4.1.1	<i>SM Omega</i> .....	24
4.1.2	<i>SM Zeta</i> .....	24
4.2	Teste eléctrico.....	26
4.2.1	<i>SM Omega</i> .....	27
4.2.2	<i>SM Zeta</i> .....	27
4.3	Resinagem .....	28
4.3.1	<i>SM Omega</i> .....	29
4.3.2	<i>SM Zeta</i> .....	30
4.4	Secagem .....	31
4.5	Soldadura.....	33
4.6	Suporte.....	34
4.7	Embalagem .....	35
4.8	Conclusões .....	36
5	Redefinição do <i>Layout</i> Produtivo.....	38
5.1	Situação inicial .....	38
5.2	Situação final.....	39
5.3	Conclusões .....	40
6	Balanceamento das operações.....	41
6.1	Metodologia.....	41

6.2	Resultados .....	42
6.3	Capacidade produtiva dos modelos <i>SM Omega</i> e <i>SM Zeta</i> (situação inicial vs. situação final) .....	48
6.3.1	Soluções para a obtenção de uma produção diária superior à máxima teórica estabelecida .....	50
6.4	Influência da quantidade produzida nas diferentes variantes do <i>SM Omega</i> e <i>SM Zeta</i> nos diversos balanceamentos das operações .....	51
6.5	Custos e Proveitos Operacionais relacionados com os balanceamentos das operações obtidos, nas diferentes variantes do <i>SM Omega</i> e <i>SM Zeta</i> .....	52
6.6	Conclusões .....	56
7	Conclusões e perspectiva de trabalho futuro.....	57
	Referências.....	59
ANEXO A:	<i>Sidemarkers Omega e Zeta</i> .....	61
ANEXO B:	Fichas Standard de Produção .....	63
ANEXO C:	Metodologia utilizada na cronometragem das operações .....	67
ANEXO D:	Histórico Encomendas <i>Sidemarkers</i> / Encomendas <i>Sidemarkers</i> (02-02-2009 até 17-06-2009) .....	69
ANEXO E:	Ilustrações referentes a algumas operações de montagem <i>SM Omega</i> e <i>SM Zeta</i> .....	73
ANEXO F:	Evolução das operações e respectiva duração de tempo necessárias à constituição de um <i>SM Omega</i> e <i>SM Zeta</i> .....	76
ANEXO G:	Fluxogramas <i>SM Omega</i> e <i>SM Zeta</i> .....	83
ANEXO H:	Programas CNC na Máquina da Resina ( <i>SM Omega</i> e <i>SM Zeta</i> ).....	98
ANEXO I:	Modelações Solidworks ( <i>SM Omega</i> , <i>SM Zeta</i> , <i>SM Psi</i> , <i>SM Lambda</i> e <i>SM Kappa</i> ) .....	102
ANEXO J:	Layout actual & Layout final.....	110

**Índice de Figuras**

Figura 1 – Exemplos de um sidemarker e de um frontmarker .....	2
Figura 2 – Diferenças no lead time de <i>Batch-and-Queue</i> e <i>One-Piece Flow</i> .....	8
Figura 3 – Classificação dos sistemas produtivos .....	9
Figura 4 – Exemplo de um gráfico de Pareto .....	10
Figura 5– Esquema de alocação de operários na célula. [Monden 84] .....	11
Figura 6 – (a) <i>standard operation chart</i> ; (b) <i>standard operation combination chart</i> .....	12
Figura 7 – Funções dos dispositivos <i>poka-yoke</i> e exemplos aplicativos da utilização destes dispositivos .....	15
Figura 8 – (a) Linha em U; (b) a Solução PLI; e (c) a solução com o mínimo de distância possível .....	16
Figura 9 - Solução PD: (a) Linha em U; e (b) solução óptima.....	16
Figura 10 – a) Modo “ <i>Chase</i> ”; e (b) Modo “ <i>Fixed Stations</i> ” e Modo “ <i>Overlapping Stations</i> ” .....	16
Figura 11 – Fluxo produtivo típico de um <i>sidemarker</i> .....	18
Figura 12 – Distribuição das quantidades produzidas pelas diferentes variantes de <i>SM Omega</i> .....	23
Figura 13 – Distribuição das quantidades produzidas pelas diferentes variantes de <i>SM Zeta</i> ..	24
Figura 14 – (1), (2), (3) & (4) - Montagem de um <i>sidemarker Omega</i> .....	24
Figura 15 – (1), (2) & (3) - Montagem de um <i>sidemarker Zeta</i> .....	25
Figura 16 – Representação esquemática do circuito de teste eléctrico.....	27
Figura 17 – Evolução do teste eléctrico nos terminais do led: (a) “canetas”; (b) placa de teste eléctrico .....	27
Figura 18 – Evolução do teste eléctrico no conector: (a) “canetas”; (b) placa de teste eléctrico .....	27
Figura 19 – (1), (2), (3), (4), (5) & (6) – Processo de Resinagem <i>SM Omega</i> .....	29
Figura 20 – Secagem - (1) à temperatura ambiente; (2) ventoinha; (3) ar comprimido.....	31
Figura 21 – Distribuição dos diferentes tipos de tempos na operação de resinagem <i>Omega</i> (situação inicial vs. situação final).....	32
Figura 22 - Distribuição dos diferentes tipos de tempos na operação de resinagem <i>Zeta</i> (situação inicial vs. situação final) .....	33
Figura 23 – a) Soldadura por ultrasons; b) Teste de estanqueidade à soldadura.....	34
Figura 24 – (1) Posicionar Suporte + Blindagem; (2) Colocar buchas; (3) Colocar pinos; (4) Com o martelo introduzir pinos.....	34
Figura 25 – Exemplo de funcionamento de <i>poka-yoke</i> fixação suporte 90° A <i>Zeta</i> .....	35
Figura 26 – (1) Posicionar Suporte + Blindagem; (2) Colocar parafusos utilizando a máquina de aparafusar.....	35

Figura 27 – (a) Colocação dos <i>sidemarkers</i> na saca de plástico; (b) Colocação das sacas de plástico na caixa de despacho.....	36
Figura 28 – Layout final da linha de montagem de <i>sidemarkers</i> .....	40
Figura 29 – Eficiência dos balanceamentos em função da quantidade produzida no SM Omega .....	51
Figura 30 – Eficiência dos balanceamentos em função da quantidade produzida no SM Zeta.....	52
Figura 31 – Lucro Operacional (€) vs Quantidade Produzida dos Balanceamentos mais eficientes dos SM Omega e SM Zeta.....	56

**Índice de Tabelas**

Tabela 1 – Componentes presentes num sidemarker e sequência de processamento .....	3
Tabela 2 – Quantidade encomendada vs N° de referências encomendadas dos SM Omega e SM Zeta (Histórico) .....	20
Tabela 3 - Quantidade encomendada vs N° de referências encomendadas dos SM Omega e SM Zeta (Período do Projecto de Dissertação).....	20
Tabela 4 – Evolução dos tempos da Operação de Montagem no SM Omega (situação inicial vs. situação final) .....	25
Tabela 5 – Evolução dos tempos da Operação de Montagem no SM Zeta (situação inicial vs situação final) .....	26
Tabela 6 – Evolução dos tempos médios de operação e sua respectiva variabilidade, com o novo aparelho de teste eléctrico.....	28
Tabela 7 - Evolução dos tempos da Operação de Resinagem no SM Omega (situação inicial vs situação final) .....	29
Tabela 8 – Evolução dos tempos da Operação de Resinagem no SM Zeta (situação inicial vs situação final) .....	30
Tabela 9 – Evolução do tempo de secagem (médio) de um gabarit com sidemarkers.....	31
Tabela 10 – Quadro síntese do processo de resinagem & secagem para determinação do nº de gabarits necessários em batch flow .....	32
Tabela 11 – Tempos da operação de soldadura no SM Omega e SM Zeta.....	33
Tabela 12 – Tempos da operação de Suporte no SM Zeta .....	35
Tabela 13 - Evolução dos tempos da Operação de Embalagem no SM Omega (situação inicial vs situação final).....	36
Tabela 14 – Evolução dos tempos da Operação de Embalagem no SM Zeta (situação inicial vs situação final).....	36
Tabela 15 – Evolução do tempo total de fabrico de um SM Omega (situação inicial vs situação final) .....	37
Tabela 16 – Evolução do tempo total de fabrico de um SM Zeta (situação inicial vs situação final) .....	37
Tabela 17 – Variação do cycle time da workstation consoante a quantidade produzida / dia, assim como o nº de mínimo de workstations necessárias e a eficiência dos balanceamentos obtidos, na variante SM Omega b).....	43
Tabela 18 - Variação do cycle time da workstation consoante a quantidade produzida / dia, assim como o nº de mínimo de workstations necessárias e a eficiência dos balanceamentos obtidos na variante SM Zeta g) .....	43
Tabela 19 – Quadro síntese das operações necessárias ao fabrico de 24 SM Omega variante b) e respectiva duração.....	44
Tabela 20 – Quadro síntese das operações necessárias ao fabrico de 18 SM Zeta variante g) e respectiva duração .....	45

Tabela 21 – Quadro – resumo dos balanceamentos das operações SM Omega b) às diferentes workstations e desvios de tempo associados.....	46
Tabela 22 - Quadro – resumo dos balanceamentos das operações SM Zeta g) às diferentes workstations e desvios de tempo associados.....	47
Tabela 23 – Cenários de produção mais eficientes de SM Omega b) com o nº de workstations realmente necessárias, $N_a$ .....	48
Tabela 24 – Cenários de produção mais eficientes de SM Zeta g) com o nº de workstations realmente necessárias, $N_a$ .....	48
Tabela 25 – Capacidade produtiva das variantes SM Omega, pressuposto line flow (situação inicial).....	49
Tabela 26 - Capacidade produtiva das variantes SM Zeta, pressuposto line flow (situação inicial).....	49
Tabela 27 - Capacidade produtiva das variantes SM Omega e SM Zeta, pressuposto line flow (situação final).....	49
Tabela 28 – Preço de venda unitário das diferentes variantes de SM Omega e SM Zeta .....	52
Tabela 29 – Custos unitários das matérias – primas que são utilizadas no fabrico dos SM Omega e SM Zeta .....	53
Tabela 30 – Custos de Mão-de-Obra / Trabalhador .....	53
Tabela 31 – Quadro síntese dos custos e proveitos operacionais obtidos com os balanceamentos mais eficientes das diferentes quantidades produzidas de SM Omega e SM Zeta .....	54

## 1 Introdução

No âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão, no último semestre deste curso foi realizado um projecto de dissertação na empresa Paulo Mendes, S.A. com o tema “Automatização de linha de montagem na Paulo Mendes, S.A.”. Com base nesta experiência, foi elaborado este relatório.

### 1.1 Apresentação da Empresa Paulo Mendes S.A.

A empresa Paulo Mendes, foi formalmente constituída em Abril de 1983 sob a forma jurídica de sociedade por quotas. Desde então, tem desenvolvido a sua actividade industrial com base no fabrico de componentes de iluminação, e injeção de peças técnicas para a indústria automóvel (*OEM* e *Aftermarket*). De seguida, são apresentados alguns pontos-chave na história da empresa.

Até 1987 a empresa dedicou-se à aquisição de *know-how* com vista à execução total de farolins de veículos. Em 1991, iniciou um protocolo com a Universidade Nova de Lisboa para a execução de uma unidade de revestimento de superfícies pela técnica de metalização em vácuo. Posteriormente, devido ao rápido crescimento da empresa, adquiriu novas instalações, com uma área de 10000 m<sup>2</sup>. As exportações para os EUA tiveram início em 1997, na área de componentes de iluminação e de peças técnicas. Nos anos seguintes, teve lugar uma forte aposta na renovação dos equipamentos e na automatização dos processos produtivos. Em 2001 obteve a certificação do Sistema de Gestão de Qualidade implementado na empresa, e posteriormente implementou um Sistema Integrado de Gestão da Produção. Nos anos seguintes ampliou a sua capacidade produtiva através da aquisição de novos equipamentos. No ano de 2006, a empresa muda de designação social, passando a constituir-se como uma sociedade anónima, a Paulo Mendes, S.A.. Actualmente, apresenta um capital social de cerca de 350000 €.

Os principais produtos produzidos pela empresa são os farolins multi-funções, os farolins posição, os farolins nevoeiro frente e trás, os farolins mudança de direcção frente e trás, os farolins trabalho, os projectores e os sidemarkers. Estes produtos são principalmente exportados para a Europa, África e América do Norte, sendo que a homologação dos produtos em vários países da Europa e EUA, é resultado do investimento nos mais modernos processos tecnológicos.

### 1.2 O Projecto “Automatização de linha de montagem” na Empresa Paulo Mendes S.A.

No âmbito do projecto de dissertação do curso MIEIG da FEUP, foi efectuada uma proposta por parte da empresa Paulo Mendes com vista à realização de um projecto, onde se pretendia reduzir os custos de produção para tornar os produtos mais competitivos através da optimização do fluxo produtivo e da optimização do uso de recursos.

No período em que se desenvolveu o projecto, o trabalho desenvolvido incidiu sobretudo na análise da linha de montagem dos *sidemarkers*, de maneira a identificar oportunidades de melhoria, visando assim uma optimização dos fluxos produtivos e uma diminuição dos custos de produção. O projecto abrangeu também o desenvolvimento de novos produtos, que permitiam reduzir o tempo de ciclo (*cycle time*) de operações e automatizar o processo global.

Ao longo do projecto, foi efectuada uma análise aos tempos das operações na montagem dos diferentes modelos de *sidemarkers*, com especial incidência nas variantes *Omega* e *Zeta*, de

maneira a identificar as que acrescentam valor ao processo, tendo ainda sido realizado algum trabalho de apoio nos restantes modelos. Esta análise, teria como objectivo final a alteração do *layout* da linha de maneira a que fossem eliminadas todas as ineficiências relacionadas com armazenagens, transportes, etc.. O objectivo final seria então, a implementação do sistema produtivo de lote unitário (*one-piece flow*), se possível, com as operações devidamente balanceadas entre as diferentes *workstations*, em detrimento do sistema produtivo em lote (*batch flow*), que se encontrava em funcionamento na linha de montagem. Então a partir desta situação, poderiam ser calculados os custos e proveitos operacionais relacionados.

De salientar, que o trabalho inicial a realizar nesta linha de montagem era relativamente superficial. Pretendia-se o desenvolvimento de um sistema de teste eléctrico a 100% para os *sidemarkers*, a elaboração de programas CNC de aplicação de resina para os diferentes modelos, assim como o desenho dos respectivos gabarits para realizar esta operação. Mas como o potencial de melhoria da linha em termos operacionais era enorme, foi aqui que se desenvolveu a maior parte do trabalho.

### 1.3 O Produto - *Sidemarkers*

Um *sidemarkers* é um farolim que se destina a assinalar a presença de um veículo. Num veículo pesado temos luzes de presença de três tipos, laterais, frontais e traseiras. A designação mais correcta para cada um destes produtos é *sidemarkers*, *frontmarkers* e *rearmarkers*, respectivamente. Na prática, quando se fala em *sidemarkers* é comum abrangerem-se estas três classes, e será esta a notação utilizada neste relatório. Normalmente um produto destes desempenha duas funções: reflectora e luz de posição.



**Figura 1 – Exemplos de um sidemarkers e de um frontmarkers**

Recentemente estes produtos sofreram uma grande evolução tecnológica. As suas características tornaram muito atractiva a adopção de LEDs como fonte de iluminação viável, em detrimento das lâmpadas incandescentes.

Os *sidemarkers* são produtos relativamente simples, as suas dimensões andam na ordem dos 100x50x20 mm.

Todos os *sidemarkers* têm em comum as seguintes operações de fabrico: montagem, teste eléctrico, resinagem, soldadura e embalagem, havendo ainda alguns modelos onde é acoplado um suporte.

O número de componentes varia então consoante o modelo, havendo no máximo cerca de 7 componentes. Na Tabela 1 encontra-se a lista dos diferentes componentes, quantidades e as secções onde são processados.

**Tabela 1 – Componentes presentes num sidemarker e sequência de processamento**

Designação	Quantidade	Produção	Sequência de secções		
Blindagem	1	Interna	INJ		LMSM
Vidro	1	Interna	INJ	ML	LMSM
Cablagem	1	Externa	LMSM		
Suporte	1	Interna	INJ		LMSM
Contactos	2	Interna	EST		LMSM
Placa de LEDs	1	Externa	LMSM		
<b>Total de componentes</b>	<b>7</b>				

EST – Estampagem; INJ – Injecção; ML – Máquina de Laser; LMSM – Linha de Montagem de Sidemarkers.

De referir que a placa de LEDs é um subconjunto de vários semicondutores e de um PCB.

#### 1.4 Metodologia utilizada para a análise da linha de montagem dos *sidemarkers*

Há que referir que dado o objectivo do projecto ser a reengenharia dos processos, numa perspectiva de mudar o sistema de produção com tempos de produção mais competitivos, a principal preocupação foi abranger o máximo de processos possível, deixando para uma fase seguinte a sua optimização.

A abordagem a um projecto pressupõe sempre a aquisição de conhecimento sobre os objectos de estudo. Neste caso em concreto, cujos temas visam a melhoria, a preocupação inicial foi o conhecimento do produto *sidemarker*, assim como todos os seus modelos (*Omega, Zeta, Psi, Kappa, Lambda, etc.*), todo o processo produtivo, a familiarização dos nomes das operações e as diferentes máquinas e a compreensão da distribuição das operações no *layout* fabril.

Primeiro, efectou-se uma análise detalhada tanto do processo produtivo, como da gestão de materiais que o processo implicava, resultando dessa análise, os objectivos que se pretendiam atingir e os planos de acção iniciais. Após este estudo passou-se à implementação das alterações das operações críticas, segundo as directivas anteriormente definidas, na tentativa de alcançar os objectivos. Seguidamente o processo era acompanhado de modo a perceber-se se os objectivos tinham sido atingidos, ou o que era necessário melhorar para que estes o fossem.

A análise dividiu-se em duas partes: levantamento de informação e tratamento da informação recolhida.

O levantamento da informação foi utilizado para definir a situação inicial, o ponto de partida. Começou-se por fazer um reconhecimento das referências produzidas, de maneira a perceber quais os principais modelos a serem alvo de uma análise mais aprofundada, tendo-se desenhado os respectivos fluxogramas onde constam as operações que fazem parte do processo. Identificou-se os componentes utilizados em cada uma dessas operações, determinaram-se os *cycle times* das operações, através do recurso a um cronómetro, em *s/sidemarker* e/ou em min/gabarit, dedicou-se especial atenção às operações que condicionavam toda a produção (“*bottlenecks*”) e fez-se um reconhecimento das necessidades de produção.

A partir desta recolha de informação foi possível proceder-se ao cálculo de métricas que iriam caracterizar a situação inicial, visto estas serem cruciais para o desenvolvimento de qualquer projecto, porque a partir delas seria possível quantificar, medir o processo. Estes valores reflectiam o estado do processo, possibilitando avaliá-lo a qualquer momento, permitindo, por um lado definir objectivos e por outro verificar se foram ou não atingidos.

No sentido de tornar mais clara a avaliação da situação inicial esta foi realizada em duas fases. Na primeira fase avaliou-se a situação inicial num sistema de produção a operar em *batch flow*, onde se podia aferir o *lead time* real dos produtos e a quantidade de work-in-process (*wip*) que circulava. Na segunda fase, avaliou-se o processo na perspectiva de uma linha não balanceada, centrando a atenção no *cycle time* de cada operação, considerando sempre que os operadores trabalham individualmente.

A partir do momento em que a situação inicial está completamente definida e quantificada, e que o processo foi bem compreendido, pode passar-se ao tratamento desta informação.

Uma vez identificados os problemas e através de uma análise cuidada procedeu-se à reengenharia de alguns processos de montagem, de maneira a obterem-se *cycle times* de operações mais baixos. De seguida, estudou-se o balanceamento das operações, de modo a que aquando da sua junção física, os tempos de cada uma fossem o mais próximo possível para que haja um fluxo de produção ideal de uma peça, sempre que seja possível. Neste caso, a primeira acção a realizar seria de facto construir linhas de montagem, e tentar balanceá-las de modo a minimizar *wip* e tempo de espera entre postos, através de uma reestruturação do processo.

O estudo do processo passava por perspectivar o número de postos de trabalho necessários, o conjunto das tarefas efectuadas nas várias operações e a nova duração das operações. Idealmente, todas as operações deveriam demorar o mesmo tempo de maneira a que o fluxo fosse de uma peça, mas várias restrições tiveram de ser levadas em conta, tais como tempos de ciclo de máquinas, e componentes que não podem ser transferidos para outro posto de trabalho, sob pena de não se formar um subconjunto coeso que possa ser movimentado,

A metodologia adoptada no balanceamento das operações, consistiu na distribuição de actividades sequenciais por postos de trabalho, de modo a permitir uma elevada utilização de trabalho e de equipamentos, e minimizar o tempo em vazio.

Por fim, calcularam-se os custos e proveitos operacionais correspondentes aos balanceamentos das operações mais eficientes.

## **1.5 Temas Abordados e sua Organização no Presente Relatório**

Os principais temas que serão abordados neste relatório estão relacionados com a reengenharia dos processos relacionada com os modelos *SM (Sidemarker) Omega* e *SM Zeta*, na redefinição do *layout* produtivo para um fluxo em forma de U, de modo a poder operar-se num sistema de produção *line flow* com as operações devidamente balanceadas entre as diferentes *workstations*, em detrimento do *batch flow*, até então em vigor na empresa e no cálculo dos lucros operacionais associados.

A organização deste relatório é a seguinte: o capítulo 2 é dedicado aos Princípios de Produção *Just in Time (JIT)*. O capítulo 3 descreve o processo produtivo típico do fabrico dos sidemarkers e demonstra os resultados da Análise de Pareto às encomendas recebidas destes produtos nos períodos pré-projecto e durante o projecto, de maneira a identificar os principais modelos a serem analisados, bem como a verificação dos requisitos para o funcionamento da

linha em *one-piece-flow*. O capítulo 4 demonstra as evoluções nos processos de fabrico dos *SM Omega* e *Zeta*. O capítulo 5 dá conta das diferenças entre a situação inicial e final quanto ao layout da linha de montagem dos *sidemarkers*. O capítulo 6 demonstra, os balanceamentos das operações de fabrico, de modo a poder ser implementado o *line flow*. Para finalizar, são dadas a conhecer as conclusões do trabalho bem como as perspectivas de trabalho futuro, no capítulo 7.

## 2 Princípios de Produção *Just In Time*

A revisão bibliográfica do *Just In Time (JIT)* será realizada com a finalidade de posicionar a produção focalizada em linhas de montagem, assunto principal deste trabalho, dentro do modelo japonês ou produção *JIT*. Isto será feito, visto que as maiores vantagens produtivas, somente são alcançadas através da aplicação completa deste modelo de produção *JIT*.

### 2.1 *Just in Time*

O modelo japonês, que neste trabalho será chamado de produção *Just-In-Time (JIT)*, é baseado no sistema de produção desenvolvido na Toyota Motor Ltd., consolidado após a Segunda Guerra Mundial, sendo constituído por uma série de técnicas de Engenharia Industrial e conceitos ou princípios de Gestão.

A produção *JIT* nasceu da busca pela Toyota Motor Ltd., da eliminação por completo dos desperdícios nos seus processos, de maneira a garantir a sobrevivência da empresa. Segundo o seu criador Taiichi Ohno, *JIT* significa que num processo em fluxo, os componentes correctos devem chegar à linha de montagem somente no momento e na quantidade certa. (Ohno, 1997)

O objectivo económico principal obtido através da aplicação completa do fluxo de produção *JIT* numa empresa é a eliminação dos inventários, tendo como meta o stock zero. Além disso, a eliminação dos stocks permite, através da gestão visual da fábrica, uma rápida percepção e procura da solução para os problemas que ocorrem no *shop - floor*.

Em relação às necessidades do mercado de uma empresa, o *JIT*, através das técnicas de engenharia de produção que utiliza, permite que sejam produzidas pequenas quantidades de vários produtos. Isto é sinónimo de flexibilidade e actualmente é um factor fundamental para se aumentar a competitividade de uma empresa.

Actualmente, as empresas fornecedoras de peças automóveis montam pequenas unidades de produção focalizadas para o atendimento de um determinado cliente, instaladas inclusive fisicamente próximas da mesma, de maneira a tirar vantagens tanto em termos organizacionais internos, como em termos de logística de fornecimento externo para o consumidor. Segundo Harmon e Peterson, (Harmon, 1991), uma fábrica focalizada possui as seguintes vantagens na busca dos princípios da produção *JIT*:

1. Domínio do processo produtivo: por ser uma fábrica pequena as comunicações fluem mais facilmente, permitindo que cada gerente, supervisor e funcionário conheça todos os aspectos importantes da fabricação dos produtos. Desta forma, aumenta-se a identificação e solução de problemas.
2. Gerência junto à produção: com o *downsizing* dos níveis hierárquicos pela redução da complexidade dos processos, a gerência pode ficar localizada próxima ao *shop-floor*, aumentando a velocidade de resposta na tomada de decisões. A gestão pode ser mais centrada nos aspectos visuais do que por base em relatórios periódicos.
3. *Staff* reduzido e exclusivo: o pessoal de apoio pode ficar junto ao local onde presta o serviço, especializando-se nas suas tarefas. A focalização do *staff* facilita a programação dos serviços de apoio aos clientes internos, reduzindo as paragens de produção e acelerando a solução dos problemas.
4. Estimula a polivalência de funções: em fábricas pequenas tanto as funções produtivas como as de apoio são executadas por um número menor de pessoas,

induzindo o conceito de funcionário polivalente. As responsabilidades pela produção, qualidade e manutenção são compartilhadas por todos e podem ser melhor distribuídas. Permite o uso efectivo do conceito de Círculos de Controlo de Qualidade (CCQ) e de remuneração variável pelo desempenho do grupo.

5. Uso limitado dos recursos: em fábricas pequenas, os recursos colocados à disposição da produção são limitados, o que facilita a identificação e eliminação de actividades que não acrescentam valor aos produtos e estimula a disseminação do princípio da melhoria contínua. Aparecem prontamente stocks excessivos e equipamentos ociosos.

Desta forma, a focalização da produção permite que as empresas respondam de forma muito mais ágil às pressões competitivas do mercado, o que pode garantir a sua sobrevivência.

## 2.2 *One-Piece Flow*

*One-Piece Flow* surgiu do *Toyota Production System (TPS)*, conhecido nos Estados Unidos como *Lean Manufacturing*.

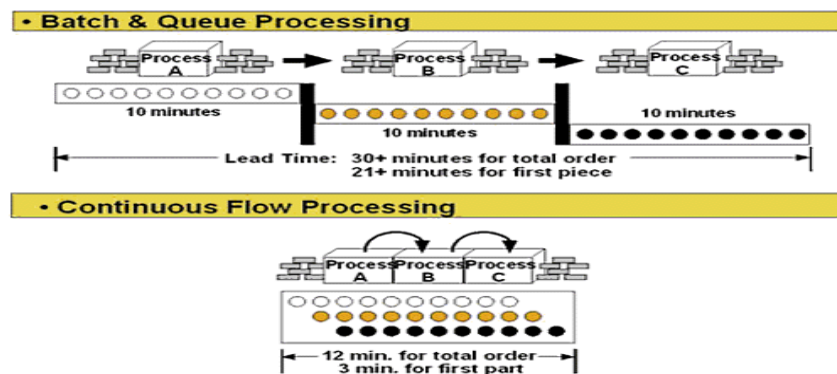
O *TPS* enfatiza o uso de lotes óptimos, de maneira a prevenir a ocorrência de filas de espera e consequente excesso de tempo inútil, que origina uma má utilização do espaço e do recurso, aumento do *wip* e tempos de ciclo longos, que são tudo formas de desperdícios ou “*mudas*”.

Por outro lado existe a abordagem do *batch-and-queue*, que é a produção em grandes lotes. Embora muitas empresas produzam bens em grandes lotes, esta abordagem atrasa muito o processo, visto que nenhuma peça pode seguir para o processo seguinte até que todas as peças tenham sido processadas. Quanto maior o lote, maior é a espera dos componentes entre os processos, sendo consequência directa o aumento do *lead time* entre as ordens dos clientes e a entrega dos produtos. Os sistemas de *batch-and-queue* levam a uma pobre utilização do espaço, visto que os lotes que estão à espera de serem trabalhados nas operações seguintes ocupam uma grande área de trabalho e a uma grande probabilidade de defeitos, porque os produtos vão-se amontoando e deixados no mesmo sítio, baixa a moral dos operários, porque este sistema produz grandes quantidades de *wip* e não de produtos acabados – a mensagem psicológica é, que acabaste de criar um monte de produtos inacabados, criando assim aquela ideia de que ainda há muito mais por fazer. (Psabilla, 2006)

Com o *one-piece flow*, sempre que seja possível a transferência do lote unitário dos produtos entre as diversas operações da linha em questão, é possível obter melhorias na segurança, visto que o peso dos materiais a transportar é menor, bem como melhorias na qualidade, visto que os defeitos são detectados imediatamente (normalmente na *workstation* seguinte), havendo lugar à acção correctiva necessária. A flexibilidade aumenta, porque o *one-piece flow* é mais rápido que o *batch-and-queue flow*, permitindo desta maneira planear a encomenda com mais paciência (e mesmo assim entregar a tempo), havendo desta forma uma maior capacidade de resposta às necessidades dos clientes. Por fim, há um aumento da produtividade e redução do inventário, visto que muitos dos desperdícios inerentes à produção por *batch-and-queue* (ex: movimento, transporte, espera) são bastante reduzidos com a implementação do *one-piece-flow*. (Pereira, 2008) No entanto, há inconvenientes que podem advir da escolha deste sistema de produção, nomeadamente, o facto de não se conseguir obter os materiais necessários em quantidade, qualidade ou tempo, as avarias nos equipamentos, bem como produtos defeituosos, que caso não existam “*buffers*” de material vão originar paragens na linha. De salientar também, a resistência à mudança por parte de alguns operários, bem como a sua especialização em determinada tarefa, visto que neste sistema

produtivo podem ter de desempenhar as mais diversificadas operações. Grandes distâncias entre os postos de trabalho assim como grandes tempos de *setup* não possibilitam a implementação de *one-piece flow*, o que obriga à redução contínua destes tempos e distâncias para se tentar diminuir o tamanho dos lotes, aproximando-o do unitário, possibilitando assim o movimento de uma peça de trabalho de cada vez. Mas a principal limitação para a implementação do lote unitário, talvez seja o facto de algumas máquinas não estarem preparadas para o *one-piece flow*. Recorrendo a casos do dia-a-dia, vemos que uma máquina de lavar roupa é um bom exemplo na medida em que se precisa de esperar que esta encha, senão haverá desperdício de água e energia. Um tanque e uma pia seriam a solução *lean* para este problema, apenas precisando de algum *jidoka*. O mesmo se aplica à máquina de secar. Não se seca uma camisola molhada na máquina, mas pode-se colocá-la a secar se não precisas dela seca imediatamente. (Miller, 2007)

A Figura 2 demonstra o impacto da redução do tamanho do lote quando comparando *batch-and-queue* com *one-piece flow*.



**Figura 2 – Diferenças no lead time de *Batch-and-Queue* e *One-Piece Flow***

*One-Piece Flow* é um dos conceitos-chave subjacentes ao *Lean Manufacturing*, na maioria dos casos, uma parte da cadeia de valor pode ser transformada numa operação de *one-piece flow*. Enquanto o *one-piece flow* não for atingido numa perspectiva da cadeia de valor, os fabricantes devem melhorar continuamente os seus processos de maneira a se aproximarem cada vez mais do verdadeiro fluxo unitário. Isto reduzirá os níveis de inventário, reduzirá o *lead time* de fabrico e melhorará os níveis de serviço ao cliente.

Os sistemas de produção podem ser classificados de acordo com o tipo de produtos produzidos (por exemplo discretos vs contínuos), os materiais utilizados (aço, plástico, etc.), o *layout* das instalações (funcional, células, linhas), as bases da competitividade (custo, qualidade, rapidez de entrega, performance, flexibilidade, inovação), o timing da produção (*engineer-to-order*, *make-to-order*, *make-to stock*) e por aí adiante. Uma das classificações mais úteis é a da matriz produto-processo, que sugere:

1. Um nº pequeno de sistemas de produção (ex: *Project*, *job shop*, *batch flow*, *line flow*, *continuous flow*).
2. Os sistemas de produção usam diferentes *layouts* e são apropriados para diferentes mixes e volumes de produtos;
3. Os sistemas de produção são limitados na competitividade dos *outputs* que podem gerar.

Comparando por exemplo os sistemas de produção, *batch flow* e *line flow*, vemos que nos primeiros há a produção de volumes médios de diferentes produtos, numa linha que está

organizada em células tradicionais. O fluxo do material dentro das células é inconstante e o fluxo entre as células geralmente segue tendências. Neste sistema de produção os *outputs* competitivos são os grandes níveis de flexibilidade e de inovação dos produtos. O sistema de produção em *line flow* produz grandes volumes de vários produtos, estando o equipamento organizado em linha tradicional. As operações são completadas a uma cadência constante a que se dá o nome de *cycle time*. Este sistema de produção gera como *outputs* competitivos, custos mais reduzidos e melhoria da qualidade dos produtos.

Diferentes sistemas de produção são usados em diferentes etapas do ciclo de vida dos produtos. Na fase de nascimento dos produtos, estes são produzidos em *job shops*. Na etapa de crescimento, a procura dos produtos aumenta rapidamente, sendo que a produção passa a ser realizada em *batch flow* e posteriormente em *line flow*, quando o design do produto estabiliza e o volume de produção é suficiente para se utilizar uma linha de produção dedicada. No passado, a produção em *batch flow* era geralmente, um sistema produtivo temporário e transitório entre *job shop* e *line flow*. Actualmente, o curto ciclo de vida dos produtos e a crescente personalização de alguns produtos, complica a transição da produção para *line flow*, tornando *batch flow* um sistema de produção permanente. Quando isto acontece, os clientes tendem a ficar insatisfeitos com os custos e a qualidade a que os produtos são desenvolvidos. De maneira, a tentar melhorar a competitividade dos *outputs*, chega-se ao sistema de produção *one-piece flow* (lote unitário), incorporando os princípios do *line flow* no sistema produtivo *batch flow*. Este novo sistema de produção permite produzir alguns produtos com volumes médios de produção, em equipamento organizado em células, em que o fluxo de material é regulado pelo *cycle time* e proporciona grandes níveis de flexibilidade e inovação dos produtos (típicos do sistema em *batch flow*) e baixos custos e boa qualidade destes *outputs* (típicos do sistema em *line flow*). (Miltenbug, 2001)

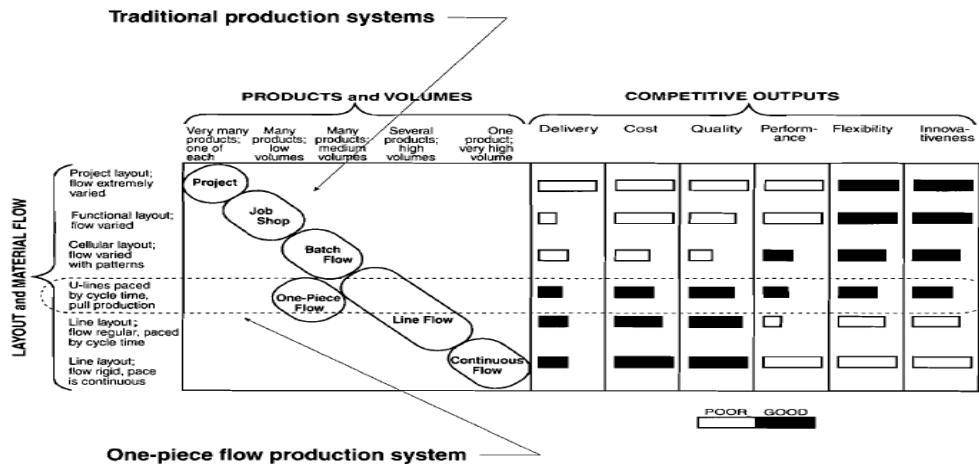


Figura 3 – Classificação dos sistemas produtivos

Determinar quando One-Piece Flow é apropriado

Askin e Standridge (1993, p. 11) sugerem que escolher entre os sistemas de produção *job shop*, *batch flow* e *line flow*, depende de 2 factores: (i) o nº de produtos e (ii) o volume a ser produzido. Então se *n* é o nº de produtos diferentes e *P* é o nº de unidades produzidas por hora, a regra de decisão é:

Se  $1 \leq n \leq 5$  e  $1 \leq P \leq 1000$  então deve-se utilizar o sistema produtivo em *line flow*.

Senão se  $5 \leq n \leq 100$  e  $1 \leq P \leq 50$  então deve-se utilizar o sistema produtivo em *batch flow*.\*

Senão se  $100 \leq n \leq +\infty$  e  $P \leq 1$  então deve-se utilizar o sistema produtivo em *job shop*.

\*A produção em *one-piece flow*, pode ser utilizada sempre, que a produção em *batch flow* é apropriada.

Sekine (1992, pp. 39-50) recomenda o desenho de um gráfico de Pareto do volume de produção (anual) de cada produto e observar o comportamento da distribuição, de maneira a determinar se deve ser utilizado o sistema produtivo *line flow* ou *one-piece flow*. A regra de decisão é então: desenhar o gráfico de Pareto do volume de produção de cada produto.

**Se** os primeiros 30 % dos produtos gerarem 70 % ou mais do volume total **então** deve-se usar o sistema de produção *line flow*.

**Senão se** os primeiros 40 % dos produtos gerarem 60 % ou mais do volume total **então** deve-se usar o sistema de produção em *one-piece flow*.

**Senão**, mais análises terão de ser efectuadas antes de se tomar uma decisão.

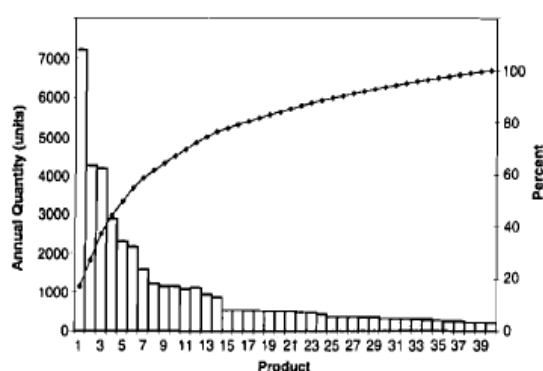


Figura 4 – Exemplo de um gráfico de Pareto

Em algumas empresas, tais como a *Caterpillar Co.* (Venkatesan, 1990), *SKF Bearing* e *J.I. Case* foram utilizadas versões de outra regra de decisão, que dizia que se devia atribuir produtos ao *job shop* quando o design dos produtos mudasse constantemente, a variabilidade da procura é alta e o tempo de produção requerido é baixo. Quando os tempos de produção e o tempo médio para completar uma operação são ambos elevados, deveria-se atribuir produtos ao *one-piece flow* e quando o tempo de produção requerido é elevado, os produtos deveriam ser atribuídos ao *line flow*. Esta regra de decisão, reconhece que muitas destes construtores usam mais do que um sistema de produção (provavelmente um em cada fábrica especializada).

Há 5 elementos que combinados fazem o *one-piece flow* distinguir-se dos demais sistemas de produção. Estes elementos são o *takt time*, *flow manufacturing* em linhas na forma de U, trabalho *standard*, controlo de produção *pull* e o *jidoka*.

Se um conjunto de processos é escolhido para se implementar o *one-piece flow*, então o próximo passo é implementar uma célula com *one-piece flow*.

O primeiro passo para implementar uma célula com *one-piece flow* é decidir quais produtos ou famílias de produtos irão para as células, e determinar o tipo de célula: produto – focado ou modelo misto. Para as células de produto - focado funcionarem correctamente, a procura precisa de ser suficientemente grande para um produto individual. Para as células de modelo misto funcionarem, os tempos de *setup* devem ser curtos. Normalmente diz-se que o tempo de *setup* tem que ser inferior ao *takt time*.

## 2.2.1 Takt time

A obtenção de dados quanto à procura do cliente é o ponto inicial do design e operação do sistema produtivo *one-piece flow*. O *takt time*,  $\hat{C}_i$ , para cada produto é calculado com base na análise da procura do mercado (produtos para os clientes, amostras, testes, aparas, etc.). *Takt time* é o intervalo máximo entre a obtenção de unidades consecutivas de um produto e assim que é calculado, pode ser alterado frequentemente. Por exemplo, a Toyota em cada mês analisa a procura dos clientes e calcula os *takt times* dos seus produtos. Em algumas empresas, alterações na procura de mercado de +/- 20 % são ajustadas recorrendo ao *overtime*, férias, etc., de maneira a que o *takt time* não se altere. Quando as variações são grandes, os *takt times* são recalculados. Assim que o *takt time* é calculado, é estabelecido o *cycle time*. O *cycle time*,  $C_i$ , é o intervalo actual entre a consecução de unidades consecutivas do produto  $i$ . Então  $C_i \leq \hat{C}_i$ , sendo que o objectivo do sistema de produção *one-piece flow* é  $C_i = \hat{C}_i$ , para cada produto  $i$ . (Miltenburg, 2001)

### 2.2.2 Flow manufacturing em sistemas produtivos em forma de U

Os *layouts* das linhas devem ser apropriados para o sistema de produção que está a ser utilizado, sendo o objectivo criar um *layout lean*. Usando os princípios dos 5S, (eliminar todos os objectos que não são necessários e colocar todos os objectos / equipamentos / materiais que são necessários nos seus pontos de utilização na sequência devida) deve-se desenhar o *layout*. O espaço entre os processos numa célula com *one-piece flow* deve ser limitado para eliminar desperdícios de movimento e prevenir a acumulação indesejada de *wip*. No *one-piece flow*, as linhas de produção são em U, a produção é limitada por um determinado *cycle time* e é utilizado um sistema de controlo de produção *pull*. De referir que as linhas em U são algumas vezes utilizadas noutros sistemas produtivos (Irani, 1999). Nas linhas produtivas em U, as máquinas / postos de trabalho são alocadas pela ordem em que são realizadas no produto, sendo que preferencialmente, o lado mais estreito de cada máquina está mais próximo da curva em U. Os operadores trabalham por dentro da linha em U, de maneira a que caso seja necessário se possam ajudar mutuamente, sendo que normalmente existe um operador que supervisiona a entrada e a saída da linha. O fluxo do produto e por consequente o movimento do operador pode ser no sentido do relógio ou no sentido contrário. À medida que se acaba um produto, há um conjunto novo de material a ser introduzido na linha, sendo que o tempo que medeia estes acontecimentos é o *cycle time*. Existe no máximo uma unidade de *wip* em inventário em cada máquina / posto de trabalho na linha. A linha em U tem de ser suficientemente flexível, de maneira a permitir que os operadores possam ajudar os outros quando estão sem fazer nada e permitir a introdução de operadores extra quando há um acréscimo do *output* requerido. (Miltenburg, 2001)

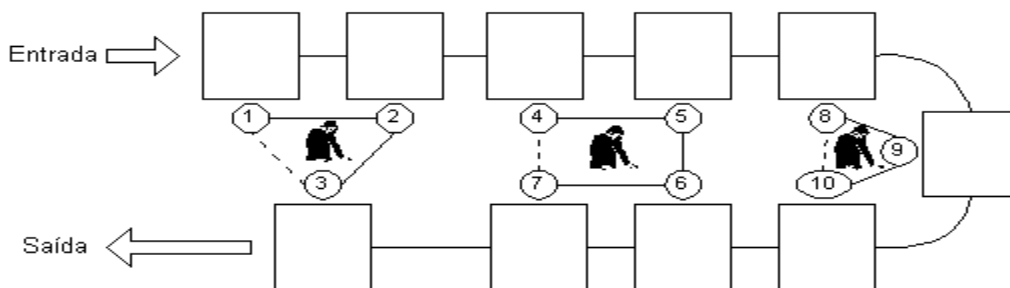


Figura 5– Esquema de alocação de operários na célula. [Monden 84]

As linhas em U trabalham nos seguintes 3 modos: *chase*, *fixed stations* e *overlapping stations*. No modo *chase*, o operador leva o produto à linha inteira. Nas linhas que funcionam em modo

*fixed station*, as operações estão agrupadas em *workstations*, sendo que em cada uma delas se encontra um operador. No modo de *overlapping stations*, algumas operações são atribuídas a estações adjacentes e os operadores nesses postos de trabalho ajudam-se mutuamente para completar essas operações. O modo *chase* pode também ser utilizado com mais do que um operador, no entanto neste caso é mais comum utilizar-se *fixed* ou *overlapping stations*. Por exemplo, para Briggs e Stratton “as células são desenvolvidas de maneira a que os postos de trabalho estejam próximos, de maneira a que se houver apenas um operador este possa desempenhar as suas funções no modo chase. Se o volume de produção ditar duas ou três pessoas por célula, então podem continuar o método chase ou então subdividir a célula de maneira a cada pessoa efectue apenas algumas operações” (Edwards, 1993).

**2.2.3 Normas de trabalho**

As normas de trabalho descrevem como os operadores e as máquinas interagem para produzir um produto. Documenta a sequência operador-trabalho, máquina-trabalho e operador-movimento que é necessária para produzir uma unidade do *output* desejado. Estas normas de trabalho definem então o *cycle time*, permitindo um estudo constante das melhorias que podem ser implementadas. Um princípio destas normas é que o operador-trabalho e máquina-trabalho estejam separados, de maneira a que as máquinas possam trabalhar “sozinhas”. (Miltenburg, 2001) Outro princípio é que o operador-trabalho é mais importante do que a máquina-trabalho, o que significa que a grande utilização dos operadores é mais importante que a grande utilização das máquinas. (Nikkan Kogyo Shimbun, 1991a, p. 62)

Deve-se então determinar os elementos de trabalho e de tempo necessários para fazer uma peça. Em detalhe, deve-se listar cada etapa e o tempo associado à mesma, devendo-se retirar separadamente diversos tempos das operações e usar o tempo frequente mais baixo.

Por fim, deve-se verificar se o equipamento que vai ser utilizado pode corresponder ao *takt time*. Estas considerações correspondem aos tempos de *setup*, tempos de carregamento/descarregamento e tempos de avaria. (EMS Consulting Group, 2007)

As fichas de trabalho das operações são usadas para especificar as normas de trabalho.

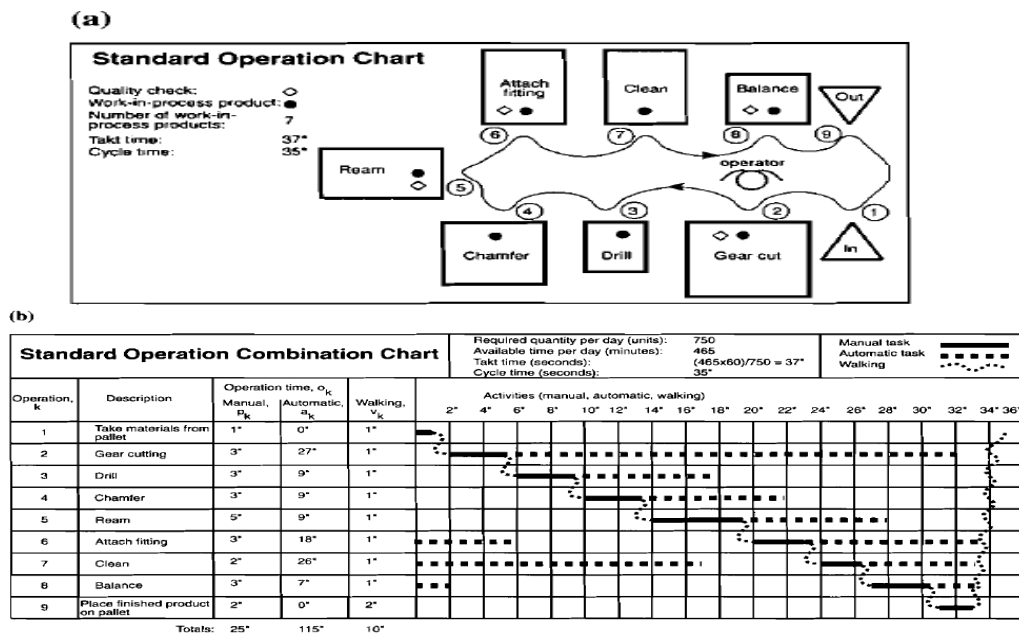


Figura 6 – (a) *standard operation chart*; (b) *standard operation combination chart*

Uma mudança no *takt time* pode levar a uma alteração do *cycle time*, modificando assim, também as normas de trabalho. Como tipicamente, as fábricas têm muitas linhas em U, as normas de trabalho são realizadas mais facilmente pelos operadores, de preferência os mais experientes, em detrimento dos engenheiros industriais (Hall, 1998).

Desenvolver uma linha em U requer: (i) seleccionar o modo de trabalho; (ii) atribuir as operações às localizações à volta da linha em U (estações), sabendo se trata-se de *fixed stations* ou *overlapping stations*; e (iii) se a linha em U produz mais do que um produto, deve-se seleccionar a sequência na qual os produtos vão ser fabricados. (Miltenburg, 2001)

Existem 2 restrições à atribuição de operações a localizações na linha em U. A primeira é que esta atribuição deve satisfazer quaisquer requisitos tecnológicos que existem para produzir o produto. Estes são especificados como restrições de precedência na ordem em que as operações devem ser completadas. A segunda restrição diz respeito ao trabalho neste tipo de linha em *fixed stations* ou *overlapping stations*. Nestes casos, a atribuição deve permitir também que as operações sejam agrupadas num número mínimo de estações. (Miltenburg, 2001)

As linhas em U devem ser desenhadas, com o rebalanceamento em mente, visto que caso o balanceamento da linha obtido não seja muito eficiente, pode-se sempre recorrer a outras regras de decisão melhores para a situação em questão. “*Contudo, a coisa mais importante é decidir como o equipamento pode ser adicionado ou removido da linha no futuro de maneira a lidar com aumentos ou diminuições na procura dos produtos. O mesmo se aplica aos operadores. Pode ser difícil pensar em termos de duplicar ou triplicar o nº de operadores que se tem, mas mudanças de 20 ou 50 % podem ter de ser implementadas no dia-a-dia*” (Nikkan Kogyo Shimbun, 1991b, p. 23).

A procura do mercado não se mantém para sempre, por isso quando isso acontece, uma série de acontecimentos são despoletados. O *takt time* pode mudar, podendo assim alterar o *cycle time*, que podem alterar as normas de trabalho, podendo obrigar a um rebalanceamento das linhas em U. Rebalancear uma vez por mês é comum (Monden, 1983; Hall, 1988). Um fabricante dos EUA rebalanceia as suas linhas todas as semanas (Conti, 1996). Rebalancear pode envolver: (i) adição de operadores para aumentar o *output* ou a remoção de operadores para diminuir o *output*; (ii) deslocação das máquinas; e (iii) mudar as normas de trabalho. O ponto (i) é mais fácil quando os operários sabem desempenhar várias tarefas: “*flexibilidade também torna a adição ou subtracção de trabalhadores da célula mais fácil à medida que a procura se altera.*” (Anon, 1988). Quanto ao ponto (ii) é mais fácil quando se colocam rodas se possível, às máquinas e às mesas de trabalho de maneira a tornarem-se facilmente móveis. (Miltenburg, 2001)

#### **2.2.4 Controlo de produção pull**

A produção em U geralmente começa quando um “utilizador” sinaliza, o requerimento por produtos, normalmente mais próximo do ponto de venda do que do ponto de produção. Estes sinais tomam a forma de cartões *kanban*, “quadrados” *kanban*, contentores reutilizáveis, *kanbans* electrónicos, etc. Por exemplo, os “quadrados” *kanban* são áreas limitadas de armazenamento de *outputs*, que são colocadas entre um “produtor” e o “utilizador”. O “utilizador” retira os *outputs* dos “quadrados” *kanban* e o “produtor”, produz *output* enquanto existem “quadrados” *kanban* vazios onde coloca o material. Um tipo de *kanban* electrónico chamado *Faxban* foi usado no início da década de 90 na Zytec Co., fabricante de fontes de electricidade, usados em produtos de alta tecnologia, fazendo *pull* para os seus fornecedores através de fax.

Os “utilizadores” (começando pelo cliente final) puxam os produtos ao longo do sistema de produção. Quando o *cycle time* é aproximadamente igual ao *takt time*, estes sinais *pull* devem ocorrer uniformemente ao longo do tempo, senão ocasionalmente as quantidades desejadas pelos “utilizadores” excederão aquilo que os “produtores” podem fazer, causando assim défices e disfunções de produção. Isto é conseguido através do nivelamento do planeamento da produção à última linha produtiva, que geralmente é a linha de montagem final. (Miltenburg, 2001)

### 2.2.5 *Jidoka*

O fluxo de produção em U e os elementos de controlo de produção *pull* obrigam à existência de práticas adequadas de Qualidade. Como os produtos são produzidos um de cada vez e apenas o nº de unidades encomendadas pelos clientes são fabricados, um único produto defeituoso lança o caos na produção. Neste ambiente, o único método de controlo de qualidade eficiente é automático, inspeccionando cada produto à medida que se move na linha em U.

*Jidoka* é o nome dado a este método de controlo de qualidade. Significa atribuir à linha a capacidade de reconhecer que algo correu mal e parar a produção de maneira a que o problema possa ser corrigido, de maneira a não haver repetição deste erro. O mecanismo *Jidoka* permite às máquinas pararem quando (i) existe um problema de qualidade; (ii) ocorre uma avaria das máquinas; ou (iii) a produção está completa. *Jidoka* é também chamado de autonomização, que significa “automatização com um toque humano” e implica que as máquinas tenham a habilidade humana de detectar quando algo está errado. Este sistema é ainda mais importante em linhas em U que produzem mais que um produto, porque os operadores cometem mais erros quando produzem mais do que um produto. (Miltenburg, 2001) A linha em forma de U ajuda quando estes problemas ocorrem visto que “os trabalhadores estão fisicamente mais próximos e trabalham juntos como equipa. Eles verificam o trabalho uns dos outros e discutem problemas que entretanto surgem, bem como as peças que precisam de ser retrabalhadas, enviando-as imediatamente para a estação que causou o problema, levando à discussão e diagnóstico dos trabalhadores, que lhes permite encontrar a solução” (Anon, 1988).

*Poka-Yoke*, ou dispositivos à “prova de erros” é uma excelente ferramenta para assegurar que o *jidoka* se encontra em funcionamento. Esta é uma abordagem mais proactiva para prevenir o aparecimento de defeitos durante o fabrico (Shingo & Dillon, 1986), que modifica o design do item produzido de maneira a que as partes só possam ser montadas de uma maneira. Esta metodologia, habitualmente de baixo custo, proíbe o processamento do produto se os componentes foram incorrectamente montados, tendo grande eficácia para processos de montagem onde um componente é adicionado ao produto, em qualquer instante de tempo. O uso destas estratégias é particularmente efectivo, em situações em que há muitas tarefas repetitivas na montagem. Estas ferramentas, por natureza, são visuais e práticas e podem ser imaginativas, inovadoras e baratas de serem implementadas. (Hong et al, 2007)

Segundo Shingo (1996, p.55), inspecção sucessiva, auto-inspecção e inspecção na fonte podem ser todas alcançadas através do uso de métodos *poka-yoke*. Se a inspecção sucessiva detecta defeitos depois de eles ocorrerem, então não é a maneira mais eficaz de eliminar os defeitos naquele processo específico, devendo-se utilizar outro sistema.

A inspecção é o objectivo, enquanto o *poka-yoke* é simplesmente o método. Por exemplo, um gabarit que rejeita uma peça processada incorrectamente é um *poka-yoke* que desempenha a

função de inspecção sucessiva. O *poka-yoke* possibilita a inspecção 100% através do controlo físico ou mecânico.

As figuras seguintes ilustram, esquematicamente, as funções dos dispositivos *poka-yoke* e alguns exemplos aplicativos de utilização desses dispositivos. Em relação a essas funções, os dispositivos *poka-yoke* podem usar os seguintes métodos que têm como principais objectivos dentro de um sistema de fabrico:

1. Método de controlo: são métodos que, na ocorrência de anormalidades, paralisam o equipamento ou interrompem a operação, evitando, assim, a ocorrência ou reincidência de defeitos.
2. Método de alerta: são métodos que, na ocorrência de anormalidade, activam sinais luminosos ou sonoros de alerta, indicando a necessidade de providências sem, contudo, paralisar o equipamento ou interromper a operação.
3. Métodos de posicionamento: elaboração de dispositivos que permitem a condução da operação somente quando do posicionamento correcto do conjunto de elementos nela envolvidos, impedindo fisicamente que o conjunto seja montado de forma inadequada.
4. Métodos de contacto: estão baseados na liberação da condução de uma operação a partir do contacto de sistemas de sensores que indicam condição adequada para operação.
5. Métodos de contagem: por meio da contagem de elementos, verificam as características de conformidade do conjunto, alertando no caso de detecção de anormalidades e impedindo a continuidade da operação.
6. Métodos de comparação: utilizando dispositivos que possibilitem comparação de grandezas físicas (temperatura, pressão, torque, etc.), impedem a continuidade da operação aquando da detecção de anormalidades. (Calarge e Davanso, 2004)

Fig. 2. Esquematisação das funções dos dispositivos Poka Yoke (Moura & Banzato, 1996).

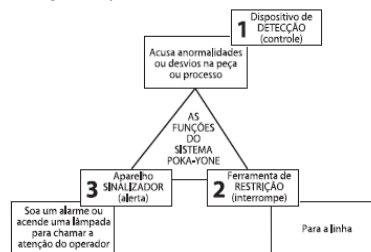
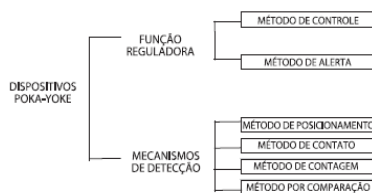


Fig. 3. Métodos de atuação dos dispositivos Poka Yoke (Moura & Banzato, 1996).



REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA • v. 11, nº 21 – pp. 7-18

Tab. 2. Exemplos aplicativos da utilização de dispositivos Poka Yoke (Imam, 1998)

	<p><b>MÉTODO DE POSICIONAMENTO</b> Uma determinada peça pode ser montada em posições diferentes, mas apenas uma posição é correta. Assim foi instalado um pino de Interferência para que não seja possível montar a peça em outras posições. O pino de Interferência é um Poka Yoke de posicionamento evitando assim que por distração ou qualquer outro motivo o operador monte a peça invertida e esta chegue ao cliente.</p>
	<p><b>MÉTODO DE CONTATO</b> Uma chapa pode ser soldada a uma peça em posições diferenciadas, mas apenas uma posição é a correta. Assim foi instalado uma cunha com sensor que identifica se a peça está na posição correta. A cunha com sensor é um Poka Yoke, pois se a peça a ser soldada não estiver devidamente posicionada fazendo o contato com o sensor, o mesmo não libera a máquina de solda.</p>
	<p><b>MÉTODO DE COMPARAÇÃO</b> Parafusadeira não garante torque especificado devido à variação da pressão de ar na linha de montagem. Instalado um medidor de pressão, que mede a variação de pressão da linha e compara com a pressão especificada mínima e máxima. O medidor é um Poka Yoke, pois se a pressão de ar cai durante a aplicação do torque na linha ele faz soar uma campainha, acende a lâmpada e trava o carro transportador da linha, até que seja aplicado novamente o torque especificado na peça.</p>

Figura 7 – Funções dos dispositivos *poka-yoke* e exemplos aplicativos da utilização destes dispositivos

### 2.3 Análise comparativa de abordagens existentes de atribuição de operações a estações e das suas vantagens e inconvenientes

A Programação linear inteira (Urban, 1998; Scholl e Klein, 1999) e a programação dinâmica (Miltenburg e Wijngaard, 1994; Miltenburg, 1998) são duas abordagens de modelos que podem ser utilizadas para atribuir operações a localizações e atribuir operações a estações. O modelo de programação linear inteira não tem em consideração a distância percorrida entre os postos e por isso pode não conseguir encontrar o melhor design da linha em U, não conseguindo também gerar soluções óptimas alternativas. O modelo de programação dinâmica, já inclui estes deslocamentos, podendo assim facilmente gerar soluções óptimas alternativas. (Miltenburg, 2001)

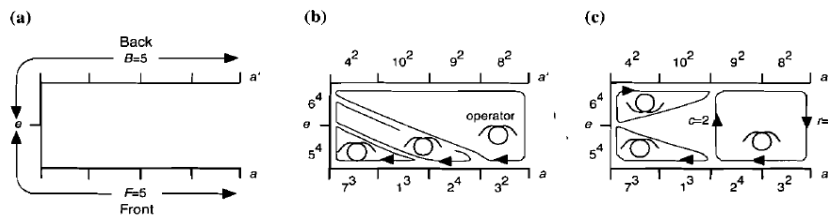


Figura 8 – (a) Linha em U; (b) a Solução PLI; e (c) a solução com o mínimo de distância possível

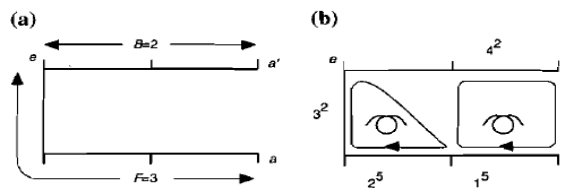


Figura 9 - Solução PD: (a) Linha em U; e (b) solução óptima

Como há vários produtos que são produzidos numa mesma linha e com a constante entrada / saída de novos produtos no mercado, os tempos de operação variam de produto para produto e de operador para operador. A maneira mais fácil de modelar esta situação, é atribuir aos tempos das operações o carácter estocástico (Nakade e Ohno, 1997). Então algumas pequenas linhas podem ser modeladas como cadeias de Markov e as restantes com o recurso à simulação. (Miltenburg, 2001)

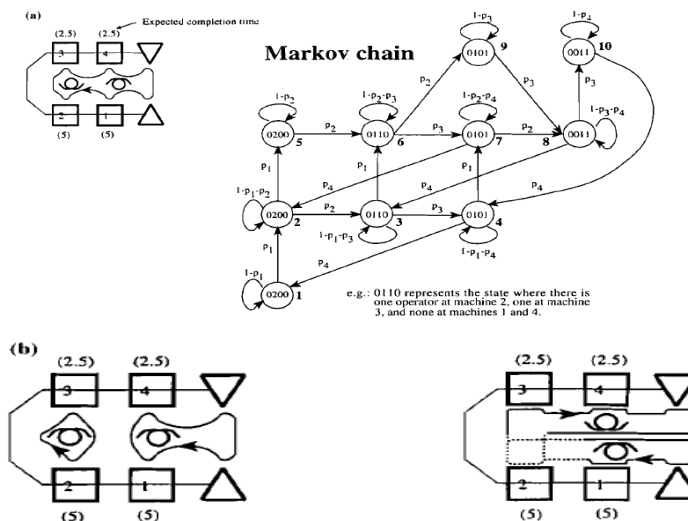


Figura 10 – a) Modo “Chase”; e (b) Modo “Fixed Stations” e Modo “Overlapping Stations”

### **3 Descrição do processo produtivo e das necessidades de produção dos *sidemarkers***

Este capítulo começa por fazer um diagnóstico do processo produtivo de um *sidemarker*, através da descrição dos fluxos dos materiais e de informação relacionados. Descreve-se o sistema de produção em vigor na linha dos *sidemarkers* assim como o respectivo ambiente produtivo, em que se faz uma análise da mão-de-obra disponível e dos métodos de trabalho.

Foi necessário fazer-se um levantamento das encomendas recebidas no período prévio ao início do projecto, de maneira a descobrir quais os modelos e referências mais produzidas para se saber quais os principais modelos de *sidemarkers* a serem alvo de um estudo mais aprofundado, ao longo deste relatório. Realizou-se também um estudo da evolução das quantidades encomendadas ao longo do período do projecto, de maneira a saber se os modelos escolhidos como principal alvo de atenção eram os mais indicados e se outros modelos pelas eventuais grandes quantidades produzidas, poderiam ser um novo foco de estudo.

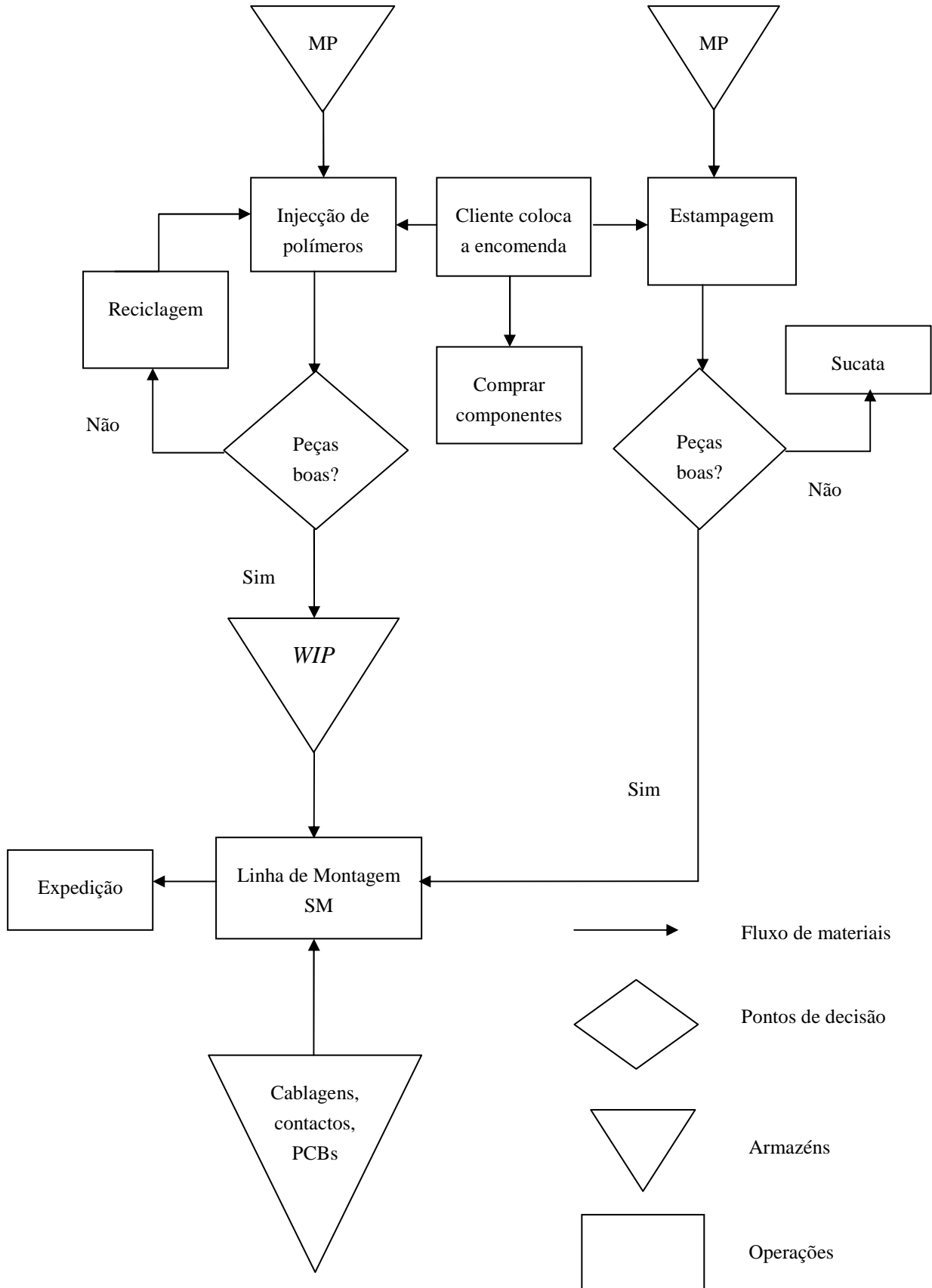
Por fim, realizou-se a análise ao requisito de Askin e Standridge, assim como o de Sekine, que haviam sido referidos no capítulo 2, de maneira a provar que a linha de montagem dos *sidemarkers*, tinha condições para operar em *one-piece-flow*. Se tal não for possível deve-se optar por lotes produtivos maiores (*line flow*), em detrimento do sistema produtivo *batch flow*, em vigor na empresa.

#### **3.1 Caracterização do sistema de produção e respectivos fluxos de materiais / informação na linha dos *sidemarkers***

O sistema de produção em vigor na linha dos *sidemarkers* é o pull, visto que apenas é dada a ordem de produção das quantidades das matérias-primas de produção interna, bem como da compra de material necessário aos fornecedores, após terem sido recebidas as encomendas. Com este sistema produtivo, obtêm-se vantagens como o foco no consumo, no final da cadeia produtiva, evitam-se produções desnecessárias e proporcionam uma maior facilidade de eventos de melhoria contínua.

Após a recepção da encomenda é emitida uma ordem de fabrico (OF) (ver Figura B1 do Anexo B), com os materiais necessários à produção do respectivo *sidemarker* encomendado, de maneira a darem-se as respectivas ordens de produção nos diversos centros de trabalho, neste caso da secção de estampagem e de injeção. Assim, que as matérias-primas forem produzidas, são colocadas em armazém, até serem necessárias na linha de montagem dos *sidemarkers*. Assim, que os materiais vêm para a linha acompanhados da respectiva ordem de fabrico, dá-se o início da produção.

De seguida, apresenta-se um fluxograma do processo produtivo típico de um *sidemarker*, que descreve o “caminho” que os componentes necessários para a montagem de um *sidemarker* “tomam” antes de chegarem à linha.



**Figura 11 – Fluxo produtivo típico de um sidemarker**

De referir que o ambiente produtivo em vigor, era o de sistema de produção em lotes (*batch flow*), em que na impossibilidade de determinar com precisão a dimensão dos lotes

produzidos, que a dimensão do lote que passava por cada uma das operações do respectivo processo produtivo, correspondia à produção semanal média. Com este sistema produtivo, obtiam-se valores de *wip* bastante elevados causando uma má utilização do espaço interior da linha, devido à acumulação do material.

Então, numa situação inicial a montagem dos diversos modelos era realizada em diversos locais, à excepção do processo de resinagem devido à localização fixa da máquina de resina / cola. Não havia portanto, uma normalização das tarefas, que determinava que estas tinham de ser efectuadas em determinado local. Normalmente, existiam 2 operários na linha, a realizar as operações consecutivamente, ou mesmo paralelamente, sendo que sempre que havia urgência nos prazos de entrega das encomendas, normalmente à 6ª feira, (dia da expedição), eram colocadas mais pessoas a efectuar as operações na linha de montagem, de maneira à encomenda ser entregue a tempo. Acontecia muitas vezes, estar um operador a resinar o *sidemarker Omega* e simultaneamente o outro operador começar a efectuar a montagem de um *sidemarker Zeta*, por exemplo, devido à falta de material, nomeadamente, vidros para se poder efectuar a operação de soldadura (seguinte à resinagem).

Devido ao sistema produtivo *batch flow*, o que acontecia era que o *lead time* era muito grande, sendo que normalmente só mais para o final da semana é que se começavam a obter os primeiros produtos finais. Segundo dados recolhidos no *Syteline*, sistema de informação da empresa, o nº médio de dias das encomendas no sistema (desde a recepção da encomenda até à expedição), ou seja o *lead time*, evoluiu favoravelmente de 36 dias no período histórico de encomendas para ambos os modelos *Omega* e *Zeta*, para 15 e 21 dias, respectivamente, durante o período do projecto, reflectindo assim as melhorias que iam sendo implementadas no sistema produtivo. Com o funcionamento do processo produtivo em *line flow*, admite-se que estes valores ainda possam baixar mais, como é esperado.

## 3.2 Análise de Pareto às encomendas dos *sidemarkers*

### 3.2.1 Período Histórico (13-11-2007 até 23-01-2009)

Fazendo uma análise ao histórico das encomendas dos *sidemarkers*, no período compreendido entre 13-11-2007 (1ª encomenda recebida) e 23-01-2009 (última encomenda antes do início do projecto de dissertação), (ver Figura D1 e Tabela D1 do anexo D) conclui-se que o modelo *SM (Sidemarker) Omega* é o que tem maior quantidade encomendada, sendo responsável por 68,93% da produção, graças a 10,65% do total de referências do catálogo destes artigos que eram encomendadas. Ou seja, conclui-se que este modelo vai ser o que vai ser alvo de uma análise mais aprofundada ao longo desta dissertação. De salientar também, quantidades elevadas de *SM Beta* e *SM Minipoint* encomendados, que suporiam que se analisasse as operações responsáveis pela montagem destas referências, mas ao longo do período de estudo da linha dos *sidemarkers*, houve uma quebra brutal de produção dos modelos *Beta*, directamente relacionado com a falta de encomendas por parte da *Herth+Buss GMBH & Co. Kg*, que tinha encomendado 70% dos *SM Beta* até à data. Quanto aos *SM Minipoint*, estes deixaram de ser fabricados, devido à obsolescência do produto. Então o outro modelo que foi analisado mais em pormenor foi o *SM Zeta*, visto que era o 4º mais produzido e correspondia a 6,51% do total de referências do catálogo destes artigos que eram encomendadas. Outro motivo que pesou na opção do *SM Zeta* como um alvo de estudo mais aprofundado, foi o facto do *SM Lambda* ter operações idênticas a este modelo, diferindo apenas nas dimensões da blindagem correspondente, nomeadamente a forma, a distância entre os furos da blindagem, que não permite que estes produtos possam ser resinados no mesmo gabarit das referências *Zeta*, sendo que o programa CNC desenvolvido para os *Lambda* teria que ser

diferente, visto que embora o led dos *Zeta* seja o mesmo do *Lambda*, o espaço onde este é introduzido, é menor. Na Tabela 2, encontram-se os resultados mais significativos da análise de Pareto ao histórico das encomendas.

**Tabela 2 – Quantidade encomendada vs N° de referências encomendadas dos *SM Omega* e *SM Zeta* (Histórico)**

	Quantidade encomendada	% acumulada	N° de referências encomendadas	% acumulada (N° de referências =169)
<i>SM Omega</i>	34333	68,93	18	10,65
<i>SM Zeta</i>	1824	72,59	11	17,16

Fazendo-se uma análise aos clientes mais importantes neste período prévio ao projecto de dissertação, conclui-se que estes eram a Pro Plast, a Herth+Buss GMBH & Co. Kg e Moroni Cesare & C.S.N.C., que correspondiam a 33,32 %, 30,81 % e 23,44 %, respectivamente, da facturação total destes produtos.

Os modelos mais lucrativos à empresa eram o *SM Omega*, *SM Beta* e o *SM Zeta* que apesar de ser menos produzido que o *SM Minipoint*, tinha um preço unitário de venda superior. A facturação destes produtos correspondia a 72,58 %, 19,09 % e 3,59 %, respectivamente, do montante total ganho com a venda dos sidemarkers. (Para mais pormenores ver Figura D2 e Figura D3 do anexo D)

### 3.2.2 Período Projecto (02-02-2009 até 17-06-2009)

Fazendo uma análise às encomendas dos sidemarkers recebidas / produzidas, no período compreendido entre 02-02-2009 e 17-06-2009 (último dia de análise na empresa), (ver Figura D4 e Tabela D2 do anexo D) conclui-se que os modelos *SM Omega* e *SM Zeta* são os que têm maior quantidade encomendada, sendo responsáveis por 82,41 % da produção, graças a 18,93 % do total de referências do catálogo destes artigos que eram encomendadas. De salientar também, números elevados de *SM Psi* encomendados, com 3400 unidades, com apenas 7 encomendas deste produto, tratando-se assim de encomendas de grande dimensão, que pressupõem que o modelo *Psi*, num futuro próximo seja alvo de uma análise mais aprofundada. Na Tabela 3, encontram-se os resultados mais significativos da análise de Pareto às encomendas, durante o período do projecto de dissertação.

**Tabela 3 - Quantidade encomendada vs N° de referências encomendadas dos *SM Omega* e *SM Zeta* (Período do Projecto de Dissertação)**

	Quantidade encomendada	% acumulada	N° de referências encomendadas	% acumulada (N° de referências = 169)
<i>SM Omega</i>	19810	68,74	19	11,24
<i>SM Zeta</i>	3940	82,41	13	18,93

Fazendo uma análise aos clientes, durante este período, descobriu-se que os clientes mais rentáveis foram a Pro Plast, a Moroni Cesare & C.S.N.C. e a Ermax A/S que correspondiam a 44,21 %, 21,75 % e 15, 12 %, respectivamente, da facturação total destes produtos.

Os modelos mais lucrativos à empresa foram durante estes meses, o *SM Omega*, *SM Zeta* e o *SM Psi*. A facturação destes produtos correspondia a 70,7 %, 13,22 % e 11,26 %, respectivamente, do montante total ganho com a venda dos sidemarkers. (Para mais pormenores ver Figura D5 e Figura D6 do anexo D)

### 3.3 Determinar quando o *One-Piece Flow* é apropriado

Analisando a linha de montagem dos *sidemarkers*, chega-se à conclusão que se produzem 2 produtos diferentes nesta linha: os vários modelos de *sidemarkers* (*Omega, Psi, Zeta, Kappa, Lambda, Amber, Beta*), que se consideram como um produto, visto que todos eles têm processos em comum, (montagem, teste eléctrico, resinagem, soldadura, embalagem) e os farolins de autocarro, que sofrem a operação de cola, na mesma máquina que deposita resina nos *sidemarkers*, ambas num ambiente produtivo em *batch flow*. Então, temos que segundo Askin e Standridge (1993, p. 11), um nº de produtos,  $n = 2$ , temos que com uma produção horária superior a 50 peças, deve-se optar pelo sistema produtivo em *line flow*, obrigando assim à implementação de um *layout* em U para poder funcionar correctamente.

Segundo a análise de Pareto do histórico das encomendas, conclui-se que o produto mais encomendado é o modelo *Omega*, sendo que a quantidade encomendada corresponde a 68,93% do volume total, sendo que corresponde a 33,96% das referências encomendadas, cumprindo assim o requisito de Sekine, para a linha poder operar em *one-piece flow*, que como se irá ver adiante não será possível implementar, optando-se por lotes de produção maiores.

### 3.4 Conclusões

Conclui-se assim, que os modelos de *sidemarkers* a serem alvo de um estudo mais aprofundado, das operações necessárias ao seu fabrico e conseqüente balanceamento operacional num ambiente produtivo de *line flow* serão os modelos *SM Omega* e *SM Zeta*. (ver Figura A1 e Figura A2 do anexo A). Então, o próximo capítulo explicará melhor as operações necessárias ao fabrico de um *sidemarker* (montagem, teste eléctrico, resinagem, secagem, soldadura e embalagem), assim como as evoluções registadas nestas, com o desenrolar do projecto.

#### 4 Evolução das Operações *SM Omega* / *SM Zeta*

As variantes *SM Omega* e *SM Zeta*, foram então alvo de estudo pormenorizado, de maneira a identificarem-se oportunidades de melhoria nos *cycle times* das suas operações, eliminando-se todas as tarefas desnecessárias, ou que não acrescentavam qualquer tipo de valor ao produto final. Estes modelos têm em comum a operação de montagem, teste eléctrico, resinagem, soldadura e de embalagem, que irão ser descritas em pormenor de seguida. Os fluxogramas das operações podem ser consultados mais pormenorizadamente, na Figura G1 e Figura G2 no anexo G.

Baseado nos estudos e na experiência de Benjamin Niebel (Chase et al, 2006), encontrou-se o número necessário de observações das operações a serem efectuadas que é dado em função do tempo de ciclo e da quantidade de repetições da operação no período de um ano. (ver Tabela C1 do anexo C)

Procedeu-se então à cronometragem das operações, que se registaram em “*templates*” criados para o efeito (ver Tabela B1 do Anexo B) onde constavam os tempos de todas as tarefas efectuadas nos diferentes postos, para posteriormente num estudo teórico baseado na documentação existente prever os novos tempos das operações. Dos modelos estudados, *SM Omega* e *SM Zeta*, recolheram-se as 24 e 18 amostras de tempo mais baixas, respectivamente, em todas as operações necessárias até se obter o produto final. Este nº de observações de tempo correspondia à capacidade dimensionada dos gabarits da operação de resinagem de cada modelo. O levantamento dos *cycle times* permitiu identificar diversos *bottlenecks*, bem como a recolha de aspectos e anotações importantes, apenas possíveis pela observação do processo produtivo.

Devido às variantes existentes em algumas operações, em que alguns modelos *SM Omega* não necessitavam de algumas tarefas, como no caso de haver ou não suporte de fixação rápida e ao tempo variável de algumas operações, sobretudo causada por comprimentos de cablagem variáveis, houve a necessidade de, numa fase prematura deste projecto, separar estes *SM* em 7 variantes diferentes de forma a poder analisar-se o tempo total requerido para a montagem de cada uma destas:

a1) Cablagens de comprimento  $0,5 < x \leq 1,5$  metros & s/ suporte de fix. Rápida;

Ex: FR5015 - SM OMEGA AMB. CABO 1,5 Mt (HZ)

a2) Cablagens de comprimento  $1,5 < x \leq 5$  metros & s/ suporte de fix. Rápida;

Ex: FR5028 - SM OMEGA CRIST. CABO 5 Mt PAP

a3) Cablagens de comprimento  $5 < x \leq 10$  metros & s/ suporte de fix. Rápida;

Ex: FR5040 - SM OMEGA AMB. CABO 10 Mt ERMAX

b) Cablagens de comprimento  $\leq 0,5$  metros & s/ suporte de fix. Rápida;

Ex: FR5008 - SM OMEGA CRIST. CABO 0,5 Mt

c1) Cablagens de comprimento  $0,5 < x \leq 1,5$  metros & c/ suporte de fix. Rápida;

Ex: FR5018 - SM OMEGA AMB. CABO PLN 1,3 Mt FIX. RÁPIDA

c2) Cablagens de comprimento  $1,5 < x \leq 5$  metros & c/ suporte de fix. Rápida;

Ex: FR5030 - SM OMEGA CRIST. CABO PLN 5 Mt FIX. RÁPIDA PAP

d) Cablagens de comprimento  $\leq 0,5$  metros & c/ suporte de fix. Rápida.

Ex: FR5022 - SM OMEGA VERM. CABO PLN 0,3 Mt FIX. RÁPIDA PAP

Com a externalização da operação “enrolar a cablagem com elástico” para a Pameltronic, Lda., com a passagem da operação da “colocação da manga de fix. Rápida no conector” para a fase da montagem, ao invés da embalagem, não havendo o desperdício de tempo do “retrabalho” na peça, com a eliminação de algumas tarefas que não tinham qualquer tipo de valor acrescentado e com a reengenharia de alguns processos, basta considerar as seguintes variantes do *SM Omega*:

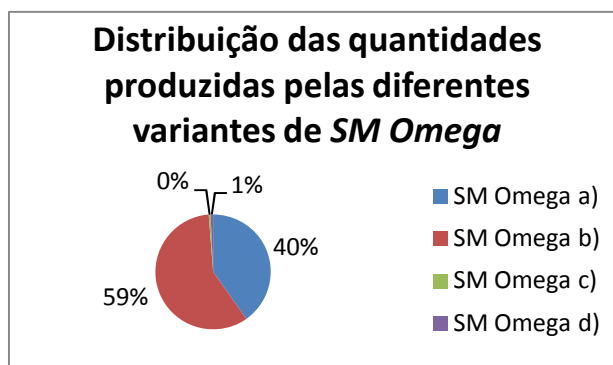
a) Cablagens de comprimento  $> 0,5$  metros & s/ conector de fix. Rápida;

b) Cablagens de comprimento  $\leq 0,5$  metros & s/ conector de fix. Rápida;

c) Cablagens de comprimento  $> 0,5$  metros & c/ conector de fix. Rápida;

d) Cablagens de comprimento  $\leq 0,5$  metros & c/ conector de fix. Rápida.

De acordo com o seguinte gráfico, as variantes a) e b) foram as mais produzidas durante o período do projecto de dissertação.



**Figura 12 – Distribuição das quantidades produzidas pelas diferentes variantes de *SM Omega***

Devido às variantes existentes em algumas operações, em que alguns modelos *SM Zeta* não necessitam de algumas tarefas, como no caso de haver ou não tampa de fixação rápida, a variação de tempo de algumas operações, sobretudo causada por comprimentos de cablagem variáveis e a necessidade de colocar um suporte acoplado ao *sidemarker* houve a necessidade de os separar em 7 variantes diferentes:

a) c/ conector de fix. Rápida & cablagem de comprimento  $> 0,5$  metros & s/ suporte

Ex: FR5201 - SM ZETA CRIST. C/ REFL. CABO P&G 1,5 Mt

b) c/ conector de fix. Rápida & cablagem de comprimento  $\leq 0,5$  metros & s/ suporte

Ex: FR5220 - SM ZETA AMB. S/ SUPORTE CABO P&G 0,25 Mt

c) s/ conector de fix. Rápida & cablagem de comprimento  $> 0,5$  metros & s/ suporte

Ex: FR5207 - SM ZETA CRIST. S/ REFL. CABO PLN 4 Mt

d) s/ conector de fix. Rápida & cablagem de comprimento  $\leq 0,5$  metros & s/ suporte

Ex: FR5218 - SM ZETA VERM. C/ REFL. CABO ABERTO 0,3 Mt

e) s/ conector de fix. Rápida & cablagem de comprimento  $\leq 0,5$  metros & c/ suporte

Ex: FR5255 - SM ZETA AMB. SUPORTE 90° F CABO ABERTO 0,3 Mt

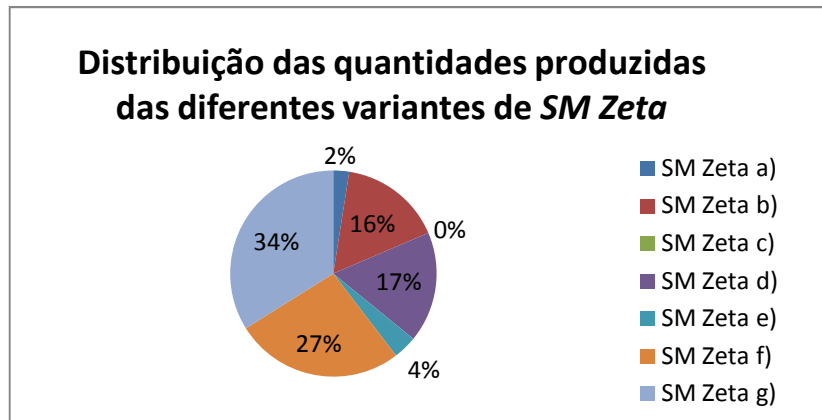
f) c/ conector de fix. Rápida & cablagem de comprimento > 0,5 metros & c/ suporte

Ex: FR5252 - SM ZETA AMB. SUPORTE 90° F CABO P&G 1 Mt

g) c/ conector de fix. Rápida & cablagem de comprimento ≤ 0,5 metros & c/ suporte

Ex: FR5240 - SM ZETA AMB. SUPORTE 90° B CABO P&G 0,25 Mt

De acordo com o seguinte gráfico, as variantes f) e g) foram as mais produzidas durante o período do projecto de dissertação.



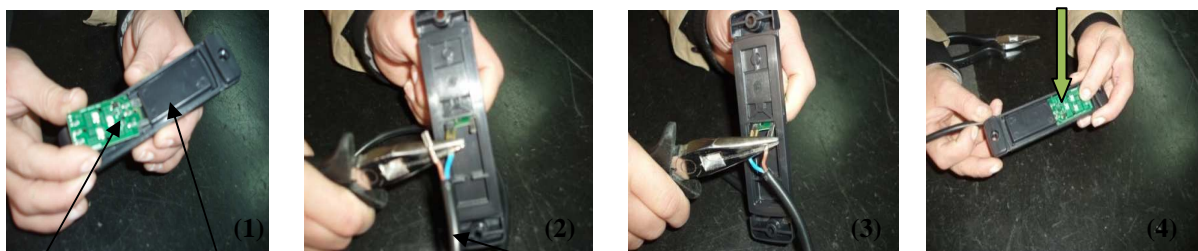
**Figura 13 – Distribuição das quantidades produzidas pelas diferentes variantes de SM Zeta**

As operações abaixo descritas, reflectem a evolução registada nos diferentes processos, sendo referidas todas as melhorias e alterações que se introduziram nas tarefas produtivas.

#### 4.1 Montagem

##### 4.1.1 SM Omega

Coloca-se o led na blindagem (imagem 1) e com a blindagem virada do lado interior e segurando no led, faz-se a ligação dos terminais da cablagem ao led, utilizando o alicate de pontas (imagens 2 e 3). Voltava-se à posição inicial e com pressão fixa-se o led na blindagem (imagem 4).



Led

Blindagem

Cablagem

**Figura 14 – (1), (2), (3) & (4) - Montagem de um sidemarker Omega**

##### 4.1.2 SM Zeta

Ajusta-se a cablagem à blindagem (imagem 1), tarefa necessária sempre que se trate de uma referência P&G (com conector de fixação rápida), estanhando-se em seguida o led e unindo-se o mesmo à cablagem (derretendo a solda) com um aparelho de estanhagem (imagem 2). De referir que esta operação anteriormente era realizada em 2 passos, devido às limitações da

caneta de estanagem existente. Por último, monta-se o led com a cablagem na blindagem e com esta virada do lado exterior passa-se o cabo da blindagem até à extremidade do led. Por fim, vira-se a blindagem do lado interior, segura-se o led e com pressão fixa-se o led na blindagem (imagem 3).



**Figura 15 – (1), (2) & (3) - Montagem de um sidemarker Zeta**

Normalmente, os leds vinham dos fornecedores na forma de placa, sendo necessário, separá-los para poder introduzi-los individualmente nas cablagens, gastando-se assim tempo desnecessário nesta tarefa. A solução passou então, pelo contacto com os fornecedores, de modo a que estes já viessem separados.

Nos modelos com cablagens de comprimento superior a 0,5 metros, era necessário enrolar a cablagem e prendê-la com um elástico (ver Figura E2 do anexo E). Inicialmente, esta operação era realizada pelos operários da Paulo Mendes S.A., sendo que nomeadamente para cabos com 5 e 10 metros de comprimento do modelo *Omega*, esta operação constituía um “*bottleneck*”, devido ao seu tempo excessivo. Optou-se então por externalizar esta tarefa à Pameltronic, Lda., empresa do grupo Paulo Mendes, de onde vinham as cablagens, visto que esta operação não acrescentava valor ao produto final.

Inicialmente, nos modelos que tinham um conector de fixação rápida, a tampa de fixação rápida era colocada no conector, (ver Figura E1 do Anexo E) apenas na operação de embalagem, desperdiçando-se tempo no “retrabalho” da peça. No caso dos *SM Omega*, a solução passa por colocar a tampa logo após a operação de montagem nas referências que assim precisem. Já quanto aos *SM Zeta*, esta tampa apenas pode ser colocada após se efectuar o teste eléctrico, visto que este é efectuado directamente no conector nesta variante. As tabelas seguintes representam a evolução dos tempos das operações de montagem dos modelos *Omega* e *Zeta* (s/sidemarker), durante o projecto.

**Tabela 4 – Evolução dos tempos da Operação de Montagem no *SM Omega* (situação inicial vs. situação final)**

Variantes Operações	<i>SM</i>	<i>SM</i>	<i>SM</i>	<i>SM</i>	<i>SM</i>	<i>SM</i>	<i>SM</i>
	<i>Omega</i> a1)	<i>Omega</i> a2)	<i>Omega</i> a3)	<i>Omega</i> b)	<i>Omega</i> c1)	<i>Omega</i> c2)	<i>Omega</i> d)
<b>Montagem <i>SM Omega</i> Inicial</b>	28,78 s	39,48 s	54,75 s	18,01 s	28,78 s	39,48 s	18,01 s
<b>Montagem <i>SM Omega</i> Final</b>	13,59 s	13,59 s	13,59 s	13,59 s	19,16 s	19,16 s	19,16 s

**Tabela 5 – Evolução dos tempos da Operação de Montagem no SM Zeta (situação inicial vs situação final)**

Operações \ Variantes	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM
	Zeta a)	Zeta b)	Zeta c)	Zeta d)	Zeta e)	Zeta f)	Zeta g)
<b>Montagem SM Zeta Inicial</b>	56,82 s	46,69 s	49,14 s	39,01 s	39,01 s	56,82 s	46,69 s
<b>Montagem SM Zeta Final</b>	37,7 s	37,7 s	24,72 s	24,72 s	24,72 s	37,7 s	37,7 s

Após a montagem dos sidemarkers, era necessário efectuar o teste eléctrico, de maneira a verificar se a montagem do led na blindagem e respectiva ligação à cablagem tinha sido bem efectuada, dando assim a iluminação do led do *sidemarker*.

#### 4.2 Teste eléctrico

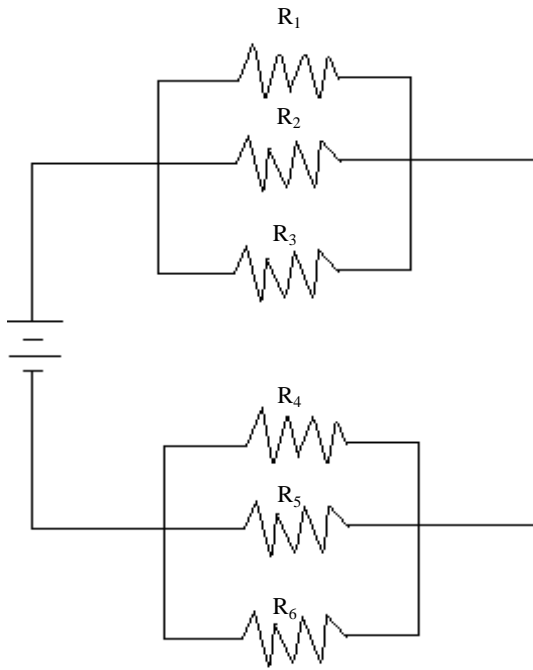
O teste eléctrico que estava em vigor nos sidemarkers, consistia num sistema bastante rudimentar, em que um par de canetas ligadas a uma bateria contactavam com o led, ou a cablagem, ou o conector, consoante os modelos a serem testados. Os problemas mais frequentes associados a esta solução inicial para a operação do teste eléctrico eram: grande variabilidade da duração desta operação, devido á grande maneabilidade associada a esta tarefa e o risco de choques eléctricos derivados do contacto entre as duas canetas.

Optou-se então por arranjar um sistema de teste eléctrico *poka-yoke* em 2 placas de nylon onde os terminais para os testes eléctricos viriam a ser instalados. Optou-se por este material visto ser um material bastante leve com óptima resistência ao desgaste e tracção, mas principalmente porque estava disponível em armazém. O método de montagem utilizado foi o *poka-yoke*, visto que os terminais foram montados na placa de maneira a que esta operação fosse intuitiva e prática, de maneira a prevenir que o contacto entre os terminais da placa de teste eléctrico e os do *sidemarker* fosse demorado como acontecia anteriormente. Desta forma, previnem-se erros dos operários, visto que os terminais correspondentes a cada teste eléctrico na placa, estavam bem identificados visualmente, não havendo assim engano, ao efectuar o devido teste. De salientar que quando havia curto-circuito no teste eléctrico (os terminais da placa contactavam no mesmo terminal do *sidemarker*), acendia-se intermitentemente uma luz na bateria, enquanto no sistema anterior havia lugar a um pequeno “choque”.

Numa das placas, efectua-se os testes eléctricos dos modelos *SM Omega* (led) e *SM Zeta / Lambda* (conector ou cablagem) e na outra os testes eléctricos para os modelos *SM Kappa*, *SM Psi* e *SM Beta* (modelos com menor produção).

As imagens das placas de teste eléctrico, bem como o material utilizado na montagem das mesmas podem ser consultadas na Figura E3 e Tabela E1 do anexo E. De referir, que não foi necessário efectuar uma análise de custos de produção envolvidos, visto que os materiais encontravam-se em armazém, sendo que alguns deles eram mesmo considerados “sucata”.

Ambas as placas de teste eléctrico, foram ligadas em paralelo, à bateria 100 W – 230V 50/60 Hz (w) representando o seguinte circuito eléctrico:



**Legenda:**

R<sub>1</sub> - Resistência *SM Omega*

R<sub>2</sub> - Resistência *SM Zeta / SM Lambda / SM Kappa* (cabo P&G)

R<sub>3</sub> - Resistência *SM Zeta / SM Lambda* (cabo aberto)

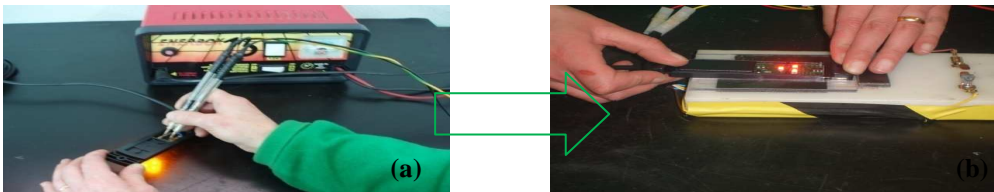
R<sub>4</sub> - Resistência *SM Kappa* (conector AMP)

R<sub>5</sub> - Resistência *SM Psi* (conector AMP e cabo plano)

R<sub>6</sub> - Resistência *SM Beta*

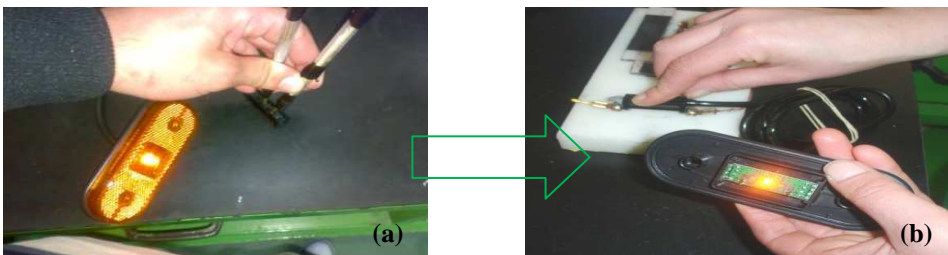
**Figura 16 – Representação esquemática do circuito de teste eléctrico**

**4.2.1 SM Omega**



**Figura 17 – Evolução do teste eléctrico nos terminais do led: (a) “canetas”; (b) placa de teste eléctrico**

**4.2.2 SM Zeta**



**Figura 18 – Evolução do teste eléctrico no conector: (a) “canetas”; (b) placa de teste eléctrico**

Com a montagem deste sistema de teste eléctrico, conseguiu-se diminuir os tempos médios da operação e a sua variabilidade por sidemarker, estando os resultados presentes na seguinte tabela.

**Tabela 6 – Evolução dos tempos médios de operação e sua respectiva variabilidade, com o novo aparelho de teste eléctrico**

Operação	Tempos (s) / <i>sidemarker</i> (média)	Desvio – padrão $\sigma$ (s)
Teste eléctrico no led (canetas) – <i>SM Omega</i>	4,68	0,74
Teste eléctrico no led (aparelho de teste eléctrico) – <i>SM Omega</i>	2,23	0,67
Teste eléctrico no conector (canetas) – <i>SM Zeta / Lambda</i>	6,7	1,53
Teste eléctrico no conector (aparelho de teste eléctrico) – <i>SM Zeta / Lambda</i>	3,78	0,61
Teste eléctrico na cablagem (canetas) – <i>SM Zeta / Lambda</i>	8,98	2,42
Teste eléctrico na cablagem (aparelho de teste eléctrico) – <i>SM Zeta / Lambda</i>	5,3	1,13

Após ser efectuado o teste eléctrico, os *sidemarkers* seguem para a operação de resinagem.

### 4.3 Resinagem

Ambos os modelos precisam de passar por este processo, para garantir que o led é fixado na blindagem do *sidemarker* e para evitar infiltrações de humidade / água nos leds.

A máquina de resina / cola é um elemento crítico no funcionamento da linha de montagem dos *sidemarkers* visto que por esta passam 2 tipos de produtos: os *sidemarkers* e os farolins de autocarros. Então, caso haja uma paragem da máquina, seja motivada por avarias da máquina (falta de resina, desregulação da quantidade de resina depositada pela máquina, problemas com o “bico” da máquina, etc.) ou pela passagem ao funcionamento da “cola”, nos farolins de autocarros, provoca uma paragem temporária da “linha”, caso esta esteja a laborar num fluxo contínuo. Portanto, há que repensar no futuro, se a conjectura for favorável para tal, na aquisição de uma nova máquina, exclusivamente de deposição de resina, de maneira a dedicar-se esta linha única e exclusivamente, aos *sidemarkers*.

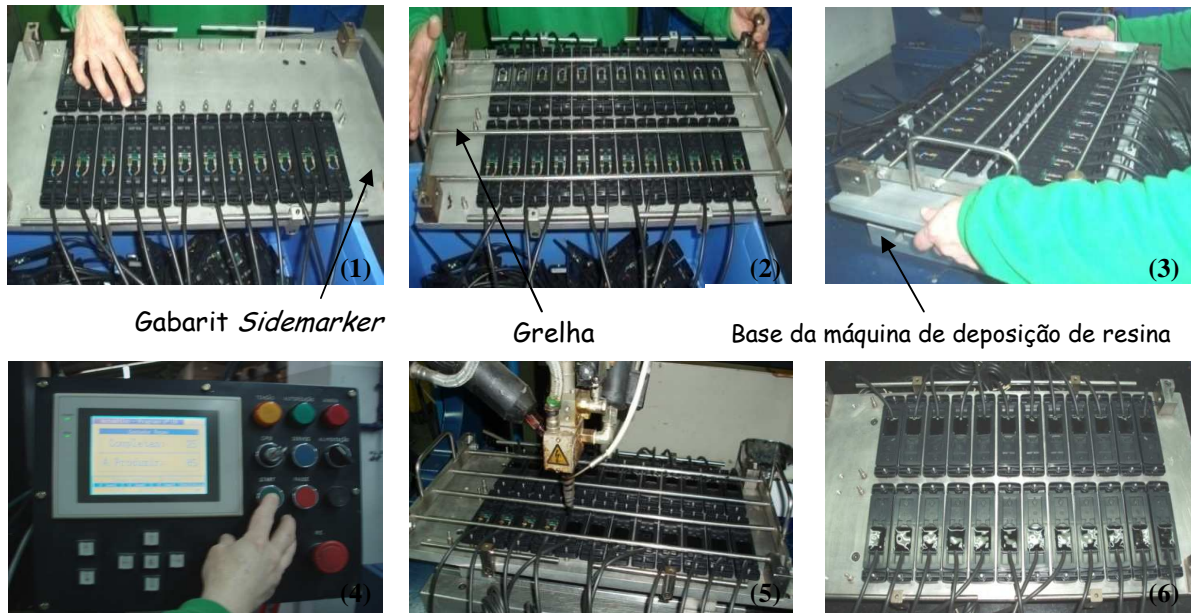
No futuro, com a laboração desta linha num fluxo contínuo em U, haverá a necessidade de implementar o *OEE*, “*Overall Equipment Efficiency*” como medida de eficiência da produção, substituindo a que é usada erradamente, actualmente na empresa ((OF’s planeadas / OF’s executadas) \* 100). Todas as métricas que afectam o *OEE*, poderão ser calculadas com base em dados registados pelos operadores na linha, num “template” criado para o efeito (ver Tabela B2 do anexo B). Para mais informações acerca do *OEE*, consultar o mesmo anexo.

Os elevados tempos de *setup* para o funcionamento de cola ou de resina (ver Tabela B3 do anexo B), obrigam a uma atenção redobrada no planeamento da produção semanal, de maneira a cumprir-se com as encomendas estipuladas e tentar reduzir ao máximo o nº de *setups* realizados, de maneira a aumentar-se o *OEE* da máquina.

De salientar que o processo de resinagem, apresenta características diferentes das demais, visto que ao longo desta operação, podem-se registar “tempos – máquina”, “tempos – operador”, “tempos máquina – operador” e “tempos – secagem”, sendo que este último corresponde a um “atraso” em que apenas afecta a linha se este for o “*bottleneck*”.

### 4.3.1 SM Omega

Colocam-se os sidemarkers no gabarit do *sidemarker Omega*, que tem uma capacidade de 24 peças, sendo que a primeira fila de 2 peças deve ficar livre (imagem 1). Em seguida, trancam-se as peças com a grelha (imagem 2) e posiciona-se o gabarit na base da máquina de deposição de resina (imagem 3). Posteriormente, o operador activa o programa nº 15 de CNC de deposição de resina (imagem 4), colocando o robot em funcionamento (imagem 5), até todas as cavidades da parte traseira das blindagens *Omega* estarem cheias de resina (imagem 6).



**Figura 19 – (1), (2), (3), (4), (5) & (6) – Processo de Resinagem SM Omega**

Inicialmente, a deposição de resina era efectuada em 2 programas (programas nº 9 e 10 de CNC), sendo que cada um depositava este resíduo em 12 peças, na parte inferior e superior do gabarit, respectivamente. Com a passagem para um único programa (ver Figura H1 do anexo H), além de realizar a operação de resinagem em menos tempo, foi também possível eliminar o tempo de “setup” entre ambos os programas. A seguinte tabela expressa a evolução das operações registadas no processo de resinagem do *SM Omega* (*s/sidemarker*), ao longo do projecto.

**Tabela 7 - Evolução dos tempos da Operação de Resinagem no SM Omega (situação inicial vs situação final)**

Operações	Variantes						
	SM Omega a1)	SM Omega a2)	SM Omega a3)	SM Omega b)	SM Omega c1)	SM Omega c2)	SM Omega d)
<b>Resinagem SM Omega Inicial</b>	25,07 s	25,07 s	25,07 s	25,07 s	25,07 s	25,07 s	25,07 s
<b>Resinagem SM Omega Final</b>	13 s	13 s	13 s	13 s	13 s	13 s	13 s

Os gabarits utilizados para este processo de resinagem são bastante pesados, tendo-se optado pela modelação em “Solidworks” de um gabarit com perfil de alumínio (20 x 20 (mm)) (ver Figura I1 do anexo I), semelhante ao utilizado no modelo *Zeta*, de maneira a diminuir o esforço do operador e conseqüente risco de acidente de trabalho.

### 4.3.2 SM Zeta

Para poderem ser colocados os 18 *sidemarkers* Zeta no gabarit respectivo, foi necessário construir uma grelha adequada ao gabarit existente bem como uma base com um fundo oco em que as pernas do gabarit encaixavam (ver Figura I1 e Figura I2 do anexo I), visto que no momento do posicionamento do gabarit na base da máquina de deposição de resina, os *sidemarkers* saíam do sítio devido à força exercida pelas cablagens, porque estas encontravam-se no centro da blindagem e não nas extremidades, como acontecia com o modelo *Omega*. Ou seja, depois de colocado o gabarit na base, encaixavam-se os *sidemarkers* nos pinos do gabarit e trancavam-se as peças com a grelha. Retirava-se o gabarit da base e posicionava-se-o na base da máquina de deposição de resina. Posteriormente, o operador activava o programa nº 13 de CNC de deposição de resina (ver Figura H2 do anexo H), colocando o robot em funcionamento fazendo a 1ª passagem junto à lâmpada incorporada no led de maneira a não cubri-la. Em seguida, processava-se a mudança para o programa nº 14 de CNC de deposição de resina (ver Figura H3 do anexo H), com o seu devido tempo de *setup*, que faz uma 2ª passagem de maneira a preencher a cavidade onde está inserido o led.

Inicialmente, este processo de resinagem era muito demorado porque a deposição de resina era efectuada de forma semi-automática, visto que o operador accionava a resina manualmente, sendo que apenas conseguia depositar resina no led num *sidemarker* de cada vez (ver Figura E4 do anexo E). Em seguida, ainda tinha de dar uns retoques manuais na resina, de maneira a ela encher a cavidade da blindagem e não cobrir a lâmpada do led, sendo que estas operações tinham grande variabilidade na sua duração, sobretudo devido ao enorme grau de maneabilidade na operação de deposição de resina no led.

De referir, que com a automatização do processo de resinagem *Zeta* houve um aumento da produtividade da máquina de resina/cola, tendo esta operação passado a definir o lote utilizado ( $L = 18$ , capacidade do gabarit) em todas as operações. De salientar, que apesar de os processos de deposição de resina serem automatizados, ainda existe a necessidade do operador estar próximo da máquina, para assegurar que o processo corre em conforme o previsto. Por vezes, ao longo do processo, era necessário ajustar a quantidade de resina que é depositada, através da abertura / fecho do “bico” ou pelas regulações na temperatura da resina. A seguinte tabela expressa a evolução das operações registadas no processo de resinagem do *SM Zeta* (s/*sidemarker*), ao longo do projecto.

**Tabela 8 – Evolução dos tempos da Operação de Resinagem no SM Zeta (situação inicial vs situação final)**

Operações \ Variantes	SM Zeta a)	SM Zeta b)	SM Zeta c)	SM Zeta d)	SM Zeta e)	SM Zeta f)	SM Zeta g)
<b>Resinagem SM Zeta Inicial</b>	34,33 s	34,33 s	34,33 s	34,33 s	34,33 s	34,33 s	34,33 s
<b>Resinagem SM Zeta Final</b>	22,36 s	22,36 s	22,36 s	22,36 s	22,36 s	22,36 s	22,36 s

Foram ainda modelados em “*Solidworks*” os gabarits para os modelos *Psi*, *Lambda* e *Kappa*, que aguardam a sua construção de forma a poderem ser elaborados os respectivos programas CNC de deposição de resina, que irão permitir a automatização deste processo. (ver da Figura I6 à Figura I15 do anexo I)

#### 4.4 Secagem

Antes de se soldar a blindagem ao vidro nos sidemarkers, teria de ocorrer a secagem da resina que havia sido previamente colocada nestes produtos. Os tempos de secagem iniciais, à temperatura ambiente, não eram nada competitivos, principalmente no caso dos *sidemarkers Zeta*, em que se trabalhava inicialmente com um lote unitário, havendo por isso um “atraso” enorme entre as operações de resinagem e de soldadura, se se pretendesse trabalhar em linha com este fluxo unitário. A primeira solução passou pela colocação de uma ventoinha em funcionamento junto ao gabarit que tinha sido previamente resinado. Apesar de ser uma solução bastante económica, prática e simples para secar mais rapidamente a resina, esta criava uma corrente de ar indesejável para quem estivesse a trabalhar, podendo dar origem a constipações ou gripes dos trabalhadores. Ou seja, como o ar movimentado pela ventoinha dissipava-se muito, não atingindo somente a área pretendida, esta não era uma solução eficiente. Optou-se então, para resolver esta questão, por instalar um sistema de ar comprimido com diversos furos de 1 mm de diâmetro, equidistantes entre si (distância entre os *sidemarkers*) em 2 tubos de alumínio, em que o ar é projectado de cima para baixo, até embater na área da blindagem que tinha sido previamente resinada na máquina. A tabela 4 e a figura 8 demonstram a evolução que o processo de secagem teve.

**Tabela 9 –Evolução do tempo de secagem (médio) de um gabarit com *sidemarkers***

Solução	Tempo (min)
Secagem à temperatura ambiente	9,45
Secagem com ventoinha	6,72
Secagem com sistema de ar comprimido	4,11



**Figura 20 – Secagem - (1) à temperatura ambiente; (2) ventoinha; (3) ar comprimido**

#### Cálculo do nº de gabarits necessários para as operações de resinagem e secagem

Caso não haja possibilidade de a linha funcionar em *line flow*, seja devido à falta de matéria – prima para se realizarem as outras operações, seja devido à inexistência de trabalhadores suficientes disponíveis para ocuparem todas as *workstations*, é necessário dimensionar o nº de gabarits que vão ser necessários para se criar um fluxo cíclico na operação de resinagem e secagem.

O nº de gabarits necessários nas operações de resinagem dos modelos *SM Omega* e *Zeta* foi então calculado graças ao arredondamento à unidade acima, da fórmula (1):

$$\text{Nº de gabarits necessários} = \frac{\text{Tempo total da operação de resinagem \& secagem}}{\text{Bottleneck da operação de resinagem \& secagem}} \quad (1)$$

A Tabela 10 expressa o nº de gabarits necessários, tendo em conta os tempos finais das operações de resinagem e secagem nos modelos *Omega* e *Zeta*.

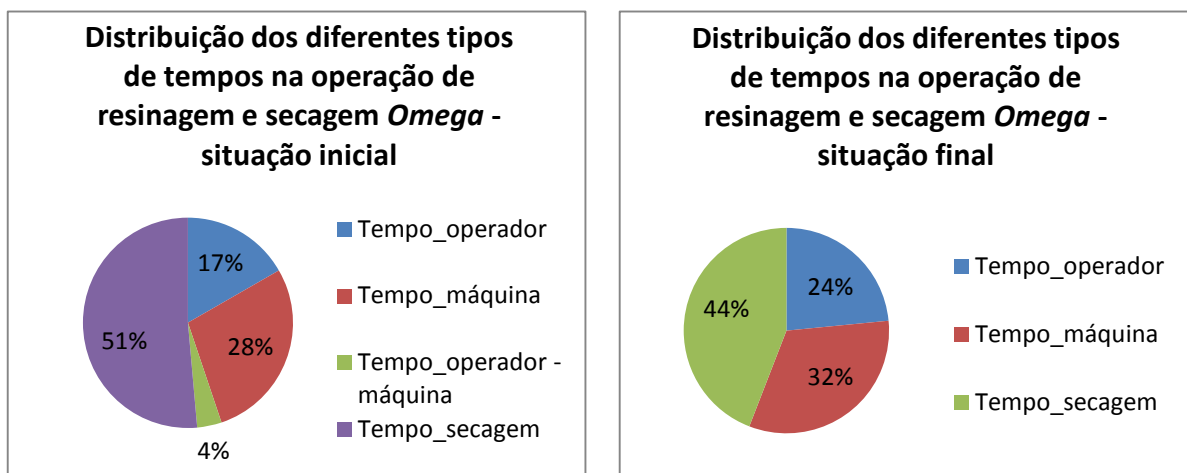
**Tabela 10 – Quadro síntese do processo de resinagem & secagem para determinação do nº de gabarits necessários em *batch flow***

	Tempo total da operação de resinagem & secagem (/ gabarit) (s)	"Bottleneck" da operação de resinagem & secagem (/ gabarit) (s)	Nº de gabarits existentes	Nº de gabarits necessários
<i>SM Omega</i>	558,11	246,36	3	3
<i>SM Zeta</i>	643,37	282,6	1	3

No caso dos *SM Omega*, não é necessário construir mais nenhum gabarit, visto que os que existem, conseguem manter um fluxo ininterrupto do processo. Já quanto aos *SM Zeta* é necessário fabricar mais 2 gabarits, assim como mais 2 grelhas de modo de modo a transmitir um fluxo contínuo e cíclico a este conjunto de operações.

Diferentes tipos de tempos nas operações de resinagem e secagem:

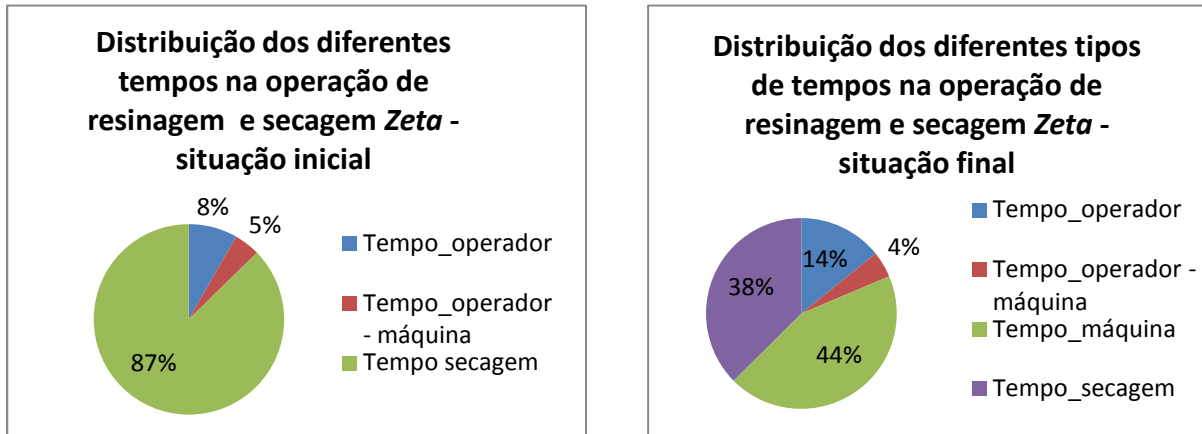
Como ficou demonstrado, as operações de resinagem e secagem nos modelos *Omega* e *Zeta* apresentam diversos tipos de tempo, estando patentes as evoluções registadas nos gráficos seguintes.



**Figura 21 – Distribuição dos diferentes tipos de tempos na operação de resinagem *Omega* (situação inicial vs. situação final)**

Quanto ao *SM Omega*, deve-se referir que na situação inicial existia um tempo\_operador – máquina, derivado do tempo de setup entre os programas nº 9 e 10 de CNC da máquina de deposição de resina, que com a introdução do programa único nº 15 desaparece, visto que a única interacção que existe entre a máquina e o operador é a do accionamento do botão para o programa funcionar, actividade essa que se considera desprezável, devido à sua curta duração.

Salienta-se, o aumento do tempo\_máquina de 28 para 32 % do tempo total, ao longo da operação de resinagem, sendo esse o objectivo principal, visto que se quer automatizar o processo. No futuro, a melhor maneira para aumentar o peso da automatização no processo será tentar encontrar soluções ainda mais competitivas ao nível da secagem da resina e tentar automatizar algumas das operações manuais, ou mesmo tentar eliminar operações que não tenham grande valor acrescentado.



**Figura 22 - Distribuição dos diferentes tipos de tempos na operação de resinagem Zeta (situação inicial vs. situação final)**

Quanto ao *SM Zeta*, deve-se referir que na situação inicial havia um grande peso do tempo de secagem na operação de resinagem, 87 %, porque as peças eram secadas uma a uma, visto que ainda não havia programas CNC que realizassem a operação de deposição de resina para este modelo. Com a implementação da deposição da resina automaticamente nos *sidemarkers* que estavam colocados no gabarit, este tempo de secagem é responsável por 38% do tempo total, visto que o tempo que se demora a secar uma peça é igual ao tempo que se demora a secar dezoito, desde que tenham sido colocadas debaixo do aparelho de ar comprimido ao mesmo tempo. Com a elaboração dos automatismos para depositar a resina no led *Zeta*, houve o aparecimento do tempo\_máquina assumindo 44% da duração da operação final. Em termos percentuais, houve um aumento do tempo do operador, de 8 para 14 % se bem que em termos absolutos, o tempo que o operador gasta em operações manuais neste processo é muito mais reduzido. Quanto ao tempo\_operador – máquina temos que em termos percentuais mantém-se praticamente igual, sendo que o que muda são as operações que provocam esta interacção, sendo que na situação inicial era a deposição da resina em cima do led com a activação manual e no caso final, trata-se do *setup* entre os programas CNC necessários à operação.

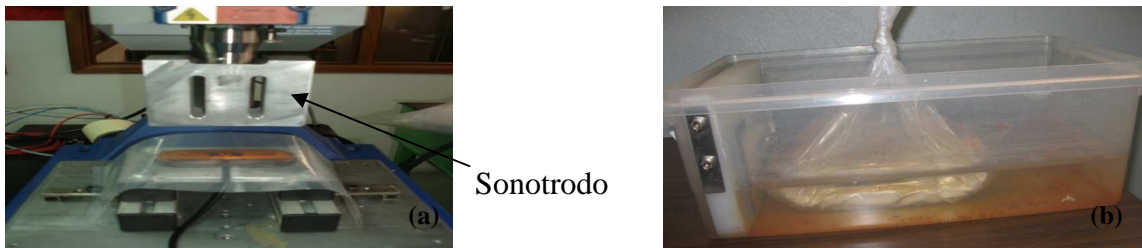
Após se proceder à secagem das peças, estas eram retiradas do gabarit correspondente, de maneira a poderem ser soldadas na máquina de soldadura por ultrasons.

#### 4.5 Soldadura

A soldadura da blindagem com o vidro nos modelos *Omega* e *Zeta*, é efectuada na mesma máquina (soldadura ultrasons), diferindo apenas o sonotrodo utilizado bem como os parâmetros de soldadura estabelecidos, sendo que no caso dos *Omega*, este processo é mais rápido. A soldadura deve ser feita com a base de silicone, com protecção de filme plástico e com o jacto de ar ionizado ligado

Como controlo de qualidade da soldadura efectuada realiza-se um Teste de Estanqueidade de 20 em 20 soldaduras (coloca - se uma peça soldada juntamente com um peso dentro de um saco plástico, dentro de água, para ela não flutuar e verifica-se se entra água para dentro do *sidemarker*).

A operação de soldadura e o teste de estanqueidade às soldaduras podem ser observadas na figura 23.



**Figura 23 – a) Soldadura por ultrasons; b) Teste de estanqueidade à soldadura**

Na operação de soldadura não foram realizadas melhorias, tendo-se registados os tempos de operação, expressos no quadro seguinte:

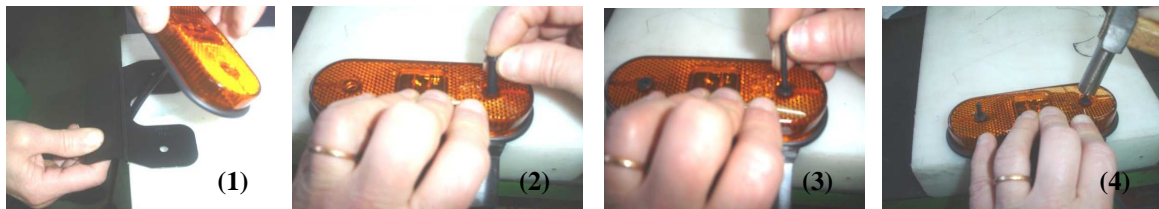
**Tabela 11 – Tempos da operação de soldadura no SM Omega e SM Zeta**

Operações	Tempos (s/sidemark)
Soldadura SM Omega	11,17
Soldadura SM Zeta	15,72

#### 4.6 Suporte

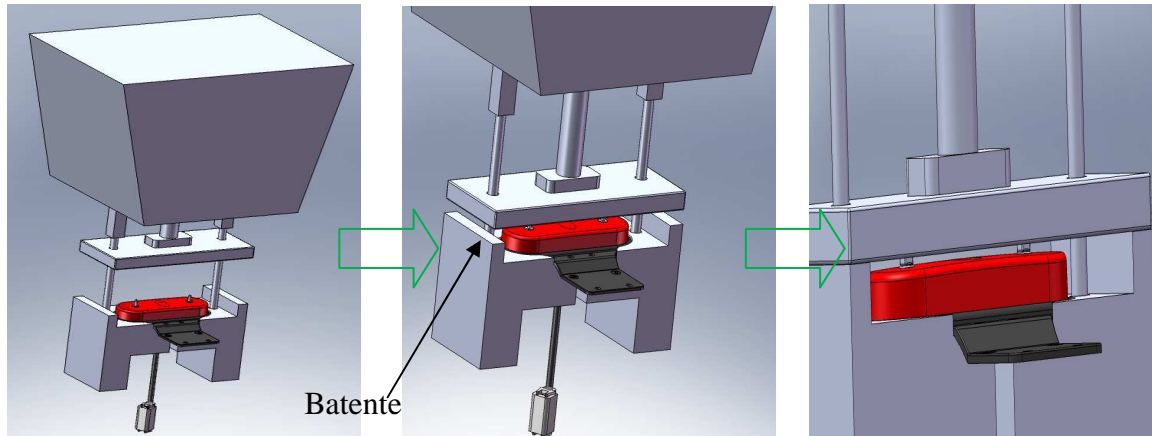
A operação de acoplamento de um suporte ao *sidemark* apenas é realizada em alguns modelos *Zeta*. A solução inicial rudimentar encontrada passou pelo desbaste numa placa de nylon de um molde com a geometria da blindagem *Zeta* e do suporte correspondente, como se vê nas imagens seguintes. A montagem do suporte é realizada na base de apoio e é efectuada através da fixação com pinos e buchas ou com parafusos, de acordo com as referências mencionadas e com a OF em curso.

##### Opção: Pinos e Buchas



**Figura 24 – (1) Posicionar Suporte + Blindagem; (2) Colocar buchas; (3) Colocar pinos; (4) Com o martelo introduzir pinos**

Devido à extensa duração da operação de suporte no modelo *Zeta*, pensou-se na construção de um *poka-yoke* para a realização desta tarefa, num mecanismo em tudo semelhante a um cilindro pneumático. Colocaria-se o suporte e o *sidemark* na base, de maneira a que através do movimento vertical descendente do cilindro, haja a inserção das buchas e dos pinos ao contactarem com as duas ferramentas colocadas na estrutura, de forma arredondada. Estas estruturas permitiam amortecer o impacto de maneira às buchas e os pinos não partirem. Se o cilindro pneumático adaptado para esta situação, como o que se encontra na Figura E5 do anexo E, for um cilindro de fim de curso, não haverá a necessidade de se criar um batente para o cilindro parar o seu movimento. Com este *poka-yoke* espera-se que se reduzam os erros dos operadores, visto que nesta operação partiam-se bastantes buchas e pinos, devido ao martelo utilizado e à fraca resistência dos materiais.



**Figura 25 – Exemplo de funcionamento de *poka-yoke* fixação suporte 90° A Zeta**

Realizaram-se, igualmente, outras modelações em “Solidworks” desta situação mas com os restantes tipos de suportes, sendo que o que se alterava era o molde da base do cilindro, visto que as geometrias dos suportes são diferentes. (ver a Figura I3 e Figura I4 do Anexo I)

Os tempos das operações de suporte no *SM Zeta* (s/*sidemarker*) (opção: pinos e buchas) com o auxílio da base de nylon estão expressos na seguinte tabela:

**Tabela 12 – Tempos da operação de Suporte no *SM Zeta***

Operações \ Variantes	<i>SM Zeta a)</i>	<i>SM Zeta b)</i>	<i>SM Zeta c)</i>	<i>SM Zeta d)</i>	<i>SM Zeta e)</i>	<i>SM Zeta f)</i>	<i>SM Zeta g)</i>
<b>Suporte <i>SM Zeta</i></b>	-	-	-	-	24,39 s	24,39 s	24,39 s

**Opção: Parafusos**



**Figura 26 – (1) Posicionar Suporte + Blindagem; (2) Colocar parafusos utilizando a máquina de aparafusar**

#### 4.7 Embalagem

Esta é a operação final, em ambos os *sidemarkers Omega* e *Zeta*, sendo que para modelos com cabos de comprimento superior a 0,5 metros é necessário retirar o elástico, antes de serem embalados. Já nos modelos com cabos de comprimento menor ou igual a 0,5 metros é necessário enrolar a cablagem, antes de se proceder ao embalamento individual do *sidemarker* num saco de plástico com fita-cola. Os sacos são colocados na caixa de despacho, sendo que quando não se pode colocar mais *sidemarkers* no mesmo “andar”, é colocada uma divisória de cartão, de maneira a poder-se colocar mais peças na caixa. O nº de *sidemarkers* / divisória de cartão varia consoante as dimensões das cablagens. Sempre que a encomenda esteja completa, e a caixa não esteja cheia, coloca-se filme plástico para encher a caixa, sendo que no final fecha-se a caixa com fita adesiva. As caixas são então colocadas em cima de paletes, já devidamente identificadas com a etiqueta de expedição, para posteriormente serem levadas

para o armazém, zona de expedição, pelo “pivot” da produção com o auxílio de um porta-paletes.



**Figura 27 – (a) Colocação dos sidemarkers na saca de plástico; (b) Colocação das sacas de plástico na caixa de despacho**

As seguintes tabelas expressam a evolução das operações registadas no processo de embalagem do *SM Omega* e *SM Zeta* (s/sidemarker), ao longo do projecto, causadas sobretudo pela passagem da operação da “colocação da manga de fixação rápida no conector” para a operação da montagem.

**Tabela 13 - Evolução dos tempos da Operação de Embalagem no *SM Omega* (situação inicial vs situação final)**

Variantes Operações	<i>SM Omega</i> a1)	<i>SM Omega</i> a2)	<i>SM Omega</i> a3)	<i>SM Omega</i> b)	<i>SM Omega</i> c1)	<i>SM Omega</i> c2)	<i>SM Omega</i> d)
<b>Embalagem <i>SM Omega</i> Inicial</b>	17,23 s	17,23 s	17,23 s	17,97 s	22,8 s	22,8 s	23,54 s
<b>Embalagem <i>SM Omega</i> Final</b>	17,34 s	17,34 s	17,34 s	18,08 s	17,34 s	17,34 s	18,08 s

**Tabela 14 – Evolução dos tempos da Operação de Embalagem no *SM Zeta* (situação inicial vs situação final)**

Variantes Operações	<i>SM Zeta</i> a)	<i>SM Zeta</i> b)	<i>SM Zeta</i> c)	<i>SM Zeta</i> d)	<i>SM Zeta</i> e)	<i>SM Zeta</i> f)	<i>SM Zeta</i> g)
<b>Embalagem <i>SM Zeta</i> Inicial</b>	22,9 s	19,38 s	17,61 s	14,05 s	14,05 s	22,9 s	19,35 s
<b>Embalagem <i>SM Zeta</i> Final</b>	16,05 s	13,61 s	16,95 s	13,61 s	13,61 s	16,95 s	13,61 s

#### 4.8 Conclusões

Com as alterações registadas, conseguiram-se cycle times das operações mais competitivos, estando os tempos totais das operações de fabrico de um *SM Omega* e *SM Zeta* (s/sidemarker) expressos nas tabelas seguintes:

**Tabela 15 – Evolução do tempo total de fabrico de um SM Omega (situação inicial vs situação final)**

Variantes Operações	SM Omega a1)	SM Omega a2)	SM Omega a3)	SM Omega b)	SM Omega c1)	SM Omega c2)	SM Omega d)
<b>Total SM Omega Inicial</b>	103,72 s	114,2 s	129,69 s	93,69 s	109,29 s	119,98 s	99,26 s
<b>Total SM Omega Final</b>	67,47 s	67,47 s	67,47 s	68,21 s	73,04 s	73,04 s	73,78 s

**Tabela 16 – Evolução do tempo total de fabrico de um SM Zeta (situação inicial vs situação final)**

Variantes Operações	SM Zeta a)	SM Zeta b)	SM Zeta c)	SM Zeta d)	SM Zeta e)	SM Zeta f)	SM Zeta g)
<b>Total SM Zeta Inicial</b>	373,46 s	359,77 s	362,76 s	349,07 s	373,46 s	397,85 s	384,16 s
<b>Total SM Zeta Final</b>	109,85 s	106,51 s	98,15 s	94,8 s	119,19 s	134,24 s	130,9 s

A evolução das operações e respectiva duração de tempo necessárias à constituição de um *SM Omega* e *SM Zeta*, desde o início até ao fim do projecto, pode ser consultada mais pormenorizadamente na Tabela F1, Tabela F2, Tabela F3, Tabela F4 do anexo F.

Com a obtenção de cycle times de operações mais competitivos, torna-se imperativo a redefinição da localização dos postos de trabalho, aproximando-os de maneira a que os balanceamentos das operações obtidos, sejam os mais eficientes possíveis. Desta maneira com a criação de uma linha em U, pretende-se que o tempo realizado em operações de transporte dos lotes produzidos para os diversos postos de trabalho seja minimizado, permitindo ainda a ajuda mútua dos operários, sempre que necessário.

## 5 Redefinição do *Layout* Produtivo

*Layout* é o posicionamento no espaço de departamentos ou postos de trabalho de modo a minimizar um custo, satisfazendo um conjunto de restrições.

O modo como os recursos estão distribuídos pelo espaço disponível, o nível de stocks utilizado, o número e a produtividade dos operários, e mesmo características sociológicas tais como relações entre os operários e comunicação entre grupos, podem influenciar em muito a eficiência de uma empresa. Sendo assim, todos esses factores devem ser tidos em conta quando se constrói um novo *layout* ou quando se altera um *layout* já existente.

Como factores determinantes para a construção de um *layout* tem-se o tipo de produto, interessando saber se o produto é um bem ou um serviço, se é produzido para stock ou para encomenda, etc; o tipo de processo de produção, em que as questões que se podem por neste caso são, o tipo de tecnologia utilizada na produção, os materiais que são utilizados, e os meios que são utilizados para realizar esse tipo de serviço; o volume de produção que tem implicações no tamanho da linha a construir, e na capacidade de expansão. Como critérios de decisão respeitantes ao *layout* adoptado tem-se a minimização de custos de manuseamento de materiais, a minimização da distância percorrida pelos clientes, a minimização da distância percorrida pelos empregados e a maximização da proximidade dos postos de trabalho, havendo restrições a respeitar tais como limitação de espaço, necessidade de manter localizações fixas para certas máquinas, regulamentos de segurança e regulamentos relativos a incêndio. (Carravilla, 1998)

Deste modo e após proceder-se a uma análise das operações e suas precedências, resolveu-se optar por um fluxo de linha em U (ver Figura J3 do anexo J), visto que o produto em questão é bastante pequeno, leve e de baixo custo unitário. Este fluxo pretendia melhorar o que estava em vigor na linha dos *sidemarkers*, que não tinha uma sequência definida, podendo algumas operações ser efectuadas em vários postos de trabalho, mas que normalmente seguia o fluxo indicado na Figura J2 do anexo J. Os *layouts* de linha de produção são obtidos juntando as pessoas e o equipamento de acordo com uma sequência pré-definida de operações a realizar num produto. Quando se define o *layout* para uma linha, não se altera a direcção do fluxo do produto, no entanto altera-se a eficiência da linha e alteram-se as tarefas destinadas aos operários individuais.

Com a implementação deste *layout* esperam-se obter resultados mais eficientes, menores custos de manipulação do material, operações mais simplificadas que permitem a utilização de mão-de-obra pouco qualificada (barata), stocks intermédios menores, simplificação do controlo de produção (o sequenciamento baseia-se quase só na definição de uma taxa de produção). Mas por outro lado, este sistema de produção apresenta pouca flexibilidade, efeitos colaterais graves em termos de aborrecimento dos operários e de absentismo (tendência para mudança de emprego), elevada dependência entre as diversas operações (uma máquina que deixe de funcionar pode comprometer a produção), sendo também muito importante que a linha esteja correctamente balanceada.

### 5.1 Situação inicial

O *layout* inicial da linha de montagem dos *sidemarkers* contemplava 2 bancas que faziam um ângulo de 90 ° entre si onde se realizavam maioritariamente as operações de montagem e do teste eléctrico, assinaladas a vermelho no desenho (ver Figura J2 do anexo J); uma máquina de resina / cola, onde se efectuava a operação de resinagem nos *sidemarkers*, assinalada a

verde no mesmo desenho; uma banca móvel onde se encontra uma máquina de soldadura ultra-sons para soldar os vidros às blindagens dos *sidemarkers* e uma banca onde normalmente se efectuava a operação de embalagem, ambas assinaladas a azul; uma mesa de suporte assinalada a azul claro no desenho, onde se efectuavam operações tão variadas como aparafusamento de suportes aos *sidemarkers Zeta*, através de uma máquina de aparafusar ou com a introdução de pinos e buchas, com auxílio da base de apoio; a estanhagem do led e a união da cablagem com o led (derretendo a solda). De referir que as operações de montagem, de embalagem e algumas operações de suporte nem sempre eram executadas nas bancas indicadas, não havendo uma norma de trabalho, que definisse em que locais as operações deveriam ser executadas. Esta situação originava grande desperdício em termos de deslocamentos, quer de pessoas, quer de materiais, em termos de tempo de armazenagem de *wip*, originando uma desorganização no fluxo produtivo. A matéria-prima (cablagens, blindagens e vidros) amontoava-se em caixotes azuis debaixo da banca da embalagem, o que originava que aquando do início de uma nova OF, não estivessem disponíveis apenas os materiais necessários à realização da mesma, havendo por isso um desperdício da área utilizada. O procedimento efectuado então para se reorganizar os postos de trabalho, teve base em critérios de decisão qualitativos, em que as relações entre os diversos postos de trabalho são expressas qualitativamente, podendo-se indicar a vontade de localizar um posto de trabalho junto a outro do seguinte modo: absolutamente necessário; especialmente importante; importante; aceita-se uma proximidade normal; pouco importante; indesejável. (ver Tabela J1 do anexo J). Desta análise resultou o diagrama inicial de relações, bem como as matrizes correspondente que reflectiam o peso numérico da proximidade desejada entre os postos de trabalho (ver Figura J1 e tabela J2 do Anexo J).

## 5.2 Situação final

Quanto aos valores obtidos, pode-se afirmar que se verificaram valores elevados nas operações consecutivas, visto ser imperativo minimizar os deslocamentos entre os postos de trabalho. De referir, que entre a banca da montagem + teste eléctrico e a máquina de cola/resina devem distar no mínimo 90 cm, para permitir a passagem das paletes com dimensões 120x80 cm. Entre a mesma máquina e a banca da soldadura deve haver uma distância mínima de 120 cm, visto que a máquina de resina também é utilizada para operações de cola nos farolins de autocarros, que por sua vez são transportados para junto da máquina em contentores com dimensões de 127x107 cm. A banca de soldadura nem sempre está localizada na linha, visto haver necessidade de soldar os vidros nos farolins na própria secção de soldadura, sendo que até muitas vezes os próprios vidros dos *sidemarkers* são soldados às blindagens nesta secção, havendo um desperdício de tempo devido à distância excessiva entre a linha dos *sidemarkers* e a secção da soldadura. Portanto é imperativo, disponibilizar uma máquina de soldadura para a linha, para que esta possa laborar em *line flow*, pelo menos nos modelos *SM Omega* e *SM Zeta*. A banca da embalagem ficaria mesmo ao lado da banca da soldadura.

Então no caso dos *SM Omega*, principal referência produzida nesta linha, teríamos um fluxo em U, a começar pela montagem e teste eléctrico na mesa correspondente, em que de seguida colocariam-se as blindagens num gabarit de maneira a dar-se a deposição de resina nas blindagens na máquina da resina, e por fim efectuariam-se as operações de soldadura e embalagem nas bancas indicadas para o efeito.

No caso dos *SM Zeta*, o processo poderia começar na mesa do suporte, onde se efectuariam a estanhagem do led e a união da cablagem com o led (derretendo a solda), efectuando-se a

restante montagem bem como o teste eléctrico na banca seguinte. Ou poderia efectuar-se a operação completa toda na banca da montagem e teste eléctrico, visto que já foram instaladas tomadas para ligar os aparelhos necessários. Em seguida, colocariam-se as peças no gabarit respectivo, activando-se os programas CNC da máquina de forma a haver a deposição de resina nos leds, de maneira a não cobrir a lâmpada. A seguir, as peças seguiriam para a banca da soldadura, sendo que se fosse necessário colocar suporte nos *sidemarkers*, esta operação seria efectuada na banca de embalagem, (mesa bastante semelhante à de suporte), estando desta forma preparada para o efeito. Após esta operação, os *sidemarkers* estariam prontos para serem embalados, no mesmo local.

O *layout* final, permite maior mobilidade ao operário que estiver a fazer a operação de resinagem nos *sidemarkers*, estando adaptado igualmente ao sequenciamento das operações dos restantes *sidemarkers*, em especial do *Psi*, que foi igualmente alvo de uma pequena análise ao longo do projecto. Permite, igualmente a colocação de uma máquina de soldadura na linha extra (junto à mesa de suporte) e a adaptação da mesa de suporte a uma banca de embalagem, quando as necessidades de produção assim o justificarem. Desta forma, formariam-se 2 linhas em U, uma mais estreita que a outra, com 2 máquinas de soldadura e 2 bancas de embalagem na linha. Esta situação, pode ser de especial importância, sobretudo no fabrico do modelo *Omega*, que é o modelo mais produzido.

O *layout* final da linha de montagem de *sidemarkers* pode ser observado na figura seguinte:



**Figura 28 – Layout final da linha de montagem de *sidemarkers***

### 5.3 Conclusões

Com a adopção deste *layout*, a área ocupada pelos postos de trabalho diminuiu de 12,95 para 9,21 m<sup>2</sup>, sendo ainda notório o aumento do espaço no interior da linha, permitindo que os operadores se possam ajudar mutuamente, sempre que necessário. Eliminaram-se igualmente, desperdícios relacionados com a movimentação dos materiais e dos operadores, sendo que não foi possível quantificar estes valores. Após ter sido realizada a reestruturação do *layout* é importante balancear as operações, de modo a que se obtenham valores de *wip* e *lead time* menores com a mudança do ambiente produtivo de *batch flow* para *line flow*.

## 6 Balanceamento das operações

Ao longo deste capítulo pretende-se demonstrar a importância do balanceamento das operações do *SM Omega* e *SM Zeta*, na mudança do ambiente produtivo de *batch flow* para *line flow*, visto que o *one-piece flow* não é possível derivado da automatização do processo de resinação. Com o balanceamento das operações, pretende-se utilizar apenas aqueles que são mais eficientes e aqueles que podem ser realizados com a mão-de-obra disponível na linha de montagem dos *sidemarkers*. Por fim, obtêm-se os custos e os proveitos operacionais relacionados com os balanceamentos das operações idealizados, de forma a determinarem-se as variantes que têm maior lucro para a empresa.

### 6.1 Metodologia

Basicamente, o balanceamento de uma linha constituída por muitas operações, para processamento de um produto, consiste em encontrar a solução para uma das seguintes alternativas:

1. Dado um *cycle time da workstation*, encontrar o menor número de postos de trabalho necessários.
2. Dado um certo número de postos de trabalho, minimizar o *cycle time da workstation*.

Definiram-se então os seguintes passos para balancear a linha de montagem dos *sidemarkers* (Chase et al, 2006):

1. Especificar as relações de sequência entre as operações, através de um diagrama de precedência.
2. Determinar o *cycle time da workstation* necessário ( $C$ ), usando a fórmula (2):

$$C = \frac{\text{Tempo de produção diário}}{\text{Output necessário diário (unidades)}} \quad (2)$$

3. Determinar o número mínimo teórico de *workstations* ( $N_t$ ), necessário para satisfazer a restrição do *cycle time da workstation* (arredondar ao número inteiro maior, acima), segundo a fórmula (3):

$$N_t = \frac{\text{Soma dos tempos das operações (T)}}{\text{Cycle time (C)}} \quad (3)$$

4. Seleccionar a regra primária em que as tarefas vão ser atribuídas às *workstations*, e uma regra secundária para desempatar.
5. Atribuir as operações, uma de cada vez, à primeira *workstation* até que a soma dos tempos das tarefas seja igual ao *cycle time da workstation*, ou até que não seja possível atribuir outras operações devido a restrições de tempo ou de sequência. Repetir este processo para a *workstation 2*, *workstation 3* e por aí adiante até que todas as operações estejam alocadas.
6. Avaliar a eficiência do balanceamento originado, através da fórmula (4):

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{Soma dos tempos das operações (T)}}{\text{Número actual de } workstations (N_a) \times \text{Cycle time da workstation (C)}}$$

7. Se a eficiência não é satisfatória, deve-se rebalancear usando uma regra de decisão diferente.

O segredo de um bom balanceamento está em agrupar as actividades de tal maneira que os tempos de produção em cada *workstation* corresponda ao *cycle time* (ou a um múltiplo do *cycle time* se for necessário mais do que um operador) ou que estejam pouco abaixo. Um balanceamento eficiente minimiza o tempo em vazio.

O ponto 1. desta metodologia de balanceamento está expresso nos fluxogramas dos modelos *Omega* e *Zeta* (ver Figura G1 e Figura G2 do anexo G), em que se verifica que há uma sequência linear entre os processos necessários para a montagem destes produtos. Ou seja, não existem tarefas realizadas em paralelo na obtenção do produto final.

Quanto ao ponto 2., a determinação do *cycle time* da *workstation*, ou seja, do *takt time*, como o sistema de produção adoptado pela empresa é o *pull*, em que se produz apenas após a recepção das encomendas, optou-se por variar a quantidade necessária diária consoante as necessidades das encomendas, de maneira a calcular-se os requisitos de mão-de-obra necessária para a laboração desta linha em *line flow*. Optou-se por esta perspectiva do problema porque a mão-de-obra era escassa na Paulo Mendes, S.A., devido à conjectura económica desfavorável, tendo-se procurado otimizar a utilização deste recurso. Derivado da automatização do processo de resinagem, teríamos então um lote produtivo, L, a circular ao longo da linha de 24 e 18 unidades, nos modelos *Omega* e *Zeta*, que corresponderiam à capacidade dimensionada dos gabarits de resinagem, respectivamente. De referir que os valores obtidos do *cycle time* de cada *workstation*, resultaram da multiplicação da fórmula (2), pelo tamanho do lote, L, utilizado em cada um dos modelos.

Quanto ao ponto 3., parte-se do pressuposto que em cada *workstation*, apenas trabalha um operador. De referir, igualmente que para o cálculo do tempo total das operações em cada modelo foi retirado o tempo de “secagem” dos gabarits, que constituía um “tempo de atraso” da linha, em que o operário não estava a realizar qualquer tarefa e que apenas afectava a capacidade produtiva da linha, se fosse o “*bottleneck*”. Haviam tarefas que estavam automatizadas (deposição de resina), mas que exigiam uma proximidade do operador, de maneira, a assegurar que a tarefa se estava a desenrolar dentro da normalidade. Quanto ao ponto 4., a regra primária em que as tarefas, irão ser atribuídas às *workstations* será a do maior nº de operações seguintes, sendo que caso fosse necessário como critério de desempate, seria atribuída a regra secundária das tarefas com maior duração. Não foi necessário arranjar outros critérios de decisão, devido à simplicidade das redes das operações (linha) e porque os valores de eficiência obtidos foram bastante satisfatórios.

## 6.2 Resultados

Para um estudo mais aprofundado, escolheram-se as variantes *SM Omega b)* e *SM Zeta g)*, visto serem as mais produzidas, nos modelos correspondentes, sendo que os resultados das restantes variantes serão apresentados mais adiante.

As seguintes tabelas, apresentam para um tempo de produção diário de 470 minutos, a variação do *cycle time* da *workstation* consoante os requisitos de produção diária de cada uma das variantes, bem como o número teórico mínimo de *workstations* necessárias para satisfazer as restrições do *takt time* e finalmente, a eficiência dos balanceamentos obtidos.

**Tabela 17 – Variação do *cycle time* da *workstation* consoante a quantidade produzida / dia, assim como o n° de mínimo de *workstations* necessárias e a eficiência dos balanceamentos obtidos, na variante *SM Omega b*)**

Q (Quantidade produzida / dia):	C (Cycle time da <i>workstation</i> (min) / gabarit) = <i>Takt time</i>	N <sub>t</sub> (N° mínimo de <i>workstations</i> )	Eficiência
50	225,60	1	10,27%
100	112,80	1	20,55%
200	56,40	1	41,1%
300	37,60	1	61,65%
400	28,20	1	82,8%
500	22,56	2	51,37%
600	18,80	2	61,65%
700	16,11	2	71,92%
800	14,10	2	82,2%
900	12,53	2	92,47%
1000	11,28	3	68,5%
1100	10,25	3	75,35%
1200	9,40	3	82,2%
1300	8,68	3	89,04%
1400	8,06	3	71,92%
1500	7,52	4	77,06%
1600	7,05	4	82,2%
1700	6,64	4	87,33%
1800	6,27	4	73,98%
1900	5,94	4	78,09%
2000	5,64	5	82,2%
2100	5,37	5	86,3%
2200	5,13	5	64,58%
2300	4,90	5	67,52%
2400	4,70	5	70,45%
2500	4,51	6	73,39%

**Tabela 18 - Variação do *cycle time* da *workstation* consoante a quantidade produzida / dia, assim como o n° de mínimo de *workstations* necessárias e a eficiência dos balanceamentos obtidos na variante *SM Zeta g*)**

Q (Quantidade produzida / dia):	C (Cycle time da <i>workstation</i> (min) / gabarit) = <i>Takt time</i>	N <sub>t</sub> (N° mínimo de <i>workstations</i> )	Eficiência
50	169,20	1	20,84%
100	84,60	1	41,67%
200	42,30	1	83,35%
300	28,20	2	62,51%
400	21,15	2	83,35%
500	16,92	3	69,45%
600	14,10	3	83,35%
700	12,09	3	72,93%
800	10,58	4	66,68%
900	9,40	4	75,01%
1000	8,46	5	69,45%
1100	7,69	5	76,4%
1200	7,05	6	83,35%
1300	6,51	6	77,39%
1400	6,04	6	72,93%
1500	5,64	7	78,14%

Nos espaços assinalados a cores, estão presentes os balanceamentos mais eficientes das operações com diferentes números de *workstations* para produzirem a quantidade correspondente. As células com letras assinaladas a vermelho, indicam que as quantidades respectivas apenas podem ser realizadas com *overtime*, ou com recurso a outras regras que possibilitem que a soma das operações realizadas na *workstation* não exceda o *cycle time* da *workstation*.

Em seguida, apresentam-se as tabelas com as operações necessárias ao fabrico da variante b) do *SM Omega* e da variante g) do *SM Zeta*.

**Tabela 19 – Quadro síntese das operações necessárias ao fabrico de 24 *SM Omega* variante b) e respectiva duração**

Simbologia	Operações	Nº de tarefas seguintes	Duração (min)
	Operação_Montagem <i>SM_Omega</i> a) & b)		
A	Colocar o led na blindagem, assim como ligar os terminais da cablagem ao led utilizando o alicate de pontas	10	5,44
	Operação_Teste_Elétrico <i>SM_Omega</i> ( <i>poka-yoke</i> no led)		
B	Pegar na blindagem e colocar no suporte, que aquilo dá automaticamente luz, ou não.	9	0,89
	Operação_Resinagem <i>SM_Omega</i>		
C	Colocar as peças no gabarit, que se encontra em cima de um caixote à esquerda da máquina de resinagem	8	1,14
D	Colocar a grelha no gabarit e colocá-lo na mesa de resinagem	7	0,26
(E)	Iniciar o programa nº15 de CNC de deposição de resina (programa único)	6	3,02
(F)	<b>Pegar no gabarit e colocá-lo em cima doutro contentor, à direita da máquina (secagem ar comprimido) (tempo de atraso)</b>	<b>5</b>	<b>4,11</b>
G	Tirar a grelha do gabarit e tirar os side-markers do gabarit	4	0,78
	Operação_Soldadura <i>SM_Omega</i>		
H	Soldar o vidro na blindagem através de uma máquina de ultra-sons	3	4,47
	Operação_Embalagem <i>SM_Omega</i> b) & d)		
I	Pega nos side-markers que estão à esquerda e começa a enrolar a cablagem	2	1,87
J	Pega no saco plástico que está em frente e coloca o side-marker lá dentro, enrola o saco, pega na fita-cola que se encontra à esquerda e cola o saco	1	4,78
K	Colocar os side-markers embalados na caixa de despacho	0	0,54
	<b>Operação_Total <i>SM_Omega</i> b)</b>		<b>27,28</b>

**Tabela 20 – Quadro síntese das operações necessárias ao fabrico de 18 SM Zeta variante g) e respectiva duração**

Simbologia	Operações	Nº de tarefas seguintes	Duração (min)
	<b>Operação_Montagem SM_Zeta a), b), f) &amp; g)</b>		
A'	Ajustar a cablagem à blindagem (c/ conector)	16	2,30
B'	Estanhar o Led e União da cablagem com o Led (derretendo a solda)	15	4,75
C'	Ajustar a cablagem c/ o Led à blindagem	14	2,66
	<b>Operação Teste_Eléctrico SM_Zeta (através do conector) a), b), f) &amp; g)</b>		
D'	Pegar no conector do SM Zeta e colocá-lo no suporte (verificar se o led dá luz) e com a outra mão segurar na cablagem	13	1,12
E'	Pega na cablagem do side-marker com uma mão e com a outra vai buscar a manga de fix.rápida a um saco, colocando-a de seguida na peça final (c/conector)	12	1,59
	<b>Operação_Resinagem SM_Zeta</b>		
F'	Colocar as peças no gabarit, que se encontra em cima de um caixote à esquerda da máquina de resinagem	11	0,76
G'	Colocar a grelha no gabarit e colocá-lo na mesa de resinagem	10	0,25
(H')	Iniciar o programa nº 13 de CNC de deposição de resina	9	1,11
I'	Tempo de setup de mudança do programa CNC	8	0,47
(J')	Iniciar o programa nº 14 de CNC de deposição de resina	7	3,61
(K')	<b>Pegar no gabarit e colocá-lo em cima doutro contentor, à direita da máquina, para secar (ar comprimido) (“tempo de atraso”)</b>	<b>6</b>	<b>4,01</b>
L'	Tirar a grelha do gabarit e tirar os side-markers do gabarit	5	0,52
	<b>Operação_Soldadura SM_Zeta</b>		
M'	Soldar o vidro na blindagem através de uma máquina de ultra-sons	4	4,71
	<b>Operação_Suporte SM_Zeta e), f) &amp; g)</b>		
N'	Pega na blindagem montada e no suporte necessário, colocando-os na placa de nylon, que tem o molde do suporte, de maneira a colocar as buchas e os pinos nos furos existentes. A fixação dá-se com o martelo.	3	7,32
	<b>Operação_Embalagem SM_Zeta b), d), e) &amp; g)</b>		
O'	Enrolar a cablagem muito rapidamente	2	0,61
P'	Pega no saco plástico que está em frente e coloca o side-marker lá dentro. Enrola o saco, pega na fita-cola que se encontra na mesa e cola o saco	1	3,03
Q'	Colocar os side-markers embalados na caixa de despacho	0	0,45
	<b>Operação_Total SM_Zeta g)</b>		<b>39,27</b>

Após, a observação dos quadros anteriores com a descrição e respectiva duração das operações, bem como da análise da Tabela 6 e Tabela 7, obtêm-se os seguintes resultados com o balanceamento das operações.

1. *Cycle time*: 5,44 min / gabarit (SM Omega b)); 7,32 min / gabarit (SM Zeta g)).
2. *Bottleneck*: A - Colocar o led na blindagem, assim como ligar os terminais da cablagem ao led utilizando o alicate de pontas (SM Omega b)); N' – Pega na blindagem montada e no suporte necessário, colocando-os na placa de nylon, que tem o molde do suporte, de maneira a colocar as buchas e os pinos nos furos existentes. A fixação dá-se com o martelo (SM Zeta g)).

O máximo teórico de produção diária é dado pelo arredondamento à unidade abaixo, da fórmula (5):

$$\text{Máximo de produção diária} = \frac{\text{Tempo de produção diário}}{\text{Cycle time}} \times L \quad (5)$$

Sendo que no caso do *SM Omega b)*, a produção máxima diária teórica é de 2064 unidades e de 1152 unidades no caso do *SM Zeta g)*.

É importante avaliar o balanceamento das operações nas *workstations*, através da quantidade produzida em cada uma delas, *Q*, e dos desvios percentuais da duração das operações necessárias ao fabrico do *SM Omega b)* e *SM Zeta g)* em cada *workstation*, relativamente ao *cycle time* da *workstation*. Estes resultados podem ser consultados nas seguinte tabelas:

**Tabela 21 – Quadro – resumo dos balanceamentos das operações *SM Omega b)* às diferentes *workstations* e desvios de tempo associados**

SM Omega b)	Operações	Duração (min)	Desvio relativamente ao <i>cycle time</i> da <i>workstation</i>
<b>Q= 50; 100; 200; 300; 400</b>			
<i>Workstation 1</i>	A, B, C, D, (E), G, H, I, J, K	23,18	17,8 %
<b>Q= 500; 600; 700; 800; 900</b>			
<i>Workstation 1</i>	A, B, C, D, (E), G	11,52	8,05%
<i>Workstation 2</i>	H, I, J, K	11,65	7,01%
<b>Q= 1000; 1100; 1200; 1300</b>			
<i>Workstation 1</i>	A, B, C, D	7,73	10,94%
<i>Workstation 2</i>	(E), G, H	8,26	4,76%
<i>Workstation 3</i>	I, J, K	7,19	17,17%
<b>Q= 1400; 1500; 1600; 1700</b>			
<i>Workstation 1</i>	A, B	6,33	4,63%
<i>Workstation 2</i>	C, D, (E), G	5,20	21,69%
<i>Workstation 3</i>	H, I	6,33	4,55%
<i>Workstation 4</i>	J, K	5,32	19,80%
<b>Q= 1800; 1900; 2000; 2100 (overtime)</b>			
<i>Workstation 1</i>	A	5,44	1,22%
<i>Workstation 2</i>	B, C, D, (E)	5,31	1,22%
<i>Workstation 3</i>	G, H	5,25	2,29%
<i>Workstation 4</i>	I	1,87	65,26%
<i>Workstation 5</i>	J, K	5,32	0,93%

**Tabela 22 - Quadro – resumo dos balanceamentos das operações *SM Zeta g)* às diferentes *workstations* e desvios de tempo associados**

<i>SM Zeta g)</i>	Operações	Duração (min)	Desvio relativamente ao <i>cycle time</i> da <i>workstation</i>
<b>Q= 50; 100; 200</b>			
<i>Workstation 1</i>	A', B', C', D', E', F', G', (H'), I', (J'), L', M', N', O', P', Q'	35,25	16,67%
<b>Q= 300; 400</b>			
<i>Workstation 1</i>	A', B', C', D', E', F', G', (H'), I', (J'), L'	19,14	9,50%
<i>Workstation 2</i>	M', N', O', P', Q'	16,11	23,81%
<b>Q= 500; 600</b>			
<i>Workstation 1</i>	A', B', C', D', E', F', G'	13,44	4,70%
<i>Workstation 2</i>	(H'), I', (J'), L', M'	10,42	26,12%
<i>Workstation 3</i>	N', O', P', Q'	11,40	19,15%
<b>Q= 700</b>			
<i>Workstation 1</i>	A', B', C', D'	10,84	10,27%
<i>Workstation 2</i>	E', F', G', (H'), I', (J'), L'	8,30	31,35%
<i>Workstation 3</i>	M', N'	12,03	0,45%
<i>Workstation 4</i>	O', P', Q'	4,08	66,22%
<b>Q= 800; 900</b>			
<i>Workstation 1</i>	A', B'	7,06	24,91%
<i>Workstation 2</i>	C', D', E', F', G', (H'), I'	7,96	15,35%
<i>Workstation 3</i>	(J'), L', M'	8,84	5,96%
<i>Workstation 4</i>	N', O'	7,92	15,71%
<i>Workstation 5</i>	P', Q'	3,48	63,01%
<b>Q= 1000; 1100; 1200 (overtime)</b>			
<i>Workstation 1</i>	A', B'	7,06	0,12%
<i>Workstation 2</i>	C', D', E', F', G'	6,38	9,51%
<i>Workstation 3</i>	(H'), I', (J'), L'	5,70	19,11%
<i>Workstation 4</i>	M'	4,71	33,13%
<i>Workstation 5</i>	N'	7,32	3,79%
<i>Workstation 6</i>	O', P', Q'	4,08	42,08%
<b>Q= 1300 (overtime)</b>			
<i>Workstation 1</i>	A'	2,30	64,59%
<i>Workstation 2</i>	B'	4,75	26,95%
<i>Workstation 3</i>	C', D', E', F', G'	6,38	1,97%
<i>Workstation 4</i>	(H'), I', (J'), L'	5,70	12,37%
<i>Workstation 5</i>	M'	4,71	27,55%
<i>Workstation 6</i>	N'	7,32	12,44%
<i>Workstation 7</i>	O', P', Q'	4,08	37,26%

Estes foram os balanceamentos obtidos mais eficientes através da heurística utilizada, sendo que as afectações mais eficientes das operações às *workstations* fazem sentido que também sejam utilizadas na produção de menores quantidades, em que exijam o mesmo nº de trabalhadores. Sempre que for necessário produzir apenas 400 e 200 unidades por dia, nas variantes *SM Omega b)* e *SM Zeta g)*, respectivamente, a linha pode operar no modo *chase*, em que o único operário existente leva o produto à linha inteira. Para quantidades superiores, há a necessidade de mudar o *modus operandi* da linha, com a inclusão de mais *workstations*, passando a laborar no modo *fixed stations*.

Com os balanceamentos das operações segundo a regra primária do maior nº de operações seguintes, verificou-se que no caso da variante b) dos *SM Omega*, o nº teórico de *workstations*,  $N_t$ , corresponde ao nº efectivo de *workstations*,  $N_a$ . Já no caso dos *SM Zeta g*), verificam-se diferenças entre os valores de  $N_t$  e  $N_a$ , para quantidades de 700, 900 e 1300 *sidemarkers*, em que as necessidades efectivas de mão-de-obra correspondem a um operador adicional dos requisitos teóricos, definidos anteriormente. Os resultados dos cenários de produção mais eficientes estão expressos nas Tabelas 23 e 24.

**Tabela 23 – Cenários de produção mais eficientes de *SM Omega b*) com o nº de *workstations* realmente necessárias,  $N_a$**

Q (Quantidade produzida / dia):	C (Cycle time da workstation (min) / gabarit) =Takt time	$N_a$ (Nº actual de workstations)	Eficiência
400	28,20	1	82,8%
900	12,53	2	92,47%
1300	8,68	3	89,04%
1700	6,64	4	87,33%
2100	5,37	5	86,3%

**Tabela 24 – Cenários de produção mais eficientes de *SM Zeta g*) com o nº de *workstations* realmente necessárias,  $N_a$**

Q (Quantidade produzida / dia):	C (Tempo de ciclo da "workstation" (min) / gabarit) =Takt time	$N_a$ (Nº actual de "workstations")	Eficiência
200	42,3	1	83,35%
400	21,15	2	83,35%
600	14,1	3	83,35%
700	12,09	4	72,93%
900	9,4	5	75,01%
1200	7,05	6	83,35%
1300	6,51	7	77,39%

### 6.3 Capacidade produtiva dos modelos *SM Omega* e *SM Zeta* (situação inicial vs. situação final)

A melhor maneira de comparar a capacidade produtiva da situação inicial e final, quanto às operações necessárias para se fabricar um *SM Omega*, consiste na análise dos “*bottlenecks*” que afectava cada uma das variantes numa situação inicial e numa situação posterior, após terem sido registadas as melhorias, com o pressuposto do funcionamento em *line flow*. Verificou-se que a secagem da resina dos *sidemarkers* através da ventoinha, era o “*bottleneck*” das variantes a1), b), c1) e d) do *SM Omega*, em que embora durante este tempo, não houvesse trabalho do operador, este constituía um “tempo de atraso” da linha, limitando-a sobremaneira, tendo este problema sido resolvido através da adopção de um sistema de ar comprimido. As variantes a2), a3) e c2) tinham como “*bottleneck*”, a operação “enrolar cablagem”, sendo que isto acontecia devido ao longo comprimento das cablagens destes *sidemarkers*. Este problema foi resolvido com a externalização desta operação à Pameltronic, Lda. A tabela seguinte representa a capacidade produtiva inicial das variantes *SM Omega*.

**Tabela 25 – Capacidade produtiva das variantes *SM Omega*, pressuposto *line flow* (situação inicial)**

Variantes	<i>Cycle time</i> (min / gabarit)	“ <i>Bottleneck</i> ”	Máximo de Produção Diária (unidades)	<i>Throughput rate</i> (gabarit / min)
SM_Omega a1), b), c1), d)	6,72	“Secagem resina (ventoinha)”	1656	0,149
SM_Omega a2), a3), c2)	8,58	“Enrolar cablagem”	1296	0,116

Já quanto à comparação da capacidade produtiva da situação inicial e final dos tempos produtivos do *SM Zeta*, esta era bastante mais complicada, visto que sem a automatização do processo de resinagem, apenas haveria uma peça de cada vez a ser trabalhada nessa operação, o que implicaria que a secagem da resina, com o auxílio da ventoinha, demorasse bastante tempo, sendo o “*bottleneck*”. Estaria-se então a comparar fluxos produtivos, com lotes de dimensões diferentes. Então, se tivéssemos uma linha a laborar com fluxo unitário, obteríamos os seguintes resultados de produtividade:

**Tabela 26 - Capacidade produtiva das variantes *SM Zeta*, pressuposto *line flow* (situação inicial)**

Variantes	<i>Cycle time</i> (min / <i>sidemarker</i> )	“ <i>Bottleneck</i> ”	Máximo de Produção Diária (unidades)	<i>Throughput rate</i> ( <i>simarker</i> / min)
SM_Zeta a), b), c), d), e), f)	3,95	“Secagem resina (ventoinha)”	118	0,253

Através da análise do quadro anterior, constata-se que embora a secagem da resina, não seja uma operação efectuada pelo operador, esta limita a capacidade produtiva sobremaneira, derivado do processo manual de resinagem peça-a-peça.

Com as alterações efectuadas nas operações de fabrico das diversas variantes dos *SM Omega* e *SM Zeta*, obteriam-se os resultados expressos no quadro seguinte, quanto à capacidade produtiva. Conclui-se que a operação A, representa o “*bottleneck*” da produção em todas as variantes do *SM Omega* e que a operação B’, representa o “*bottleneck*” da produção nas variantes a), b), c) e d) do *SM Zeta*, sendo uma possível solução para esta limitação, a aquisição de uma máquina de estanhagem extra, de maneira a poder-se realizar esta operação em paralelo noutra *workstation*. A operação N’ é o “*bottleneck*” para as restantes variantes *SM Zeta*.

**Tabela 27 - Capacidade produtiva das variantes *SM Omega* e *SM Zeta*, pressuposto *line flow* (situação final)**

Variantes	<i>Cycle time</i> (min / gabarit)	“ <i>Bottleneck</i> ”	Máximo de Produção Diária (unidades)	<i>Throughput rate</i> (gabarit / min)
SM_Omega a), b), c), d)	5,44	A	2064	0,184
SM_Zeta a), b), c), d)	4,75	B’	1764	0,210
SM_Zeta e), f), g)	7,32	N’	1152	0,137

Nota: O *throughput rate* representa o inverso do *cycle time*.

### 6.3.1 Soluções para a obtenção de uma produção diária superior à máxima teórica estabelecida

Caso o objectivo fosse produzir mais unidades do que o máximo teórico possível, podia-se recorrer a diversas alternativas, de maneira a conseguir atingi-lo, de entre as quais se destacam:

1. Realizar a operação A e N', com trabalhadores mais qualificados, visto que a operação excedia o *cycle time* da *workstation* por uma margem reduzida, um trabalhador mais rápido podia conseguir corresponder ao tempo desejado.
2. Dividir as tarefas, em mais do que uma *workstation*, se necessário, de maneira a que algumas peças a serem processadas, na operação A fossem realizadas em duas *workstations*, aproveitando o tempo livre das restantes *workstations*, passando a constituírem-se *overlapping stations*.
3. Externalizar a operação A para a Pameltronic Lda..
4. Partilhar as tarefas, na medida em que o operário da *workstation* adjacente assistia na realização da tarefa, por exemplo no caso da operação A na “colocação do led na blindagem” ou pelo manuseamento exclusivo do “alicate de pontas” e na operação N', através da “colocação dos pinos e buchas nos sidemarkers”, “colocação do sidemarker e do suporte na base de apoio” ou pelo “manuseamento exclusivo do “martelo”.
5. Realizar a operação A em duas *workstations* paralelas, sendo que assim a operação J passaria a ser o novo “*bottleneck*” e haveria um acréscimo do custo de mão-de-obra.
6. Construir os mecanismos pneumáticos modelados, de maneira a reduzir-se o tempo da operação N', sendo que assim provavelmente a operação B' passaria a ser o novo “*bottleneck*”.
7. A utilização de *overtime*, visto que sempre que a produção diária está aquém do desejado deve-se usar *overtime*, sendo que existem 2 variantes possíveis de *overtime* das operações:

- a) Quando se quer atingir um valor superior ao máximo de produção diária, visto que a duração do “*bottleneck*” excede o *cycle time* da *workstation*, sendo o *overtime* dado pela expressão (6):

(6)

$$Overtime (min) = \frac{\text{Tempo de produção diário} \times \text{Quantidade produzida c/ overtime}}{\text{Máximo de produção diária}} - \text{Tempo de produção diário}$$

- b) Quando a soma das operações de uma *workstation* é ligeiramente superior ao *cycle time* da *workstation* correspondente, então o *overtime* para uma quantidade inferior ao máximo de produção diária é dado pela fórmula (7):

$$Overtime (min) = \left( \frac{\text{Tempo de produção diário} \times \text{Quantidade produzida c/ overtime}}{\frac{\text{Tempo de produção diário}}{\text{Duração das operações na "workstation"}}} \right) \times \text{Tamanho do lote} - \text{Tempo de produção diário} \quad (7)$$

Então, caso se pretendesse produzir um número superior de unidades ao máximo de produção diária os valores de *overtime*, para as diferentes quantidades seriam:

SM Omega b)

*Overtime* (Q=2100) = 8 min.; *Overtime* (Q=2200) = 30 min.; *Overtime* (Q=2300) = 53 min.;  
*Overtime* (Q=2400) = 76 min.; *Overtime* (Q=2500) = 99 min.

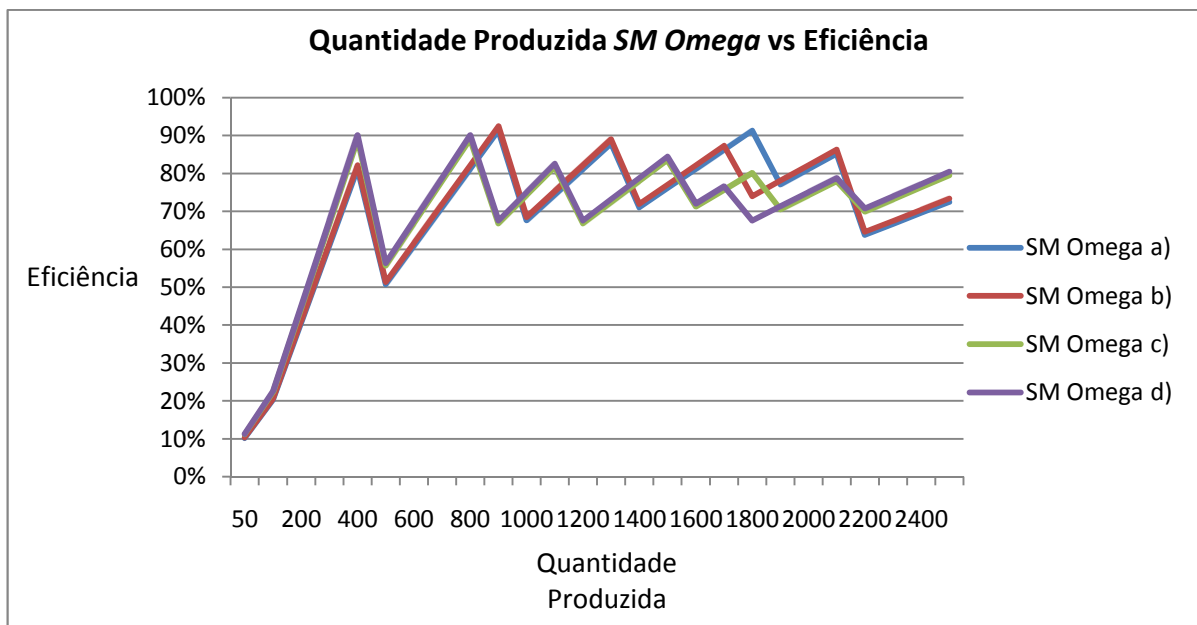
SM Zeta g)

*Overtime* (Q=1200) = 19 min.; *Overtime* (Q=1300) = 60 min.; *Overtime* (Q=1400) = 101 min.;  
*Overtime* (Q=1500) = 141 min.

8. Reengenharia, visto que sempre que for possível deve-se redesenhar o produto de maneira a reduzir drasticamente a duração da sua montagem (operação A) e ainda, provavelmente com a mudança dos materiais dos pinos e buchas, ou com a alteração do design dos suportes é possível reduzir os tempos das operações de suporte (operação N’).

**6.4 Influência da quantidade produzida nas diferentes variantes de SM Omega e SM Zeta nos diversos balanceamentos das operações**

Os gráficos seguintes demonstram a influência da quantidade produzida em cada uma das variantes *SM Omega* e *SM Zeta* na eficiência dos balanceamentos obtidos das diferentes operações, em que ao primeiro máximo local de cada gráfico, corresponde a necessidade de uma *workstation* para realizar as operações, sendo que ao segundo máximo local correspondem duas *workstations*, e por aí adiante...



**Figura 29 – Eficiência dos balanceamentos em função da quantidade produzida no SM Omega**



**Figura 30 – Eficiência dos balanceamentos em função da quantidade produzida no SM Zeta**

### 6.5 Custos e Proveitos Operacionais relacionados com os balanceamentos das operações obtidos, nas diferentes variantes de SM Omega e SM Zeta

Baseado nos custos de matérias-primas, mão-de-obra (normal e *overtime*), bem como no preço unitário de venda de cada sidemarker, expressos nas seguintes tabelas, é possível identificar os lucros possíveis de se obter diariamente com o balanceamento das operações, caso hajam grandes necessidades de produção.

**Tabela 28 – Preço de venda unitário das diferentes variantes de SM Omega e SM Zeta**

Variantes	Preço de venda unitário (€)
SM Omega a)	2,83
SM Omega b)	2,56
SM Omega c)	4,05
SM Omega d)	3,64
SM Zeta a)	2,8
SM Zeta b)	2,4
SM Zeta c)	-
SM Zeta d)	1,85
SM Zeta e)	1,8
SM Zeta f)	2,91
SM Zeta g)	2,62

**Tabela 29 – Custos unitários das matérias – primas que são utilizadas no fabrico dos SM Omega e SM Zeta**

Matéria - Prima	Necessidade / sidemarker	Custo (€)
Blindagem SM Omega	1	0,02
Vidro SM Omega	1	0,03
Placa Led SM Omega	1	0,67
Cablagem SM Omega > 0,5 metros	1	0,46
Cablagem SM Omega ≤ 0,5 metros	1	0,25
Cabl. > 0,5 mt Fix. Rápida SM Omega	1	1,72
Cabl. ≤ 0,5 mt Fix. Rápida SM Omega	1	1,10
Blindagem SM Zeta	1	0,02
Vidro SM Zeta	1	0,06
Placa Led SM Zeta / Lambda	1	0,39
Cablagem SM Zeta > 0,5 metros	1	-
Cablagem SM Zeta ≤ 0,5 metros	1	0,10
Cabl. > 0,5 mt Fix. Rápida SM Zeta	1	1,56
Cabl. ≤ 0,5 mt Fix. Rápida SM Zeta	1	0,45
Tampa Conect. Fix. Rápida	1	0,01
Suporte SM Zeta	1	0,04
Bucha p/ Suporte Zeta	2	0,00023
Pino p/ Suporte Zeta	2	0,00023
Resina Sika Melt	0,00305 kg	0,05

**Tabela 30 – Custos de Mão-de-Obra / Trabalhador**

Salário médio / dia (€)	25
Overtime / h (€)	5

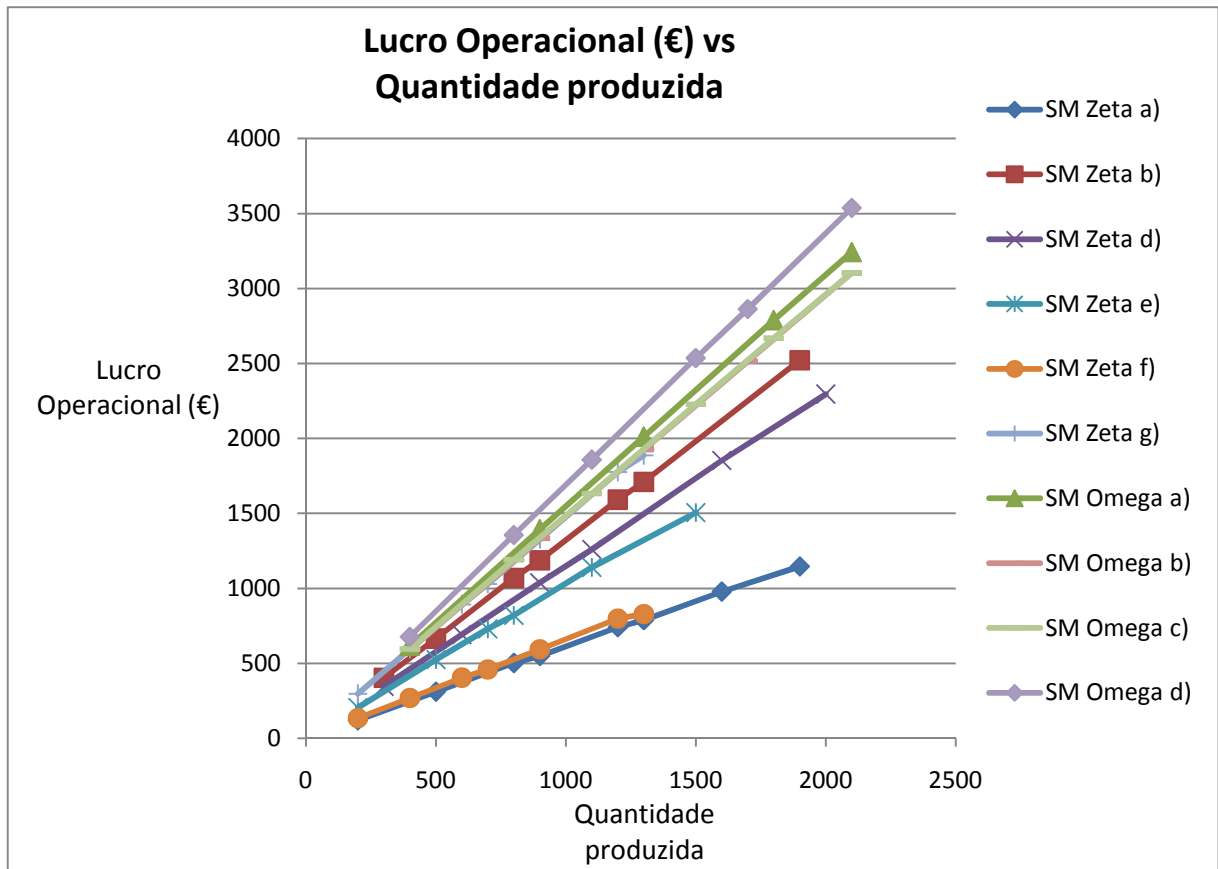
Então o quadro final que espelha os lucros operacionais obtidos diariamente, é dado pela diferença das receitas pela venda das diferentes quantidades produzidas de cada uma das variantes, com os custos de matéria-prima dos modelos correspondentes e os custos de mão-de-obra, associados aos balanceamentos obtidos, através da heurística utilizada.

**Tabela 31 – Quadro síntese dos custos e proveitos operacionais obtidos com os balanceamentos mais eficientes das diferentes quantidades produzidas de *SM Omega* e *SM Zeta***

Variantes	Quantidade produzida	Nº de trabalhadores	Custo Mão-de-obra (€) / dia	Custo Overtime (€) / dia	Custo Matéria – prima (€) / dia	Receitas (€) / dia	Lucro operacional (€) / dia
<b>SM Omega a)</b>	400	1	25		492	1134	617
	900	2	50		1106	2551	1395
	1300	3	75		1598	3684	2012
	1800	4	100		2212	5101	2789
	2100	5	125	3	2581	5951	3242
<b>SM Omega b)</b>	400	1	25		407	1023	591
	900	2	50		916	2301	1335
	1300	3	75		1323	3324	1925
	1700	4	100		1730	4346	2516
	2100	5	125	3	2137	5369	3103
<b>SM Omega c)</b>	400	1	25		999	1620	596
	800	2	50		1998	3240	1192
	1100	3	75		2748	4455	1632
	1500	4	100		3747	6075	2228
	1800	5	125		4497	7290	2668
	2100	6	150	4	5246	8505	3105
<b>SM Omega d)</b>	400	1	25		751	1454	678
	800	2	50		1502	2909	1356
	1100	3	75		2066	3999	1858
	1500	4	100		2817	5454	2536
	1700	5	125		3193	6181	2863
	2100	6	150	4	3944	7635	3537
<b>SM Zeta a)</b>	200	1	25		416	560	119
	500	2	50		1039	1400	311
	800	3	75		1663	2240	502
	900	4	100		1871	2520	549
	1200	5	125		2495	3360	740
	1300	6	150		2703	3640	787
	1600	7	175		3326	4480	979
	1900	8	200	24	3950	5320	1146
<b>SM Zeta b)</b>	300	1	25		291	720	404
	500	2	50		485	1200	665
	800	3	75		776	1920	1069
	900	4	100		873	2160	1187
	1200	5	125		1163	2880	1592
	1300	6	150		1260	3120	1710
	1900	7	175	21	1842	4560	2522
<b>SM Zeta c)</b>	300	1	25		155	0	-
	600	2	50		309	0	-
	800	3	75		413	0	-
Continua							

Continuação							
Variantes	Quantidade produzida	Nº de trabalhadores	Custo Mão-de-obra (€) / dia	Custo Overtime (€) / dia	Custo Matéria – prima (€) / dia	Receitas (€) / dia	Lucro operacional (€) / dia
<b>SM Zeta c)</b>	1100	4	100		567	0	-
	1600	5	125		825	0	-
	2000	7	175	36	1031	0	-
<b>SM Zeta d)</b>	300	1	25		184	555	346
	600	2	50		368	1110	692
	900	3	75		552	1665	1038
	1100	4	100		675	2035	1260
	1600	5	125		982	2960	1853
	2000	6	150	27	1227	3700	2296
<b>SM Zeta e)</b>	200	1	25		130	360	205
	500	2	50		325	900	525
	700	3	75		455	1260	730
	800	4	100		520	1440	820
	1100	5	125		715	1980	1140
	1500	6	150	71	975	2700	1505
<b>SM Zeta f)</b>	200	1	25		423	583	135
	400	2	50		846	1166	270
	600	3	75		1269	1748	404
	700	4	100		1481	2040	459
	900	5	125		1904	2623	594
	1200	6	150	10	2538	3497	799
	1300	7	175	35	2750	3788	828
<b>SM Zeta g)</b>	200	1	25		201	524	298
	400	2	50		402	1048	596
	600	3	75		603	1572	893
	700	4	100		704	1834	1030
	900	5	125		905	2358	1328
	1200	6	150	10	1207	3144	1777
	1300	7	175	35	1307	3406	1888

Para uma melhor compreensão dos dados obtidos na tabela anterior, desenhou-se o seguinte gráfico que expressa a relação entre o lucro operacional (€), que se pode obter com cada variante dos modelos em função da quantidade produzida diariamente.



**Figura 31 – Lucro Operacional (€) vs Quantidade Produzida dos Balanceamentos mais eficientes dos SM Omega e SM Zeta**

## 6.6 Conclusões

Analisando o gráfico, conclui-se que as variantes com maior margem de lucro em termos operacionais são a a) e d), no que diz respeito aos *SM Omega* e as variantes b) e d) quanto aos *SM Zeta*. Por outro lado, as variantes com menor lucralidade são os variantes *SM Zeta* a) e f), sendo que os modelos *Omega* apresentam valores semelhantes de lucro entre si. Analisando por exemplo, as variantes *SM Omega* a) e *SM Zeta* a), vemos que para preços de venda unitários muito semelhantes, obtêm-se menores custos de matérias-primas associados à primeira variante, assim como menores custos de mão-de-obra para a realização das mesmas quantidades, devido à menor duração total das operações necessárias para o fabrico do produto, bem como a menor duração do “bottleneck” A. Salienta-se igualmente, o facto do lucro operacional diário aumentar de uma forma linear, à medida que a quantidade produtiva necessária aumenta. De referir, que não é possível obter dados de rendibilidade do *SM Zeta* c), visto que embora tenha sido escolhido para análise das suas operações, com base nas referências do catálogo dos *sidemarkers*, até ao momento, ainda não foi encomendada qualquer quantidade desta variante, sendo por isso impossível determinar um preço de venda unitário.

## 7 Conclusões e perspectiva de trabalho futuro

Com a automatização e reengenharia dos processos, nomeadamente no processo de resinagem, que conduziram a que na maior parte dos casos, o operador pudesse desempenhar uma actividade complementar à realizada pela máquina, e com o alargamento e delegação de responsabilidades (*downsizing* e *empowerment*), tem-se proporcionado um maior grau de liberdade aos operadores, alargando assim um pouco a dimensão dos elementos de trabalho a considerar e ligando-os, cada vez mais a tarefas integradas e não a tarefas elementares.

Esta automatização dos processos, derivada das limitações da máquina de resina, limitou um dos objectivos pensados para o projecto, a passagem do sistema produtivo *batch flow* para *one-piece flow*, tendo ficado pré-estabelecido o futuro funcionamento da linha de montagem dos sidemarkers no sistema de produção *line flow*, com lotes de 24 e 18 unidades nos modelos *Omega* e *Zeta*, respectivamente.

Tendo em conta então, o estudo teórico realizado quanto ao balanceamento das operações dos *SM Omega* e *Zeta*, de modo a permitir o *line flow*, é necessário tecer algumas considerações que podem complicar o problema do balanceamento da linha de montagem dos *sidemarkers*, nomeadamente a variabilidade de tempos de operação, visto que além dos tempos recolhidos não serem os mesmos para todos os operadores, estes evoluem positivamente com o desenrolar da produção (curva da experiência), correndo-se o risco do balanceamento efectuado não ser o mais indicado. Além do mais, o tempo necessário para que um ser humano realize uma operação varia muito, relacionado também com factores como, problemas com o manuseamento de materiais ou a fadiga, sendo que a introdução de “*buffers*” de material entre as *workstations* ou mesmo o atraso de toda a linha de montagem para suportar estes atrasos possam solucionar este problema. Como outras condicionantes do balanceamento das operações temos: a produção de produtos múltiplos na mesma linha de montagem, sendo que neste caso o balanceamento não será óptimo para nenhum dos produtos e os factores sociais, sempre que se verificarem *cycle times* demasiado curtos, provocando assim efeitos nefastos no trabalhador. Mas, a principal limitação, quanto aos balanceamentos obtidos, trata-se da mão-de-obra necessária, visto que a mão-de-obra disponível na empresa é reduzida, tendo em conta a conjectura económica desfavorável actual e a própria dimensão da empresa.

De referir, que o balanceamento das operações efectuado, tentou responder a flutuações de procura dos produtos por parte dos clientes, de maneira a determinar-se as necessidades de mão-de-obra para a produção das quantidades correspondentes. Tendo em conta as diferentes variantes de *SM Omega* e *Zeta*, tentou-se achar os balanceamentos mais eficientes, do ponto de vista teórico, e a determinação dos respectivos custos (mão-de-obra e matéria-prima) e proveitos (vendas) operacionais que advinham da produção das encomendas recebidas, com base nesses balanceamentos. Estas flutuações de procura dos produtos por parte do mercado, em que cada vez mais os clientes optam por encomendas mais pequenas, obrigam à constante redefinição do *cycle time* das *workstations*, obrigando assim a um constante rebalanceamento da linha. Isto tem efeitos negativos nos trabalhadores, visto que demoram algum tempo a aprenderem e habituarem-se aos novos trabalhos, de maneira a atingir os valores de eficiência pretendidos. Assim, provavelmente o caminho a tomar será, o de definir um determinado *cycle time* da *workstation* de maneira a produzir um certo conjunto de produtos, enquanto que as variações na procura podem ser absorvidas por um “*buffer*” de produtos acabados.

Com a implementação, em definitivo, na linha de produção dos sidemarkers, do sistema produtivo *line flow*, com o sequenciamento das operações a ser baseado na heurística utilizada e após ter sido feita uma reestruturação do *layout*, que permitiu uma redução do espaço ocupado pelas diferentes bancas de trabalho e ao mesmo tempo, o aumento da área livre no interior da linha, esperam-se obter valores de *wip*, *lead time* e *cycle time* cada vez menores à medida que forem igualmente, introduzidas novas melhorias nos processos e fluxos produtivos.

Com a implementação do OEE, “*Overall equipment effectiveness*”, como medida de eficiência da produção da linha, espera-se conseguir um maior estudo da utilização geral das instalações, do tempo e material para as diferentes operações de fabrico, quantificando assim o desempenho da linha de produção relativamente à sua capacidade, durante os períodos em que está programada o seu funcionamento.


Como perspectivas de trabalho futuro, é realmente importante verificar se os balanceamentos das operações baseadas nos tempos produtivos definidos dos *SM Omega* e *SM Zeta* realmente são eficientes na prática, o que em caso contrário, dará lugar à necessidade de rebalancear as operações. Quanto à automatização dos processos, é imperativo construir o poka-yoke de fixação de suporte, nos modelos *Zeta*, visto esta operação constituir actualmente um “*bottleneck*” nas referências envolvidas e construir os gabarits modelados para os diferentes sidemarkers (Psi, Kappa, Lambda, etc.), de modo a poderem ser elaborados os respectivos programas de CNC de deposição de resina. Mas a principal prioridade, dados os requisitos de encomendas, passa pela construção dos gabarits para o modelo *Psi*, em que o processo de resinagem é realizado junto aos conectores, nas referências AMP ou junto à cablagem nas referências CABO PLANO.

## Referências


- Anon, 1988, "Making life easier in work processing areas", *Modern Materials Handling*, 43(3), 49-52.
- Askin, R.G., Standridge, C, 1993, "Modeling and Analysis of Manufacturing Systems", Wiley, New York, USA.
- Calarge, F.A., Davanso, J.C., 2004, "Conceito de Dispositivos à Prova de Erros Utilizados na Meta do Zero Defeito em Processos de Manufatura", Universidade Metodista de Piracicaba, Sta Bárbara d'Oeste, Brasil.
- Carravilla, A., 1998, "Layouts e Balanceamento de Linhas", FEUP, Porto, Portugal.
- Chase, R., Jacobs, F. e Aquilano, N., 2006, "Operations Management for Competitive Advantage", McGraw-Hill, Nova Iorque, USA.
- Conti, R.F., 1996, "Variable manning JIT: an innovative answer to team absenteeism", *Production and Inventory Management*, 1<sup>st</sup> quarter, 24-27.
- Edwards, J.N., 1993, "Inside a smoother running engine: an American giant transforms itself", *Target: The Periodical of the Association for Manufacturing Excellence*, 9(3), 5-11.
- EMS Consulting Group, 2007, "Achieving One Piece Flow", último acesso em Junho de 2009. Disponível em: <http://www.emsstrategies.com/dd040107article.html>.
- Hall, R.W., 1988, "Cyclic scheduling for improvement", *International Journal of Production Research*, 26(3), 457-452.
- Hall, R.W., 1998, "Lean Manufacturing, continuous improvement at TABC", Long Beach, CA. *Target*, 14(2), 51-53.
- Harmon, R.L., 1991, "Reinventando a fábrica: conceitos modernos de produtividade aplicados na prática", Campus, Rio de Janeiro, Brasil.
- Hong, K., Nagarajah, R., Iovenitti, P. e Dunn, M., 2007, "A Sociotechnical Approach To Achieve Zero Defect Manufacturing of Complex Manual Assemblies", Industrial Research Institute Swinburne, Swinburne University of Technology, Australia.
- Irani, S.A., 1999, "Handbook of Cellular Manufacturing Systems", John Wiley & Sons, New York, USA.
- Lopes, M. C., 1998, "Modelo para Focalização da Produção com Células de Manufatura", último acesso em Junho de 2009. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/disserta98/lopes/cap2.html>.

- Miller, J, 2007, “Ten Reasons Why One Piece Flow won’t work”, ultimo acesso em Junho de 2009. Disponível em: [http://www.gembapantarei.com/2007/04/ten\\_reasons\\_why\\_one\\_piece\\_flow.html](http://www.gembapantarei.com/2007/04/ten_reasons_why_one_piece_flow.html).
- Miltenburg, J., 1998, “Balancing U-lines in a multiple U-line facility”, *European Journal of Operational Research*, 109, 1-23.
- Miltenburg, J., 2001, “One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines: a tutorial”, *School of Business, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada*.
- Miltenburg, J., Wijngaard, J., 1994, “The U-line balancing problem”, *Management Science*, 40(10), 1378-1388.
- Monden, Y., 1983, “Toyota Production System”, *Industrial Engineering Press, Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA*.
- Monden, Y., 1984, “Sistema Toyota de Produção”, *IMAM, São Paulo, Brasil*.
- Nakade, K., Ohno, K., 1997, “Stochastic analysis of a U-shaped production line with multiple workers”, *Computers and Industrial Engineering*, 33(3), 809-812.
- Nikkan Kogyo Shimbun, 1991a, “The Factory Management Notebook Series:Autonomation / Automation”, *Productivity Press, Portland,OR, USA*.
- Nikkan Kogyo Shimbun, 1991b, “The Factory Management Notebook Series: Mixed-Model Production”, *Productivity Press, Portland, OR, USA*.
- Pereira, R., 2008, “10 Benefits of One Piece Flow”, último acesso em Junho de 2009. Disponível em: <http://lssacademy.com/2008/03/27/10-benefits-of-one-piece-flow>.
- Psabilla, 2006, “Batch-and-Queue or Single-Piece Flow”, último acesso em Junho de 2009. Disponível em: <http://www.shmula.com/270/batch-and-queue-or-single-piece-flow>.
- Ohno, T., 1997, “O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala”, *Bookman, Porto Alegre, Brasil*.
- Ohno, K., Nakade, K., 1997, “Analysis and optimization of a U-shaped production line”, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 40(1), 90-104.
- Sekine, K., 1990, “One-Piece Flow”, *Productivity Press, Portland, OR, USA*.
- Scholl, A., Klein, R., 1999, “ULINO: optimally balancing U-shaped JIT assembly lines”, *International Journal of Production Research*, 37(4), 721-736.
- Shingo, S.,1996, “O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção”, *Bookman, Porto Alegre, Brasil*.
- Shingo, S., Dillon, A.P., 1986, “Zero quality control: Source inspection and the Poka-Yoke System”, *Productivity Press: Massachusetts, USA*.
- Urban, T.L., 1998, “Optimal balancing of U-shaped assembly lines”, *Management Science*, 44(5), 738-741.
- Venkatesan, R., 1990, “Cummins Engine flexes its factory”, *Harvard Business Review*, March-April, 120-127.

ANEXO A: Sidemarkers Omega e Zeta


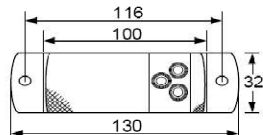


**Paulo Mendes, S.A.**




SIDEMARKER / FRONTMARKER / ENDMARKER

## Ω Omega

**Plug**



2 Pole Plug      Quick Link

503

Description	Plug	Cable L (Mt)	Ref.
Side Marker Omega	2 Pole Plug	0.3	FR5012
Side Marker Omega	2 Pole Plug	1.3	FR5013
Side Marker Omega	2 Pole Plug	2	FR5014
Side Marker Omega Horizontal	-	1.5	FR5015
Side Marker Omega Vertical	-	1.5	FR5016
Side Marker Omega	Quick Link	0.3	FR5017
Side Marker Omega	Quick Link	1.3	FR5018
End Marker Omega	2 Pole Plug	5	FR5000
End Marker Omega	-	0.5	FR5001
End Marker Omega	-	5	FR5002
End Marker Omega	Quick Link	0.3	FR5003
End Marker Omega	Quick Link	5	FR5004
Front Marker Omega	2 Pole Plug	0.3	FR5005
Front Marker Omega	2 Pole Plug	1.3	FR5006
Front Marker Omega	2 Pole Plug	3	FR5007
Front Marker Omega	-	0.5	FR5008
Front Marker Omega	-	5	FR5009
Front Marker Omega	Quick Link	0.3	FR5010
Front Marker Omega	Quick Link	5	FR5011

Paulo Mendes S.A.  
Rua Norton de Matos nº 493, Apartado 60  
4406-901 Gulpilhares  
Vila Nova de Gaia – Portugal

Telephone / Phone: +351 227 300 840  
Fax / Fax: +351 220 400 826  
e-mail: sales@pamel.pt  
www.pamel.pt

Special variants can be done  
by request. Ask to Pamel  
sales department.

Figura A1 – SM Omega

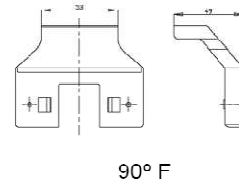
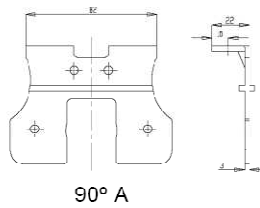
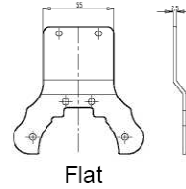
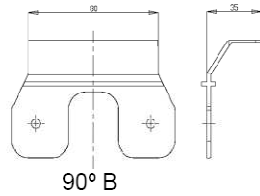


**Paulo Mendes, S.A.**



SIDEMARKER / FRONTMARKER / ENDMARKER

## ζ SM Zeta



511

Description	Bracket	Plug	Cable L (Mt)	Ref.
Side Marker Zeta	90° A	P&G	0.25	FR5230
Side Marker Zeta	90° A	P&G	0.5	FR5231
Side Marker Zeta	90° A	P&G	1.0	FR5232
Side Marker Zeta	90° A	P&G	1.5	FR5233
Side Marker Zeta	90° A	P&G	2.0	FR5234
Side Marker Zeta	90° B	P&G	0.25	FR5240
Side Marker Zeta	90° B	P&G	0.5	FR5241
Side Marker Zeta	90° B	P&G	1.0	FR5242
Side Marker Zeta	90° B	P&G	1.5	FR5243
Side Marker Zeta	90° B	P&G	2.0	FR5244
Side Marker Zeta	90° F	P&G	0.25	FR5250
Side Marker Zeta	90° F	P&G	0.5	FR5251
Side Marker Zeta	90° F	P&G	1.0	FR5252
Side Marker Zeta	90° F	P&G	1.5	FR5253
Side Marker Zeta	90° F	P&G	2.0	FR5254
Side Marker Zeta	Flat	P&G	0.25	FR5260
Side Marker Zeta	Flat	P&G	0.5	FR5261
Side Marker Zeta	Flat	P&G	1.0	FR5262
Side Marker Zeta	Flat	P&G	1.5	FR5263
Side Marker Zeta	Flat	P&G	2.0	FR5264

Paulo Mendes S.A.  
Rua Norton de Matos nº 493. Apartado 60  
4406-901 Gulpiharas  
Vila Nova de Gaia – Portugal


Telefone / Phone: +351 227 300 640  
Fax / Fax: +351 220 400 826  
e-mail: sales@pamel.pt  
www.pamel.pt

Special variants can be done by request. Ask to Pamel sales department.


**Figura A2 – SM Zeta**



Tabela B1 - Folha de cronometragem – Exemplo

		<b>FOLHA DE CRONOMETRAGEM</b>		REFª Nº _____
<b>Código:</b>	<b>Linha:</b> Montagem Sidemarkers	<b>Data:</b> 20/02/2009		
<b>Designação:</b>	<b>Secção:</b> Soldadura	<b>Início:</b> 11 : 15		
	<b>Posto Trab.:</b>	<b>Conclusão:</b> 11 : 30		
<b>Operação:</b> Soldadura do vidro SM	<b>Trabalhador:</b>	<b>Duração:</b> __ : __		
Zeta na blindagem através de uma	<b>Nome:</b> Diogo	<b>Erro:</b> _____ %		
máquina de soldadura por ultra-sons	<b>Quant. Feita:</b> 18	<b>Analista:</b> _____		
<b>OPERAÇÃO</b>	<b>T (s)</b>	<b>OPERAÇÃO</b>	<b>T (s)</b>	
Com a mão direita vai buscar a blindagem montada e coloca-a na máquina de soldadura; com a mão esquerda vai buscar o vidro SM Zeta e coloca-o em cima da blindagem; coloca o plástico em cima do conjunto blindagem / vidro	7,82	A máquina começa a soldar (waiting time); tira o plástico da máquina da soldadura e verifica se a peça ficou bem soldada e coloca-a junto das outras (à esquerda)	7,73	
“	9,48	“	7,75	
“	9,32	“	7,99	
“	8,1	“	6,75	
“	8,3	“	7,03	
“	8,53	“	7,35	
“	9,49	“	6,9	
“	8,39	“	6,45	
“	9,44	“	7,16	
“	9,35	“	6,59	
“	6,28	“	7,77	
“	9,36	“	6,96	
“	9,25	“	7,47	
“	7,36	“	7,71	
“	8,78	“	7,88	
“	8,8	“	7,12	
“	7,11	“	6,96	
“	7,57	“	6,58	

**Tabela B2 - Folha das “Métricas” do OEE**

			<b>MÉTRICAS DO OEE</b> (Registo Diário)			OF N° _____	
<b>Linha:</b>		<b>Refª Produto:</b>				<b>Analista:</b> _____	
<b>Secção:</b>		<b>Operação:</b>				<b>Aprovado:</b> _____	
<b>Operador:</b>		<b>Máquina:</b>				<b>Data:</b> _____	
DISPONIBILIDADE			PERFORMANCE				
Paragens do equipamento / linha	Hora Início	Hora Fim			s / peça	s / gabarit	
Devido a falta de material			Tempo de ciclo teórico				
			Tempo de ciclo efectivo				
Devido à avaria de algum equipamento			Observações:				
Mudança de produtos			QUALIDADE				
Afinações (setups)			Quantidade				
			Peças "ok"				
			Peças defeituosas				
Manutenções não planeadas			Peças retrabalhadas:				
Demora no arranque da máquina			Observações:				
			<u>Métricas:</u>				
			Disponibilidade = Tempo Disponível / Tempo Calendarizado				
Outro(s):			Performance = Taxa de Produção efectiva / Taxa de Produção teórica				
			Qualidade = N° de peças "ok" / N° de peças começadas				
			<b>OEE = Disponibilidade x Performance x Qualidade</b>				

**Tabela B3 – Duração dos Setups existentes na máquina de resina / cola**

Operação	Duração (min.)
Setup cola – resina	20
Setup resina - cola	233

“*Overall equipment effectiveness*” (*OEE*) consiste numa hierarquia de métricas que mede quão eficazmente uma operação de fabrico é realizada. Os resultados são expressos de uma forma geral que permite a comparação entre unidades de produção de diferentes indústrias.

O *OEE* é muitas vezes utilizado como “*key performance indicator*” (KPI) em conjugação com a metodologia “*lean manufacturing*” de maneira a tornar-se um indicador de sucesso.

“*Overall equipment effectiveness*”, (*OEE*) diz respeito a medidas que estudam a utilização geral das instalações, do tempo e material para as diferentes operações de fabrico. O *OEE* quantifica o desempenho de uma linha de produção relativamente à sua capacidade, durante os períodos em que está programada o seu funcionamento.

- **Disponibilidade:** Esta porção da métrica de *OEE* representa a percentagem do tempo programado que a operação está disponível para ser realizada. É referida algumas vezes como “Uptime”.
- **Performance:** Esta porção da métrica do *OEE* representa a velocidade a que cada Centro de Trabalho funciona como uma percentagem da velocidade teórica.
- **Qualidade:** Esta porção da métrica do *OEE* representa as peças “ok” produzidas como uma percentagem do total de unidades

*OEE* é a maneira de medir a eficiência da máquina / equipamento / linha / fábrica (valor acrescentado), sendo afectado negativamente pelas ocorrências que não acrescentam valor = perdas. As paragens planeadas por convenção (formações, falta de carga, manutenção planeada anual) não afectam a análise do *OEE*. Quanto às perdas, destacam-se as perdas de disponibilidade, causadas por avarias, reparações, mudanças, ajustes, manutenções, arranques e paragens; perdas de rendimento afectadas pelas velocidades das máquinas, paragens menores e baixas cadências; perdas de qualidade devido a sucata, rejeições e retrabalho.

## ANEXO C: Metodologia utilizada na cronometragem das operações

Nesta secção pretende-se demonstrar a metodologia utilizada na cronometragem das operações dos *SM Omega* e *SM Zeta*, assim como o cálculo do intervalo de confiança para o valor esperado das observações, supondo que os cycle times das operações seguem uma distribuição normal.

**Tabela C1 - Guia para o nº de ciclos a serem observados num estudo de tempos**

Tc > que	Número mínimo de ciclos de estudo		
	> 10000 por ano	1000-10000	< 1000
8 h	2	1	1
3	3	2	1
2	4	2	1
1	5	3	2
48 m	6	3	2
30	8	4	3
20	10	5	4
12	12	6	5
8	15	8	6
5	20	10	8
3	25	12	10
2	30	15	12
1	40	20	15
0,7	50	25	20
0,5	60	30	25
0,3	80	40	30
0,2	100	50	40
0,1	120	60	50
< 0,1	140	80	60

Com base na Tabela C1 e tendo em conta que os *cycle times* das operações são inferiores a 0,7 minutos e as repetições das operações são superiores a 10000 num ano, então, o número requerido de observações para o estudo nunca será menor que 50. Estas observações devem ser divididas equitativamente pelos turnos de trabalho, para uma melhor avaliação da realidade.

Com o decorrer das observações e tendo em linha de conta as especificidades de cada operação (levada a cabo por uma máquina, interação homem- máquina), estes números poderão ser redefinidos e adequados à realidade.

- Intervalo de confiança para o valor esperado – Amostra grande, população qualquer

De acordo com o teorema do limite central, a média amostral segue aproximadamente uma distribuição normal (8):

$$\bar{X} \sim N(\mu, \sigma^2 / N) \quad (8)$$

Em que  $\mu$  e  $\sigma^2$  representam parâmetros da população.

Assim, pela padronização da variável  $x$  (9), temos:

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{N}} \sim N(0,1) \quad (9)$$

Em geral,  $\sigma$  é desconhecido sendo estimado através do desvio padrão amostral (10):

$$S = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{n=1}^N (X_n - \bar{X})^2} \quad (10)$$

O intervalo de confiança para o valor esperado,  $\mu$ , a  $(1 - \alpha) \cdot 100\%$ , sendo que  $\alpha = 0.05$ , ou seja com um nível de significância de 95% (11), vem então:

$$\left[ \bar{X} - z(\alpha/2) \cdot \frac{S}{\sqrt{N}}, \quad \bar{X} + z(\alpha/2) \cdot \frac{S}{\sqrt{N}} \right] \quad (11)$$

Para a execução deste levantamento dos tempos de trabalho ou *cycle times* das operações (Tc), estabeleceram-se alguns pressupostos:

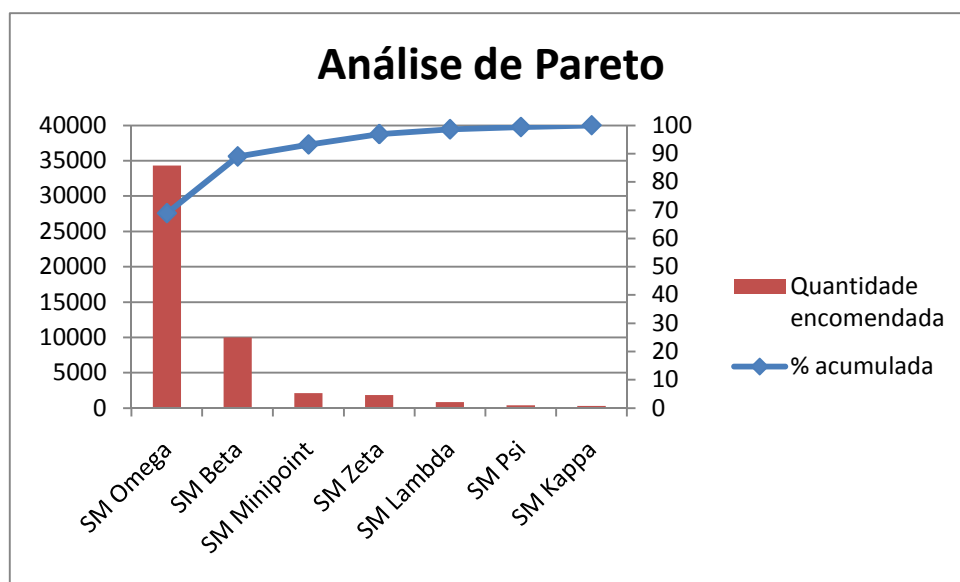
1. Os Tc podem ser descritos e aproximados por uma Distribuição Normal;
2. O Tc médio das amostras é uma boa aproximação do Tc real da operação;
3. Nas operações que envolvem o processamento de mais do que uma peça por máquina, considera-se a laboração do número total de peças para determinar o Tc da operação;
4. O transporte das peças para o(s) posto(s) seguinte(s) não é contabilizado;
5. Excluíram-se todas as medições “anormais”.

O plano inicial, tendo em conta a Tabela C1 e a falta de experiência nesta matéria, apontava para um nº elevado de medições, distribuídas pelas partes da manhã e da tarde. Com a prática e com o decorrer do levantamento, chegou-se à conclusão que estes números são algo exagerados, principalmente nas operações executadas por máquinas, que apresentam variabilidade reduzida.

## ANEXO D: Histórico Encomendas *Sidemarkers* / Encomendas *Sidemarkers* (02-02-2009 até 17-06-2009)

Esta secção pretende demonstrar as evoluções das encomendas recebidas de *sidemarkers* ao longo do período histórico (pré-projecto) assim como durante o projecto, de maneira a saber-se quais os modelos mais produzidos e as referências correspondentes, de maneira a identificar-se os modelos e os clientes mais rentáveis, e verificar a sua evolução.

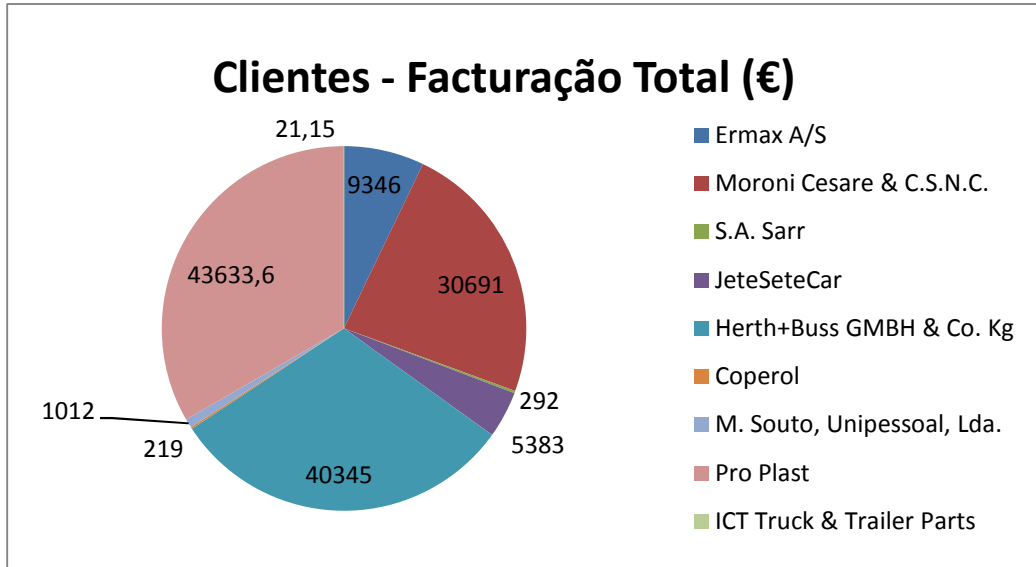
### Histórico Encomendas *Sidemarkers*



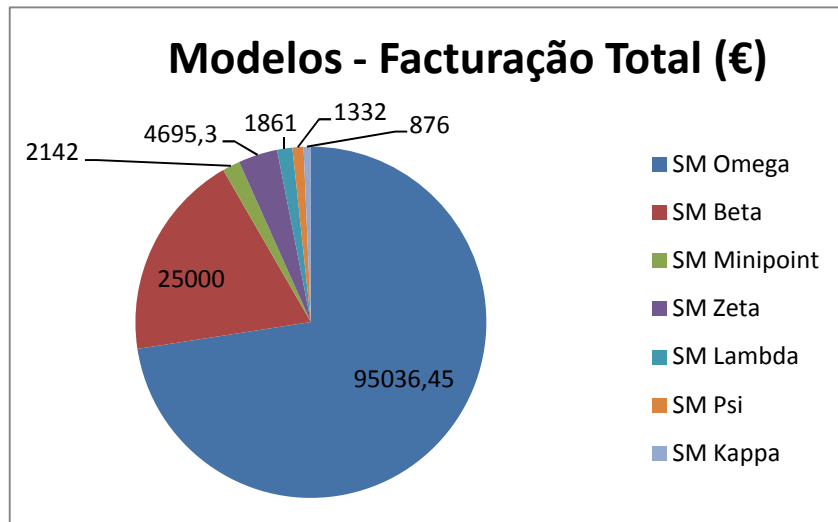
**Figura D1 – Análise de Pareto às encomendas recebidas de *sidemarkers*, durante o período histórico**

**Tabela D1 – N° de referências encomendadas dos diferentes modelos de *sidemarkers* no período histórico**

Modelos	N° de referências encomendadas	% acumulada
SM Omega	18	33,96
SM Beta	6	45,28
SM Minipoint	4	52,83
SM Zeta	11	73,58
SM Lambda	8	88,68
SM Psi	2	92,45
SM Kappa	4	100,00
<b>Total</b>	<b>53</b>	

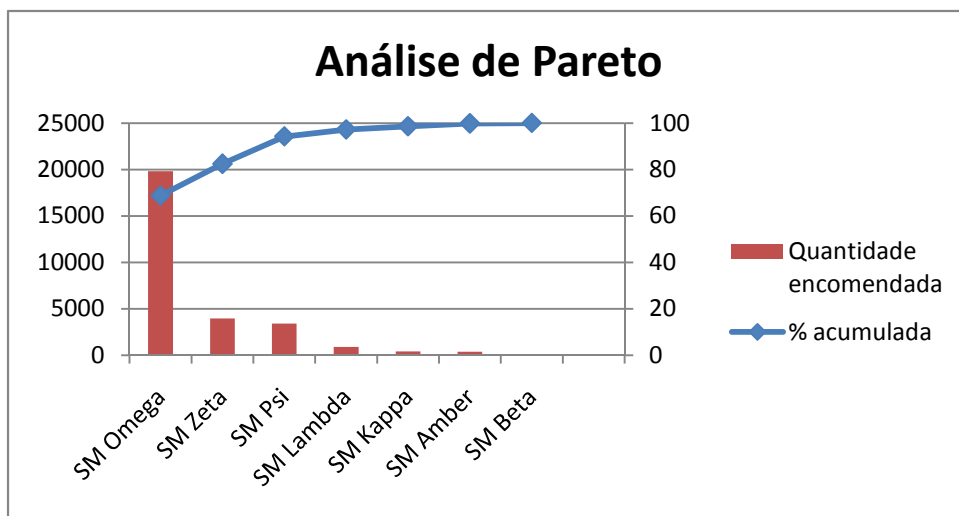


**Figura D2 – Rentabilidade dos diferentes clientes no período histórico de encomendas**



**Figura D3 – Rentabilidade dos diferentes modelos de sidemarkers no período histórico de encomendas**

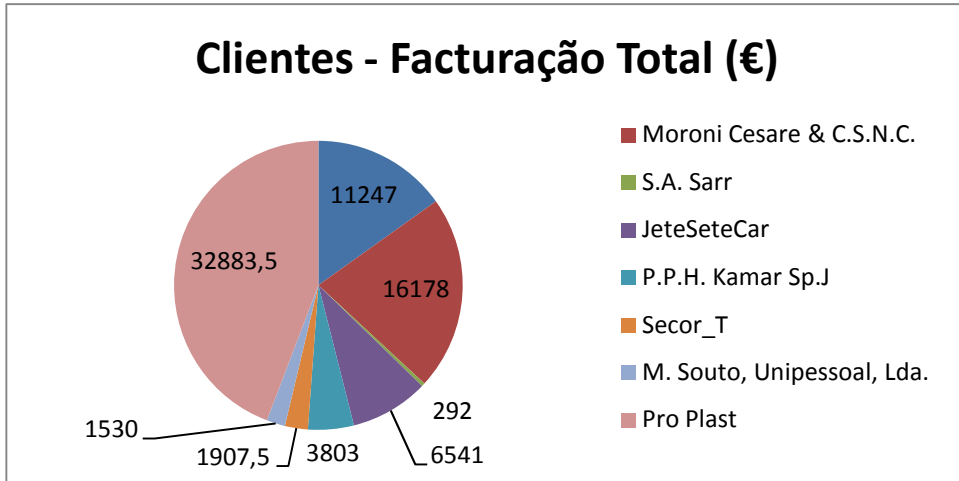
Encomendas Sidemarkers (02-02-2009 até 17-06-2009)



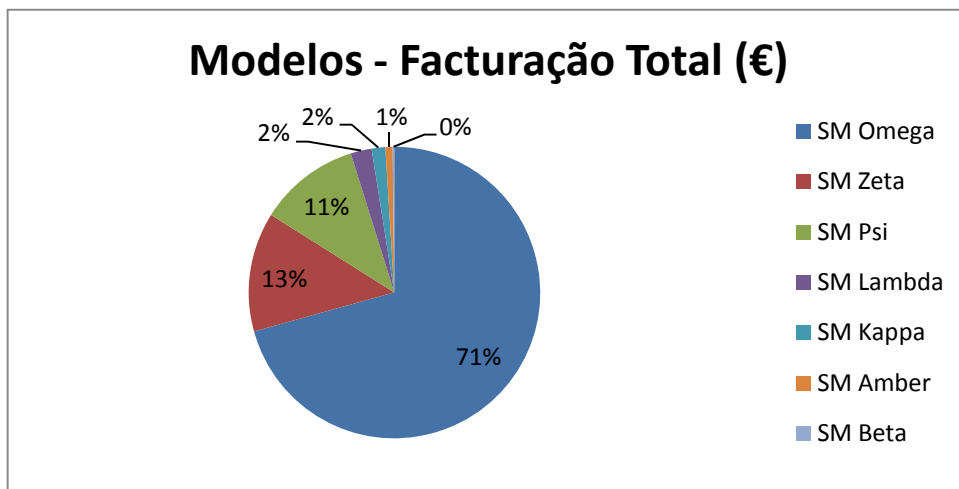
**Figura D4 – Análise de Pareto às encomendas recebidas de *sidemarkers*, durante o período de realização do projecto**

**Tabela D2 - N° de referências encomendadas dos diferentes modelos de *sidemarkers* no período de realização do projecto**

	N° de referências encomendadas	% acumulada
<b>SM Omega</b>	19	41,30
<b>SM Zeta</b>	13	69,57
<b>SM Psi</b>	4	78,26
<b>SM Lambda</b>	7	93,48
<b>SM Kappa</b>	1	95,65
<b>SM Amber</b>	1	97,83
<b>SM Beta</b>	1	100,00
<b>Total</b>	<b>46</b>	



**Figura D5 – Rentabilidade dos diferentes clientes durante o período de realização do projecto**

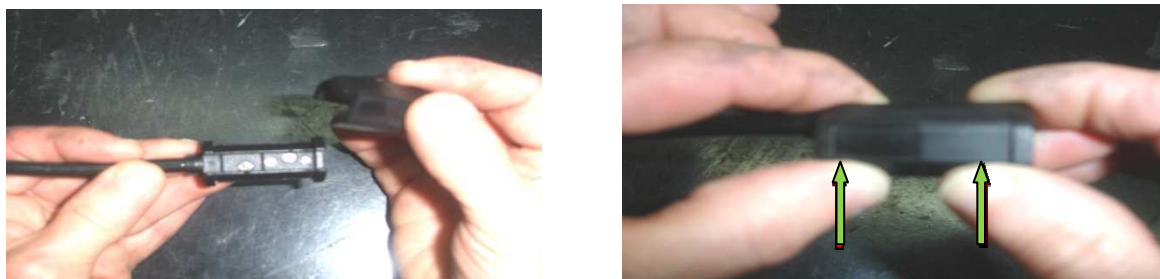


**Figura D6 - Rentabilidade dos diferentes modelos durante o período de realização do projecto**

## **ANEXO E: Ilustrações referentes a algumas operações de montagem *SM Omega* e *SM Zeta***

Esta secção pretende apresentar as figuras representativas de algumas operações de montagem, assim como mostrar aparelhos que vieram facilitar algumas operações de fabrico.

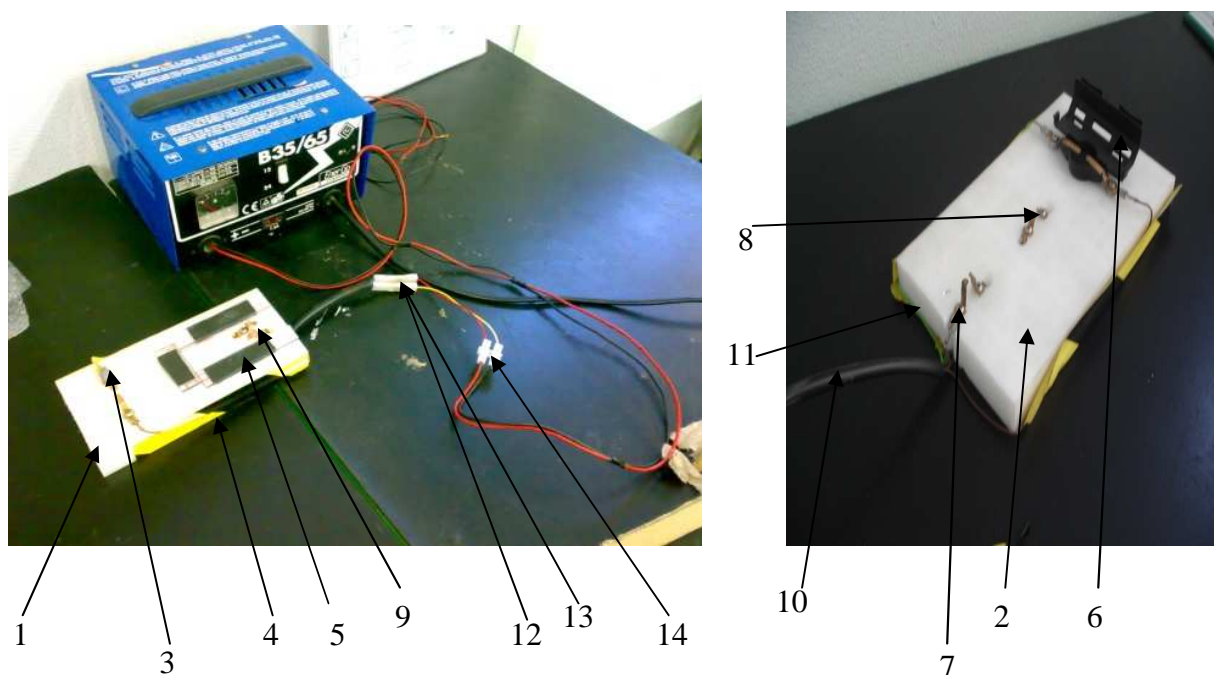
### Montagem



**Figura E1 – Colocação da tampa de fixação rápida no conector**



**Figura E2 – Enrolamento da cablagem**

Teste Eléctrico**Figura E3 – Placas de teste eléctrico****Tabela E1 – Material necessário ao aparelho de teste eléctrico de todos os *sidemarkers***

Referência	Designação	Quantidade
1	Placa de nylon – 208x100x20 (mm)	1
2	Placa de nylon – 150x250x25 (mm)	1
3	Fita isoladora	-
4	Fita adesiva preta e amarela	-
5	Paralelepípedo de plástico	3
6	Suporte Beta	1
7	Parafuso de ponta agulha	10
8	Terminal (latão estanhado)	6
9	Terminal (chapa de bronze fosforoso)	6
10	Manga preta de plástico	1
11	Fio com terminal 6-3	14
12	Terminal - macho	2
13	Caixa de plástico para ligar fios c/ terminal macho a terminal fêmea	1
14	Caixa de plástico com parafusos para ligar fios	1

Resinagem



**Figura E4 – Deposição da resina manualmente pelo operador no *sidemarker Zeta***

Suporte



**Figura E5 – Cilindro pneumático**

## ANEXO F: Evolução das operações e respectiva duração de tempo necessárias à constituição de um *SM Omega* e *SM Zeta*

Nesta secção apresenta-se a evolução das operações, desde o início até ao fim do projecto e respectiva duração de tempo necessárias à constituição de um *SM Omega* e *SM Zeta*.

**Tabela F1 – Tempos das operações das diferentes variantes dos *SM Omega* (situação inicial), expressos em segundos (s) / sidemarker**

Variantes Operações	SM Omega a1)	SM Omega a2)	SM Omega a3)	SM Omega b)	SM Omega c1)	SM Omega c2)	SM Omega d)
<b>Operação Montagem SM Omega</b>	<b>28,78</b>	<b>39,48</b>	<b>54,75</b>	<b>18,01</b>	<b>28,78</b>	<b>39,48</b>	<b>18,01</b>
Separar uma placa de leds Omega	4,42	4,42	4,42	4,42	4,42	4,42	4,42
Colocar o led na blindagem, assim como ligar os terminais da cablagem ao led utilizando o alicate de pontas	13,59	13,59	13,59	13,59	13,59	13,59	13,59
Enrolar cablagem com um elástico	10,77	21,46	36,74	-	10,77	21,46	-
<b>Operação Teste Eléctrico SM Omega</b>	<b>4,68</b>	<b>4,68</b>	<b>4,68</b>	<b>4,68</b>	<b>4,68</b>	<b>4,68</b>	<b>4,68</b>
Colocar as canetas no led e verificar se dá luz ou não	4,68	4,68	4,68	4,68	4,68	4,68	4,68
<b>Operação Resinagem SM Omega</b>	<b>41,86</b>	<b>41,86</b>	<b>41,86</b>	<b>41,86</b>	<b>41,86</b>	<b>41,86</b>	<b>41,86</b>
Colocar as peças no gabarit, que se encontra em cima de um caixote à esquerda da máquina de resinagem	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86	2,86
Colocar a grelha no gabarit e colocá-lo na mesa de resinagem	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
Iniciar o programa nº9/11 de CNC de deposição de resina	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86	10,86
Tempo de setup de mudança do programa CNC	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23	1,23
Iniciar o programa nº 9/11 de CNC de deposição de resina	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53	7,53
Pegar no gabarit e colocá-lo em cima doutro contentor, à direita da máquina (secagem ventoinha) (tempo de atraso)	16,79	16,79	16,79	16,79	16,79	16,79	16,79
Continua							

Continuação							
Variantes Operações	SM Omega a1)	SM Omega a2)	SM Omega a3)	SM Omega b)	SM Omega c1)	SM Omega c2)	SM Omega d)
Tirar a grelha do gabarit e tirar os side-markers do gabarit	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95	1,95
<b>Operação Soldadura SM Omega</b>	<b>11,17</b>	<b>11,17</b>	<b>11,17</b>	<b>11,17</b>	<b>11,17</b>	<b>11,17</b>	<b>11,17</b>
Com a mão direita vai buscar a blindagem e põe-na na máquina de soldadura; Com a mão esquerda vai buscar o vidro/plástico e coloca-o em cima da blindagem; Coloca o plástico em cima do conjunto blindagem / vidro; A máquina começa a soldar (waiting time); Tira o plástico da máquina da soldadura e verifica se a peça ficou bem soldada e coloca-a junto das outras (à esquerda)	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17
<b>Operação Embalagem SM Omega</b>	<b>17,23</b>	<b>17,23</b>	<b>17,23</b>	<b>17,97</b>	<b>22,8</b>	<b>22,8</b>	<b>23,54</b>
Pega na cablagem do side-marker com uma mão e com a outra vai buscar a manga de fix.rápida a um saco, colocando-a de seguida na peça final (c/conector)	-	-	-	-	5,57	5,57	5,57
Retira-se o elástico que estão a prender as cablagens com comprimento > 0,5 metros	3,93	3,93	3,93	-	3,93	3,93	-
Pega nos side-markers que estão à esquerda e começa a enrolar a cablagem	-	-	-	4,67	-	-	4,67
Pega no saco plástico que está em frente e coloca o side-marker lá dentro; Enrola o saco, pega na fita-cola que se encontra à esquerda e cola o saco	11,94	11,94	11,94	11,94	11,94	11,94	11,94
Colocar os side-markers embalados na caixa de despacho	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
<b>Operação Total SM Omega</b>	<b>103,72</b>	<b>114,41</b>	<b>129,69</b>	<b>93,69</b>	<b>109,29</b>	<b>119,98</b>	<b>99,26</b>

**Tabela F2 - Tempos das operações das diferentes variantes dos SM Omega (situação final), expressos em segundos (s) / sidemarker**

<b>Operações</b>	<b>SM Omega a)</b>	<b>SM Omega b)</b>	<b>SM Omega c)</b>	<b>SM Omega d)</b>
<b>Operação Montagem SM Omega</b>	<b>13,59</b>	<b>13,59</b>	<b>19,16</b>	<b>19,16</b>
Colocar o led na blindagem, assim como ligar os terminais da cablagem ao led utilizando o alicate de pontas	13,59	13,59	13,59	13,59
Pega na cablagem do side-marker com uma mão e com a outra vai buscar a manga de fix.rápida a um saco, colocando-a de seguida na peça final (c/conector)	-	-	5,57	5,57
<b>Operação Teste Eléctrico SM Omega</b>	<b>2,23</b>	<b>2,23</b>	<b>2,23</b>	<b>2,23</b>
Pegar na blindagem e colocar no suporte, que aquilo dá automaticamente luz, ou não.	2,23	2,23	2,23	2,23
<b>Operação Resinagem SM Omega</b>	<b>23,26</b>	<b>23,26</b>	<b>23,26</b>	<b>23,26</b>
Colocar as peças no gabarit, que se encontra em cima de um caixote à esquerda da máquina de resinagem	2,86	2,86	2,86	2,86
Colocar a grelha no gabarit e colocá-lo na mesa de resinagem	0,64	0,64	0,64	0,64
Iniciar o programa nº15 de CNC de deposição de resina (programa único)	7,54	7,54	7,54	7,54
Pegar no gabarit e colocá-lo em cima doutro contentor, à direita da máquina (secagem ar comprimido) (tempo de atraso)	10,26	10,26	10,26	10,26
Tirar a grelha do gabarit e tirar os side-markers do gabarit	1,95	1,95	1,95	1,95
<b>Operação Soldadura SM Omega</b>	<b>11,17</b>	<b>11,17</b>	<b>11,17</b>	<b>11,17</b>
Com a mão direita vai buscar a blindagem e põe-na na máquina de soldadura; Com a mão esquerda vai buscar o vidro/plástico e coloca-o em cima da blindagem; Coloca o plástico em cima do conjunto blindagem / vidro; A máquina começa a soldar (waiting time); Tira o plástico da máquina da soldadura e verifica se a peça ficou bem soldada e coloca-a junto das outras (à esquerda)	11,17	11,17	11,17	11,17
<b>Operação Embalagem SM Omega</b>	<b>17,34</b>	<b>18,08</b>	<b>17,34</b>	<b>18,08</b>
Retira-se o elástico que estão a prender as cablagens com comprimento > 0,5 metros	3,93	-	3,93	-
Pega nos side-markers que estão à esquerda e começa a enrolar a cablagem	-	4,67	-	4,67
Pega no saco plástico que está em frente e coloca o side-marker lá dentro; Enrola o saco, pega na fita-cola que se encontra à esquerda e cola o saco	11,94	11,94	11,94	11,94
Colocar os side-markers embalados na caixa de despacho	1,36	1,36	1,36	1,36
<b>Operação Total SM Omega</b>	<b>67,47</b>	<b>68,21</b>	<b>73,04</b>	<b>73,78</b>

**Tabela F3 - Tempos das operações das diferentes variantes dos SM Zeta (situação inicial), expressos em segundos (s) / sidemarker**

<b>Operações</b> \ <b>Variantes</b>	<b>SM Zeta a)</b>	<b>SM Zeta b)</b>	<b>SM Zeta c)</b>	<b>SM Zeta d)</b>	<b>SM Zeta e)</b>	<b>SM Zeta f)</b>	<b>SM Zeta g)</b>
<b>Operação Montagem SM Zeta</b>	<b>56,82</b>	<b>46,69</b>	<b>49,14</b>	<b>39,01</b>	<b>39,01</b>	<b>56,82</b>	<b>46,69</b>
Separar uma placa de leds Zeta	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89
Estanhar o led	10,48	10,48	10,48	10,48	10,48	10,48	10,48
Ajustar a cablagem à blindagem (c/ conector)	7,68	7,68	-	-	-	7,68	7,68
Enrolar cablagem e prender com um elástico (1,5 metros)	10,13	-	10,13	-	-	10,13	-
União da cablagem com o Led (derretendo a solda)	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77	16,77
Ajustar a cablagem c/ o Led à blindagem	8,88	8,88	8,88	8,88	8,88	8,88	8,88
<b>Operação Teste Eléctrico SM Zeta</b>	<b>6,7</b>	<b>6,7</b>	<b>8,98</b>	<b>8,98</b>	<b>8,98</b>	<b>6,7</b>	<b>6,7</b>
Colocar as canetas no conector e verificar se o led dá luz ou não	6,7	6,7	-	-	-	6,7	6,7
Colocar as canetas na extremidade da cablagem e verificar se o led dá luz ou não	-	-	8,98	8,98	8,98	-	-
<b>Operação Resinagem SM Zeta</b>	<b>271,32</b>	<b>271,32</b>	<b>271,32</b>	<b>271,32</b>	<b>271,32</b>	<b>271,32</b>	<b>271,32</b>
Deposição da resina da máquina em cima do led	11,94	11,94	11,94	11,94	11,94	11,94	11,94
Retoques manuais pelo utilizador da máquina	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06
Colocar o side-marker no gabarit para secagem	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33	3,33
Tempo que demora a secar a resina c/ ventoinha (tempo de atraso)	236,99	236,99	236,99	236,99	236,99	236,99	236,99
<b>Operação Soldadura SM Zeta</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>
Com a mão direita vai buscar a blindagem montada e põe-na na máquina de soldadura; Com a mão esquerda vai buscar o vidro SM Zeta e coloca-o em cima da blindagem; Coloca o plástico em cima do conjunto blindagem / vidro.	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49
A máquina começa a soldar (waiting time); Tira o plástico da máquina da soldadura e verifica se a peça ficou bem soldada e coloca-a junto das outras (à esquerda)	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23
<b>Operação Suporte SM Zeta</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>24,39</b>	<b>24,39</b>	<b>24,39</b>
Continua							

Continuação							
Variantes	SM Zeta a)	SM Zeta b)	SM Zeta c)	SM Zeta d)	SM Zeta e)	SM Zeta f)	SM Zeta g)
Operações							
Pega na blindagem montada e no suporte necessário, colocando-os na placa de nylon, que tem o molde do suporte, de maneira a colocar as buchas e os pinos nos furos existentes. A fixação dá-se com o martelo	-	-	-	-	24,39	24,39	24,39
<b>Operação Embalagem SM Zeta</b>	<b>22,9</b>	<b>19,35</b>	<b>17,61</b>	<b>14,05</b>	<b>14,05</b>	<b>22,9</b>	<b>19,35</b>
Pega na cablagem do side-marker com uma mão e com a outra vai buscar a manga de fix.rápida a um saco, colocando-a de seguida na peça final (c/conector)	5,29	5,29	-	-	-	5,29	5,29
Retira-se o elástico que estão a prender as cablagens com comprimento > 0,5 metros	3,55	-	3,55	-	-	3,55	-
Enrola a cablagem muito rapidamente, pega no saco plástico que está em frente e coloca o side-marker lá dentro; Enrola o saco, pega na fita-cola que se encontra na mesa e cola o saco	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63
Colocar os side-markers embalados na caixa de despacho	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
<b>Operação Total SM Zeta</b>	<b>373,46</b>	<b>359,77</b>	<b>362,76</b>	<b>349,07</b>	<b>373,46</b>	<b>397,85</b>	<b>384,16</b>

**Tabela F4 - Tempos das operações das diferentes variantes dos SM Zeta (situação final), expressos em segundos (s) / sidemarker**

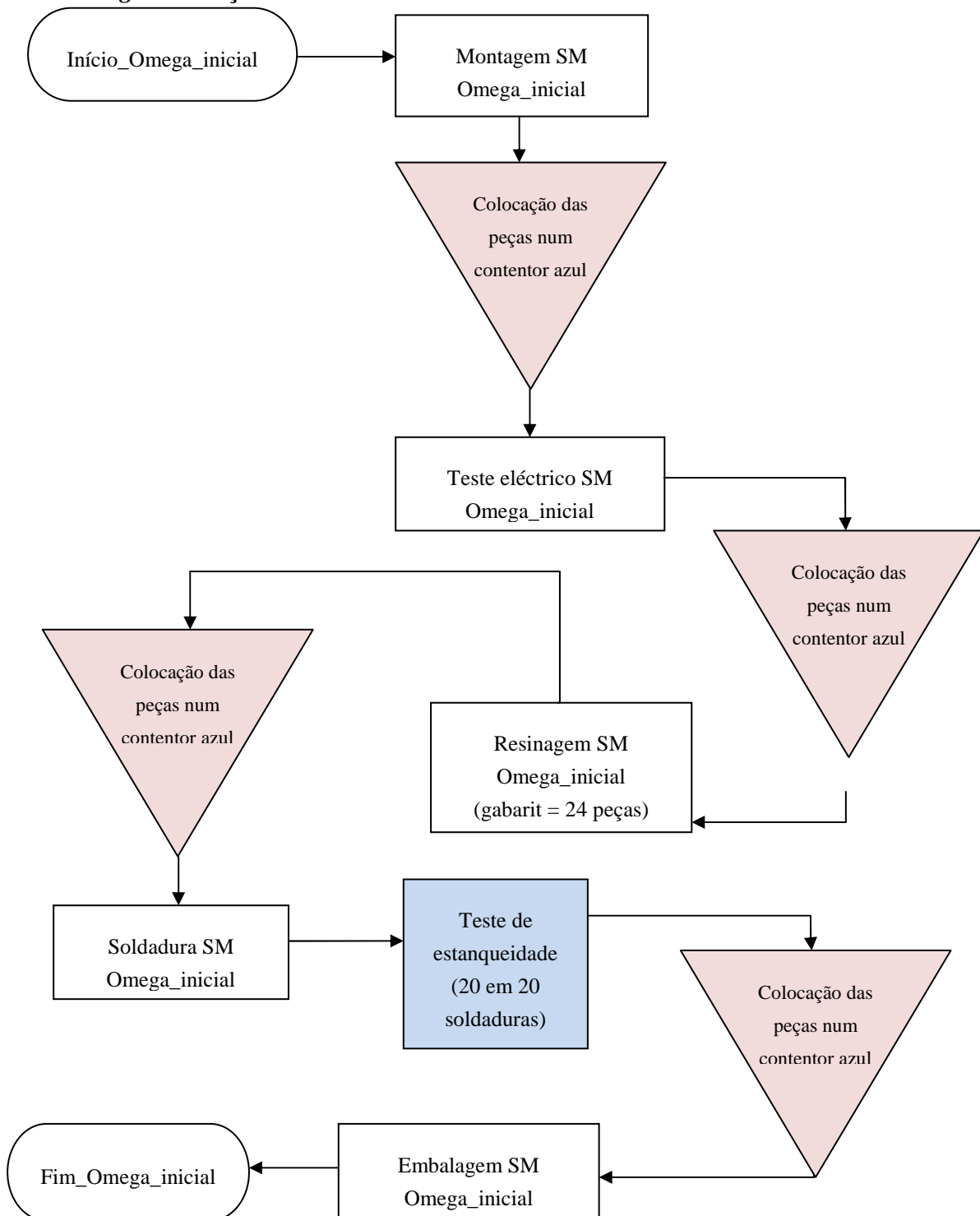
Operações \ Variantes	SM Zeta a)	SM Zeta b)	SM Zeta c)	SM Zeta d)	SM Zeta e)	SM Zeta f)	SM Zeta g)
<b>Operação Montagem SM Zeta</b>	<b>37,7</b>	<b>37,7</b>	<b>24,72</b>	<b>24,72</b>	<b>24,72</b>	<b>37,7</b>	<b>37,7</b>
Ajustar a cablagem à blindagem (c/ conector)	7,68	7,68	-	-	-	7,68	7,68
Estanhar o led e União da cablagem com o Led (derretendo a solda)	15,85	15,85	15,85	15,85	15,85	15,85	15,85
Ajustar a cablagem c/ o Led à blindagem	8,88	8,88	8,88	8,88	8,88	8,88	8,88
Pega na cablagem do side-marker com uma mão e com a outra vai buscar a manga de fix.rápida a um saco, colocando-a de seguida na peça final (c/conector)	5,29	5,29	-	-	-	5,29	5,29
<b>Operação Teste Eléctrico SM Zeta</b>	<b>3,78</b>	<b>3,78</b>	<b>5,30</b>	<b>5,30</b>	<b>5,30</b>	<b>3,78</b>	<b>3,78</b>
Pegar no conector do SM Zeta e colocá-lo no suporte (verificar se o led dá luz) e com a outra mão segurar na cablagem	3,78	3,78	-	-	-	3,78	3,78
Pegar na cablagem do SM Zeta e colocá-lo no furo do suporte, até contactar com os terminais (verificar se o led dá luz)	-	-	5,30	5,30	5,30	-	-
<b>Operação Resinagem SM Zeta</b>	<b>35,74</b>	<b>35,74</b>	<b>35,74</b>	<b>35,74</b>	<b>35,74</b>	<b>35,74</b>	<b>35,74</b>
Colocar as peças no gabarit, que se encontra em cima de um caixote à esquerda da máquina de resinagem	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52
Colocar a grelha no gabarit e colocá-lo na mesa de resinagem	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Iniciar o programa nº 13 de CNC de deposição de resina	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
Tempo de setup de mudança do programa CNC	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
Iniciar o programa nº 14 de CNC de deposição de resina	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02
Pegar no gabarit e colocá-lo em cima doutro contentor, à direita da máquina, para secar (secagem ar comprimido) (tempo de atraso)	13,38	13,38	13,38	13,38	13,38	13,38	13,38
Tirar a grelha do gabarit e tirar os side-markers do gabarit	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73
<b>Operação Soldadura SM Zeta</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>	<b>15,72</b>
Continua							

Continuação							
Variantes	SM Zeta a)	SM Zeta b)	SM Zeta c)	SM Zeta d)	SM Zeta e)	SM Zeta f)	SM Zeta g)
Operações							
Com a mão direita vai buscar a blindagem montada e põe-na na máquina de soldadura; Com a mão esquerda vai buscar o vidro SM Zeta e coloca-o em cima da blindagem; Coloca o plástico em cima do conjunto blindagem / vidro.	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49
A máquina começa a soldar (waiting time); Tira o plástico da máquina da soldadura e verifica se a peça ficou bem soldada e coloca-a junto das outras (à esquerda)	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23	7,23
<b>Operação Suporte SM Zeta</b>	-	-	-	-	<b>24,39</b>	<b>24,39</b>	<b>24,39</b>
Pega na blindagem montada e no suporte necessário, colocando-os na placa de nylon, que tem o molde do suporte, de maneira a colocar as buchas e os pinos nos furos existentes. A fixação dá-se com o martelo	-	-	-	-	24,39	24,39	24,39
<b>Operação Embalagem SM Zeta</b>	<b>16,95</b>	<b>13,61</b>	<b>16,95</b>	<b>13,61</b>	<b>13,61</b>	<b>16,95</b>	<b>13,61</b>
Retira-se o elástico que estão a prender as cablagens com comprimento > 0,5 metros	5,36	-	5,36	-	-	5,36	-
Enrolar a cablagem muito rapidamente	-	2,02	-	2,02	2,02	-	2,02
Pega no saco plástico que está em frente e coloca o sidemarker lá dentro; Enrola o saco, pega na fita-cola que se encontra na mesa e cola o saco	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1
Colocar os sidemarkers embalados na caixa de despacho	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
<b>Operação Total SM Zeta</b>	<b>109,85</b>	<b>106,51</b>	<b>98,15</b>	<b>94,8</b>	<b>119,19</b>	<b>134,24</b>	<b>130,9</b>

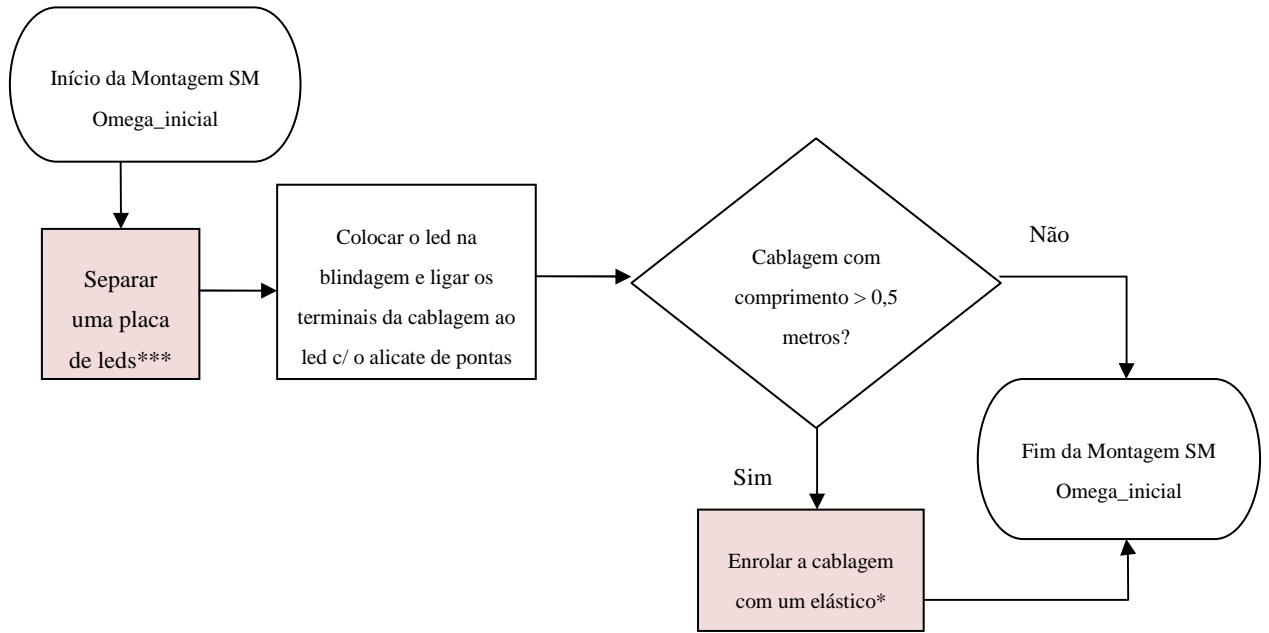
### ANEXO G: Fluxogramas *SM Omega* e *SM Zeta*

Nesta secção apresenta-se os fluxogramas representativos da evolução das operações necessárias à constituição do *SM Omega* e *SM Zeta*.

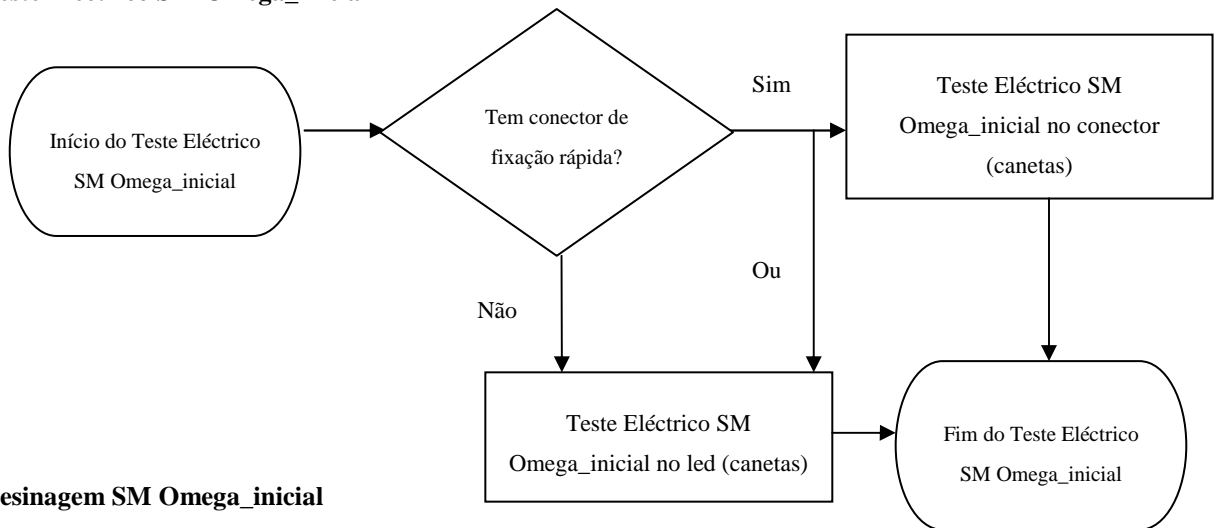
#### *SM Omega – Situação inicial*



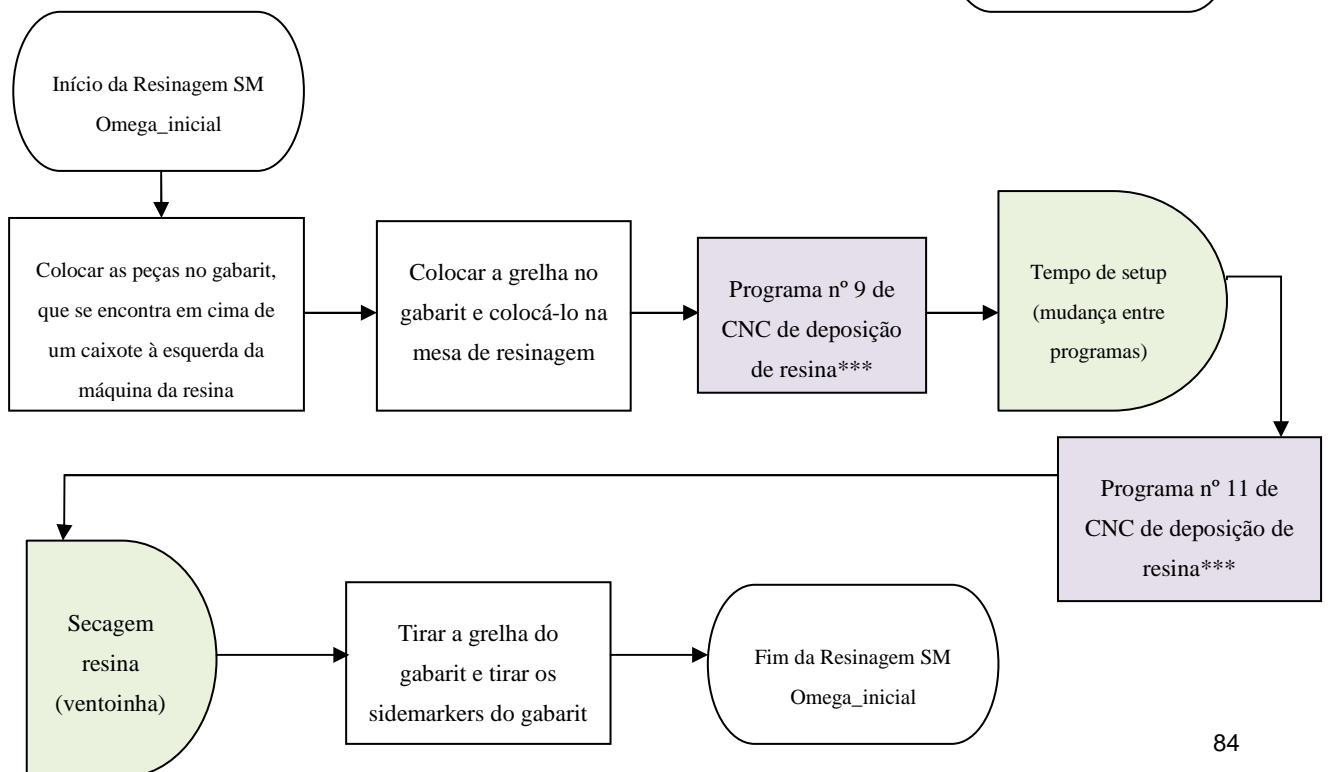
**Montagem SM Omega\_inicial**



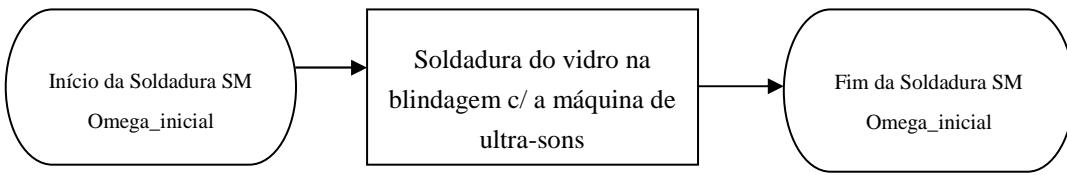
**Teste Eléctrico SM Omega\_inicial**



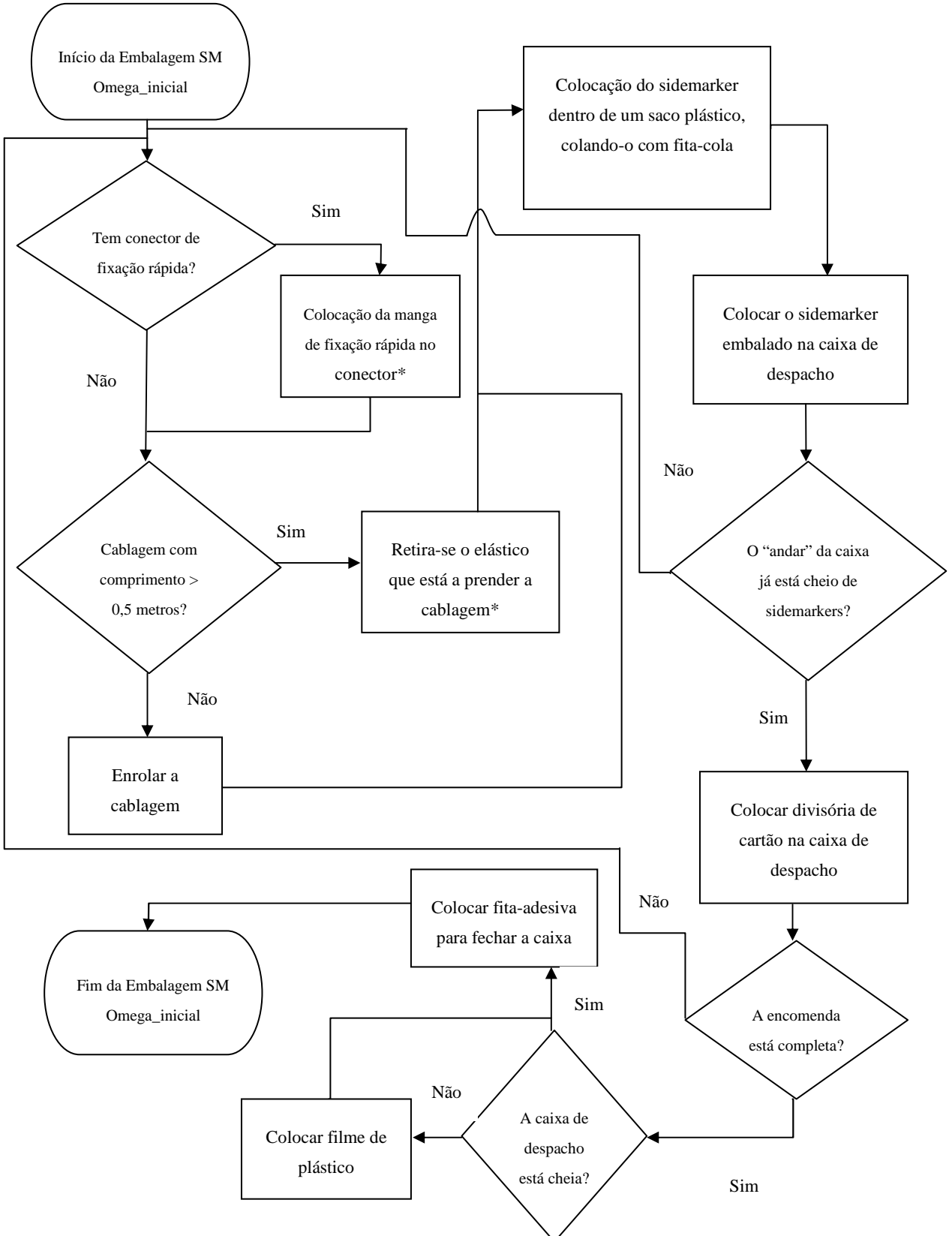
**Resinagem SM Omega\_inicial**



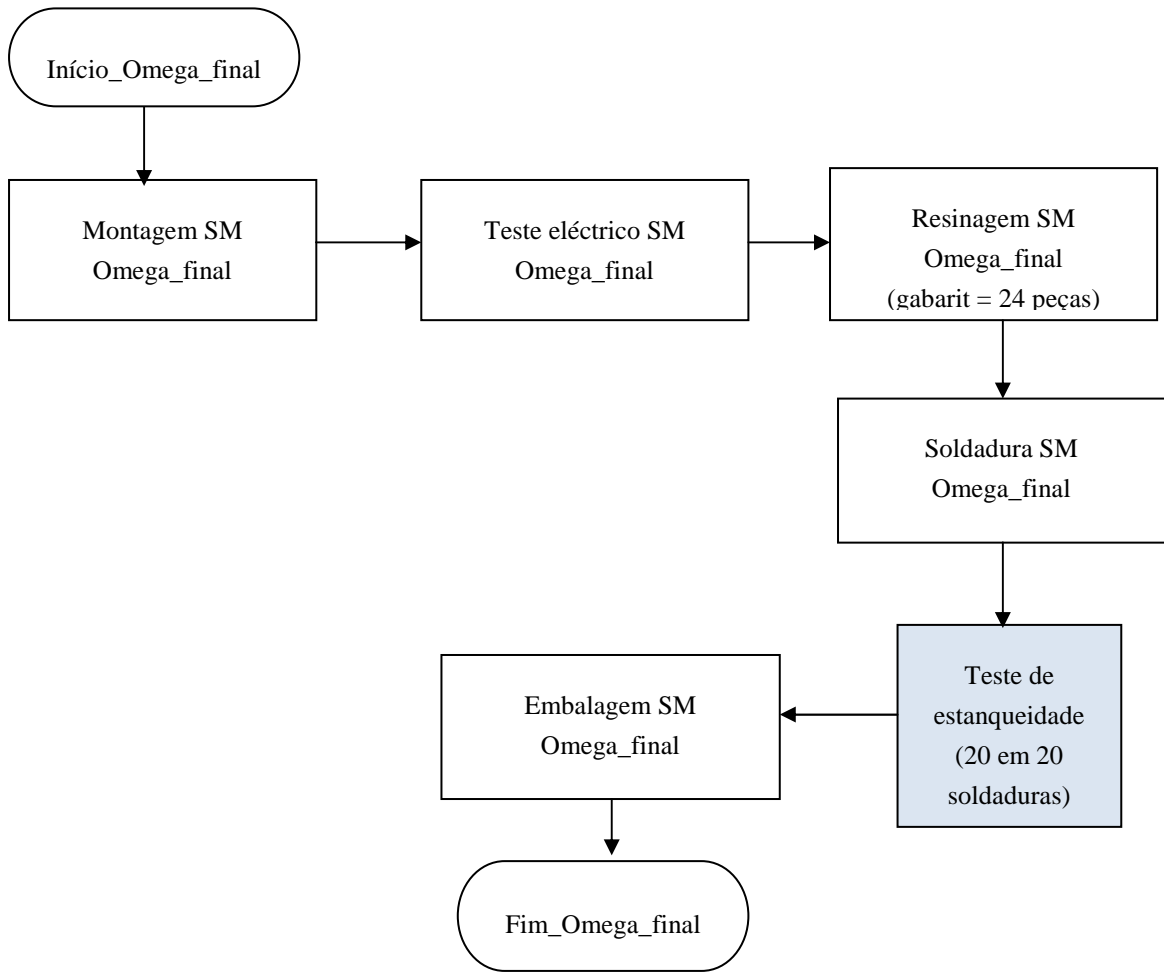
**Soldadura SM Omega\_inicial**



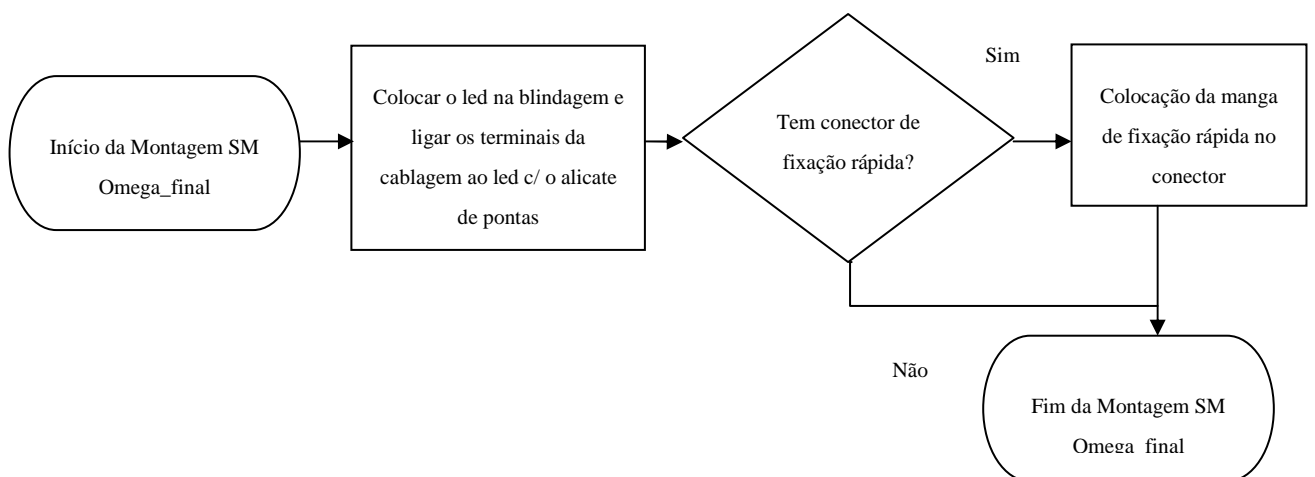
**Embalagem SM Omega\_inicial**



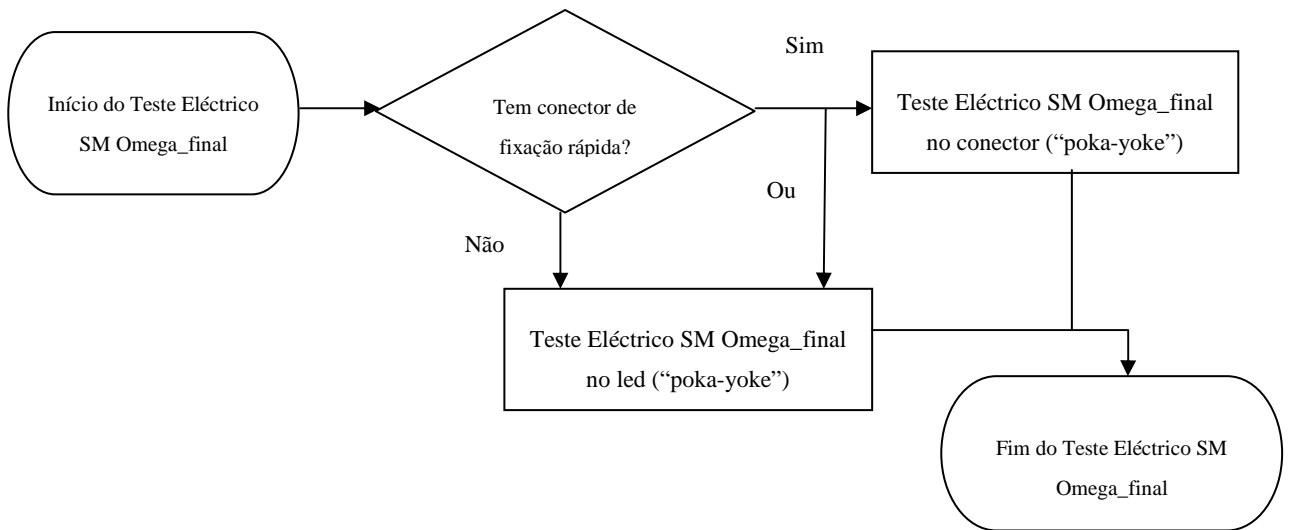
**SM Omega - Situação final**



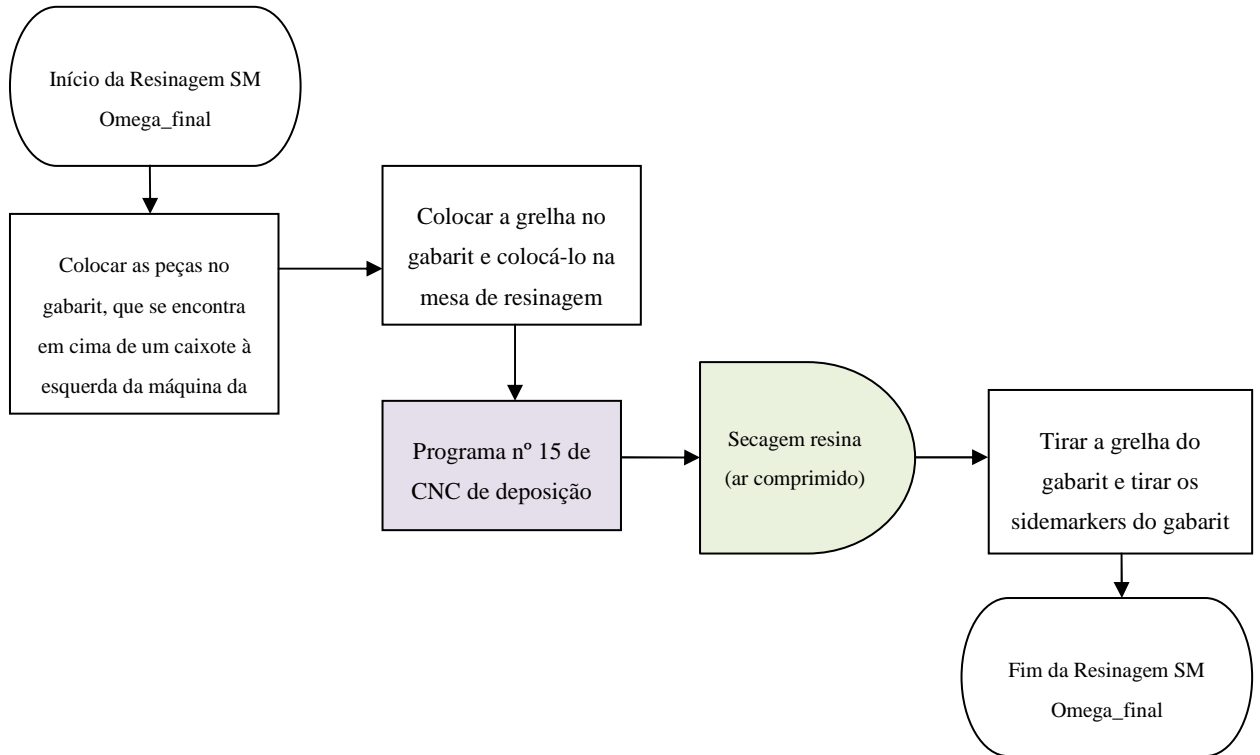
**Montagem SM Omega\_final**



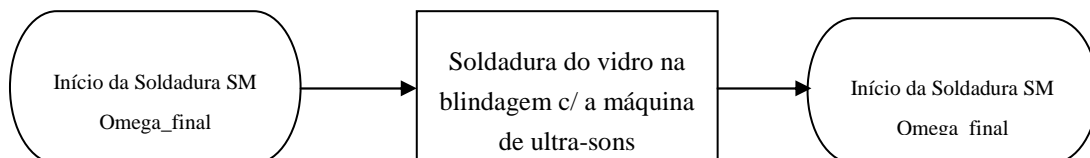
**Teste Eléctrico SM Omega\_final**



**Resinagem SM Omega\_final**



**Soldadura SM Omega\_final**



Embalagem SM Omega\_final

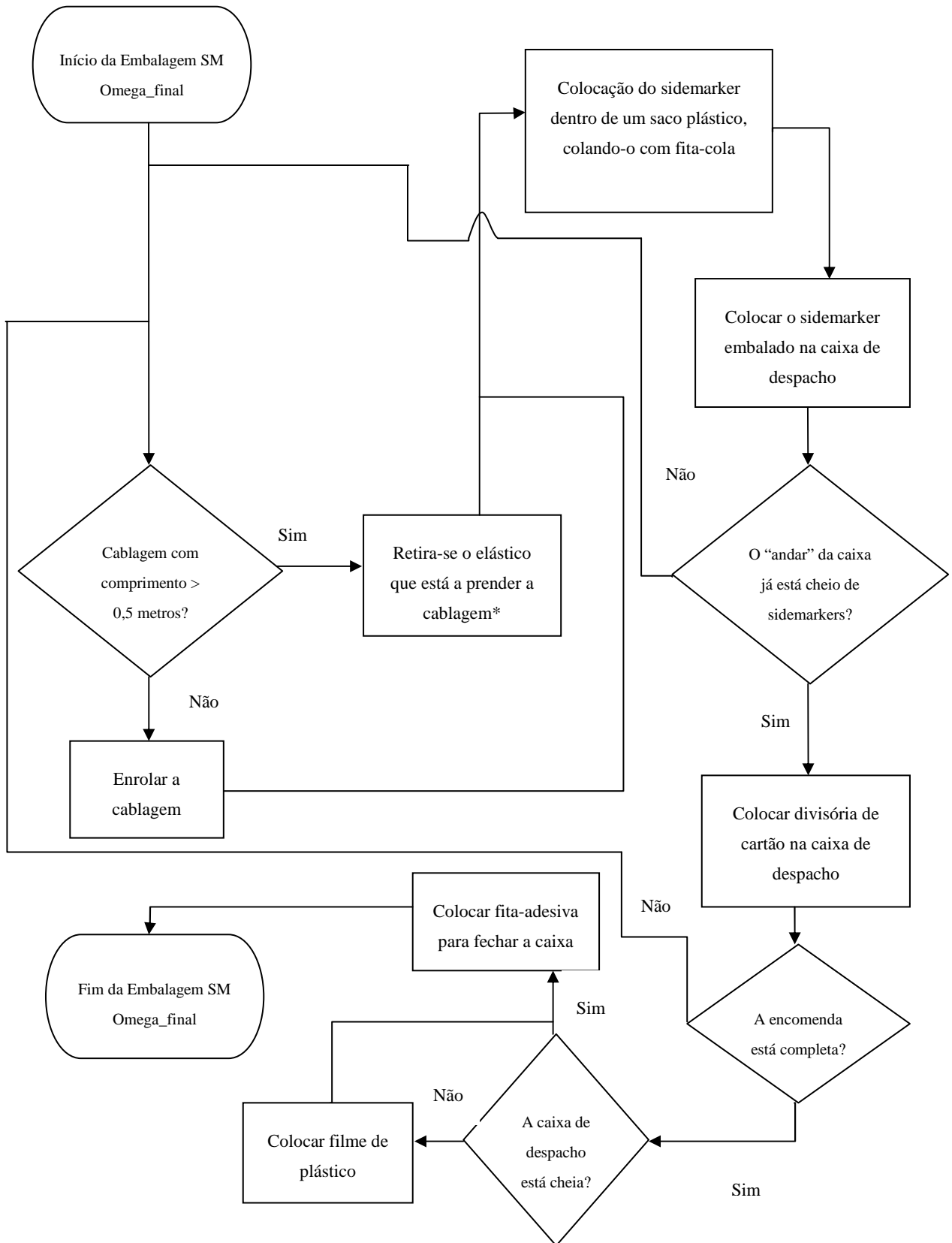
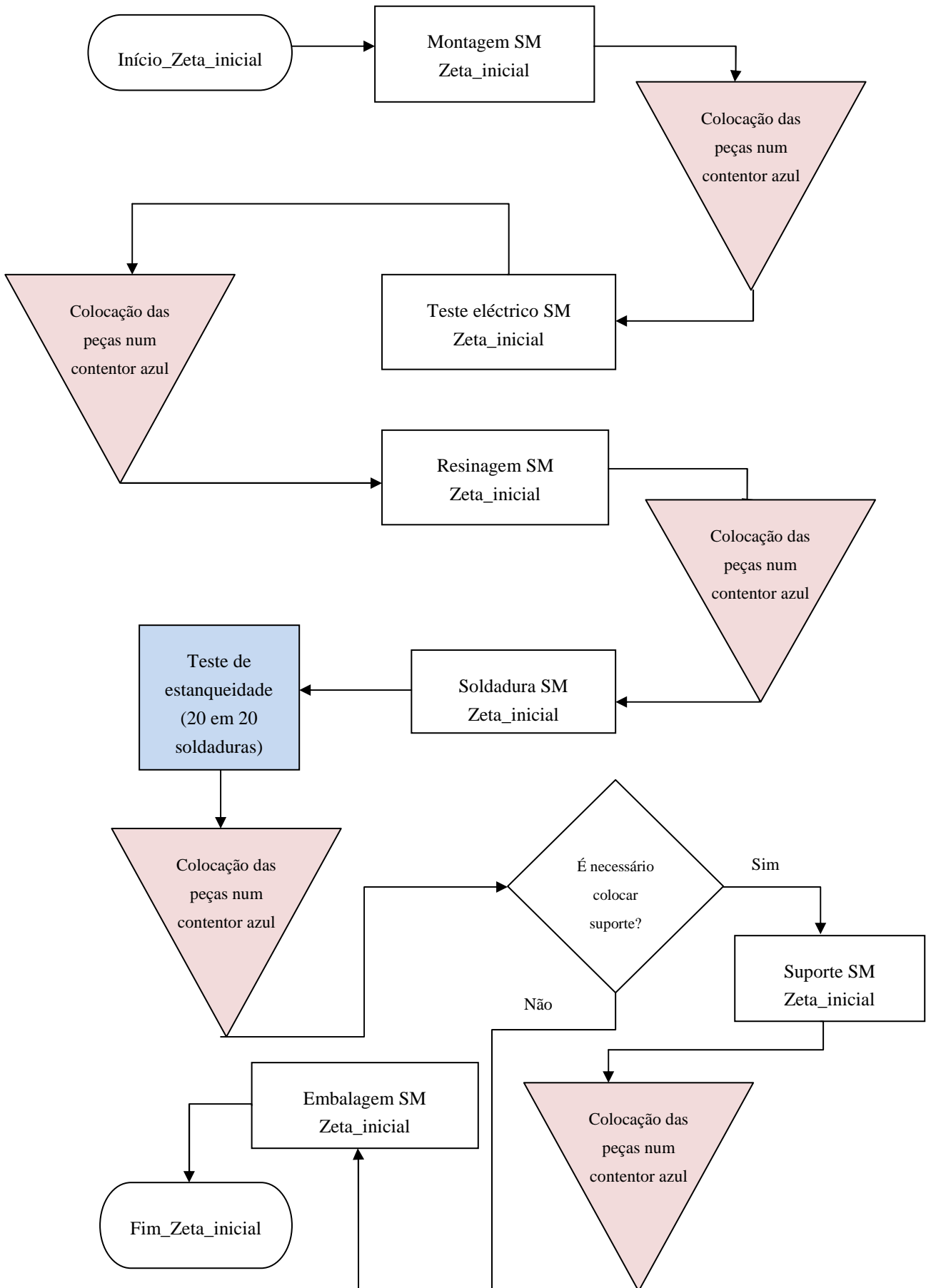
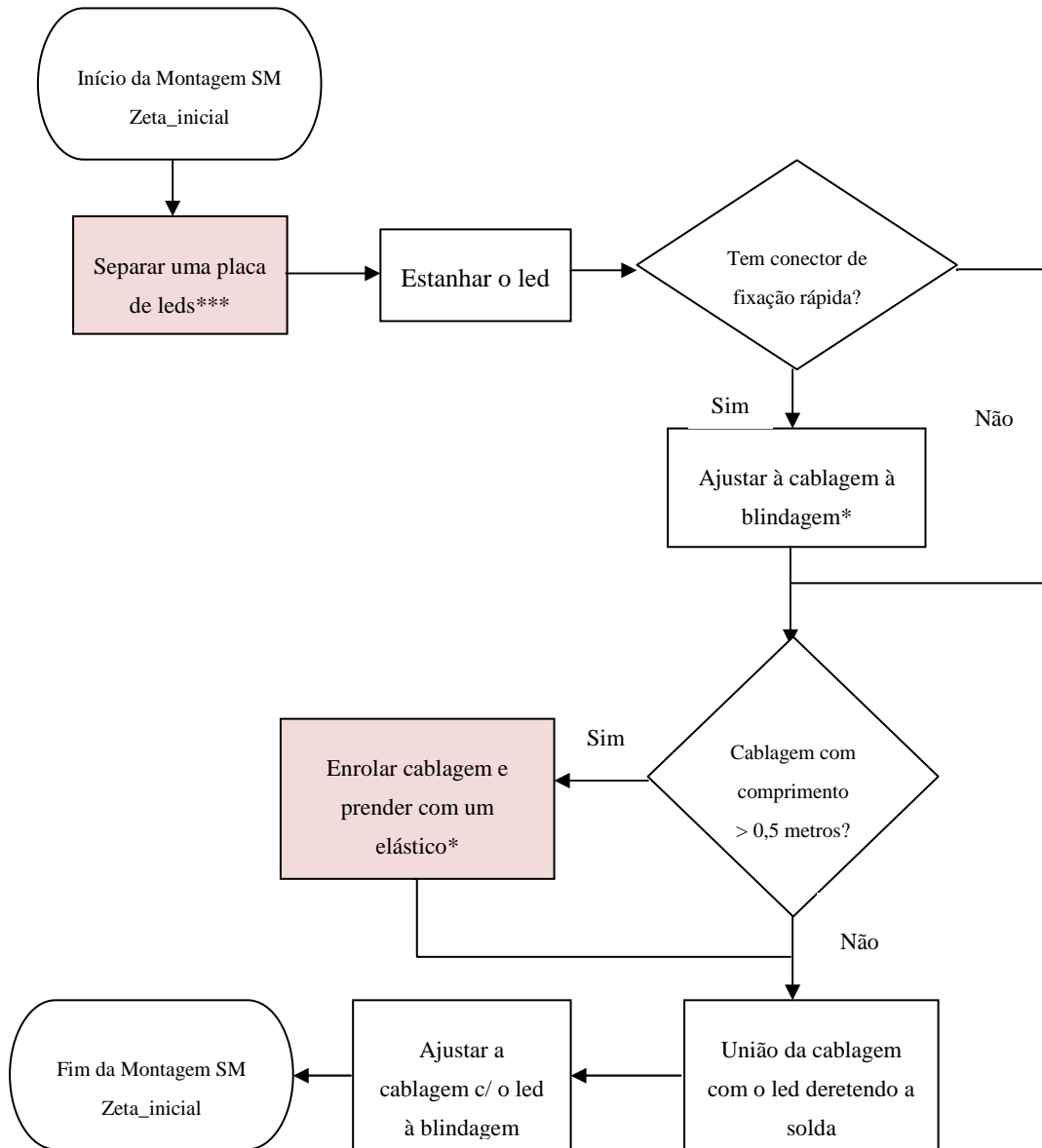


Figura G2 – Fluxograma dos processos produtivos do SM Omega (situação inicial vs. situação final)

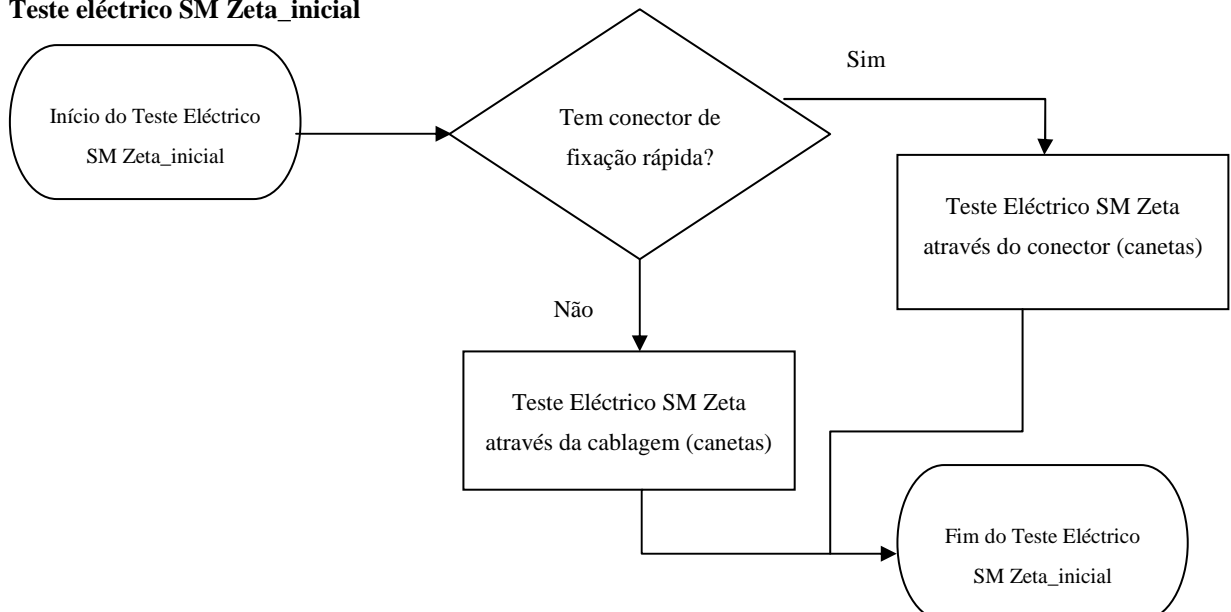
**SM Zeta – Situação inicial**



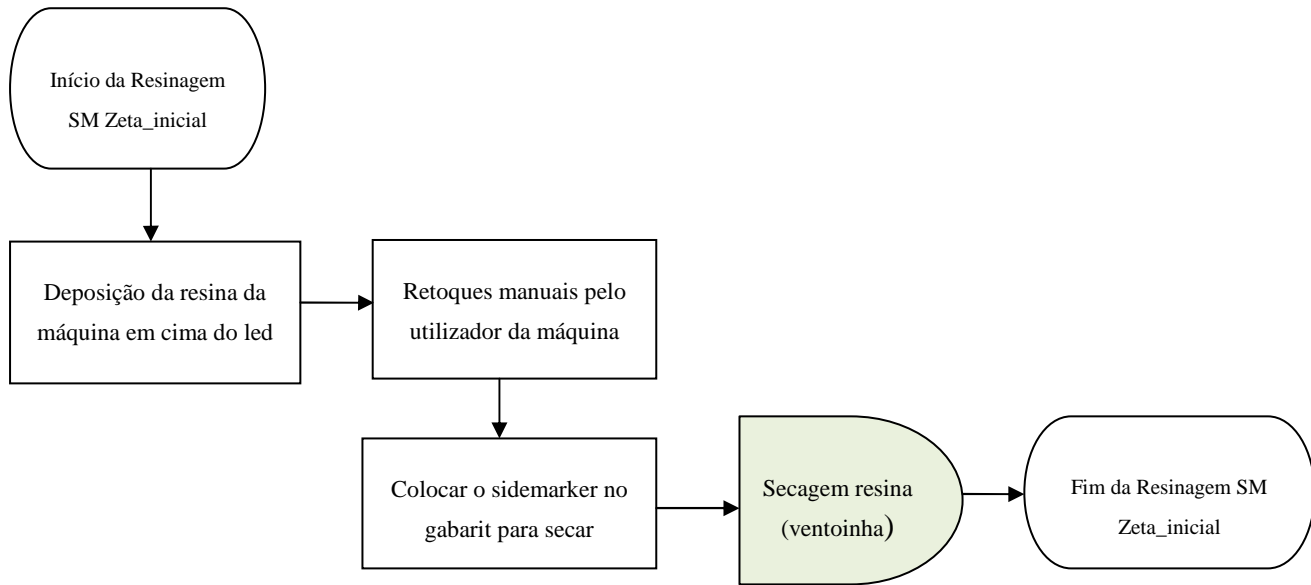
**Montagem SM Zeta\_inicial**



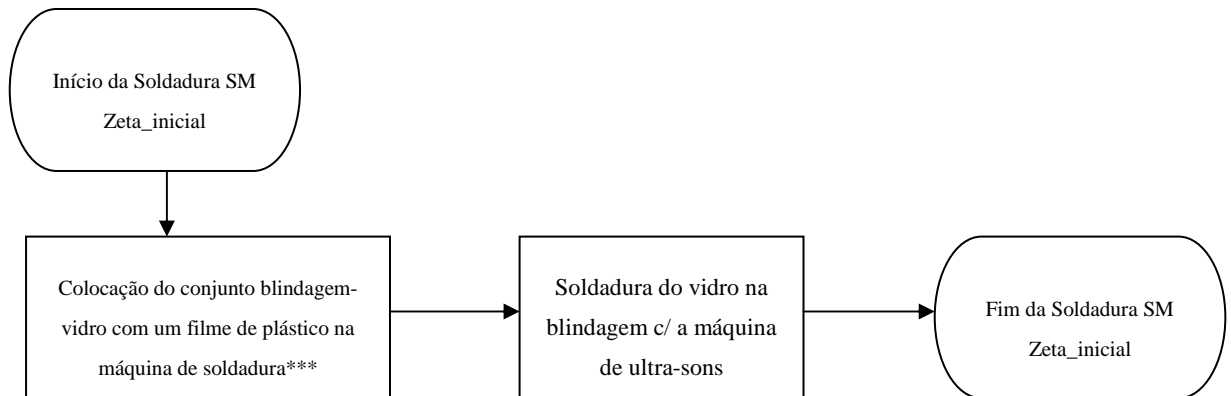
**Teste eléctrico SM Zeta\_inicial**



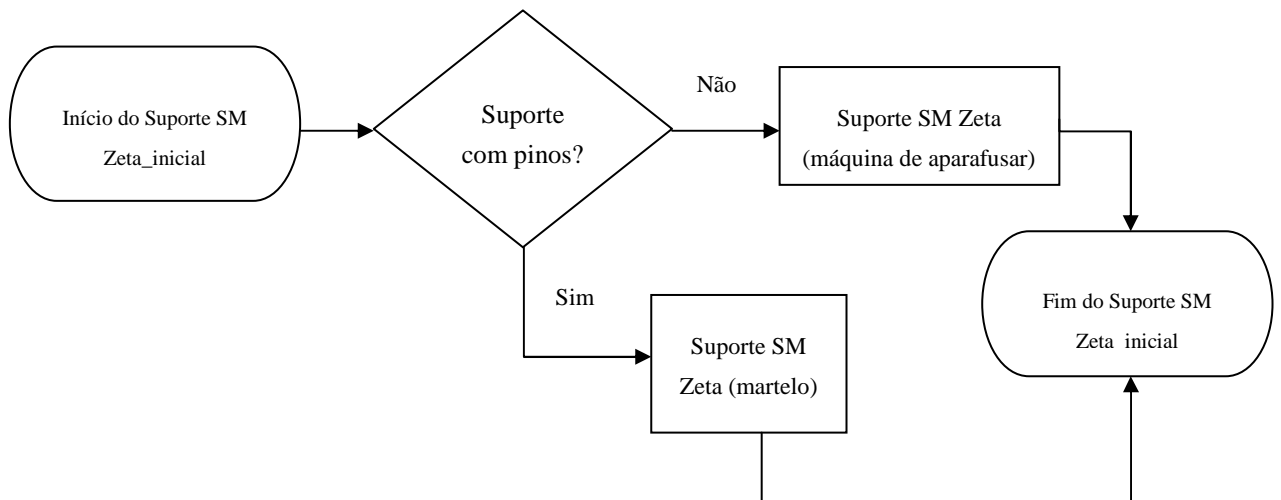
**Resinagem SM Zeta\_inicial**



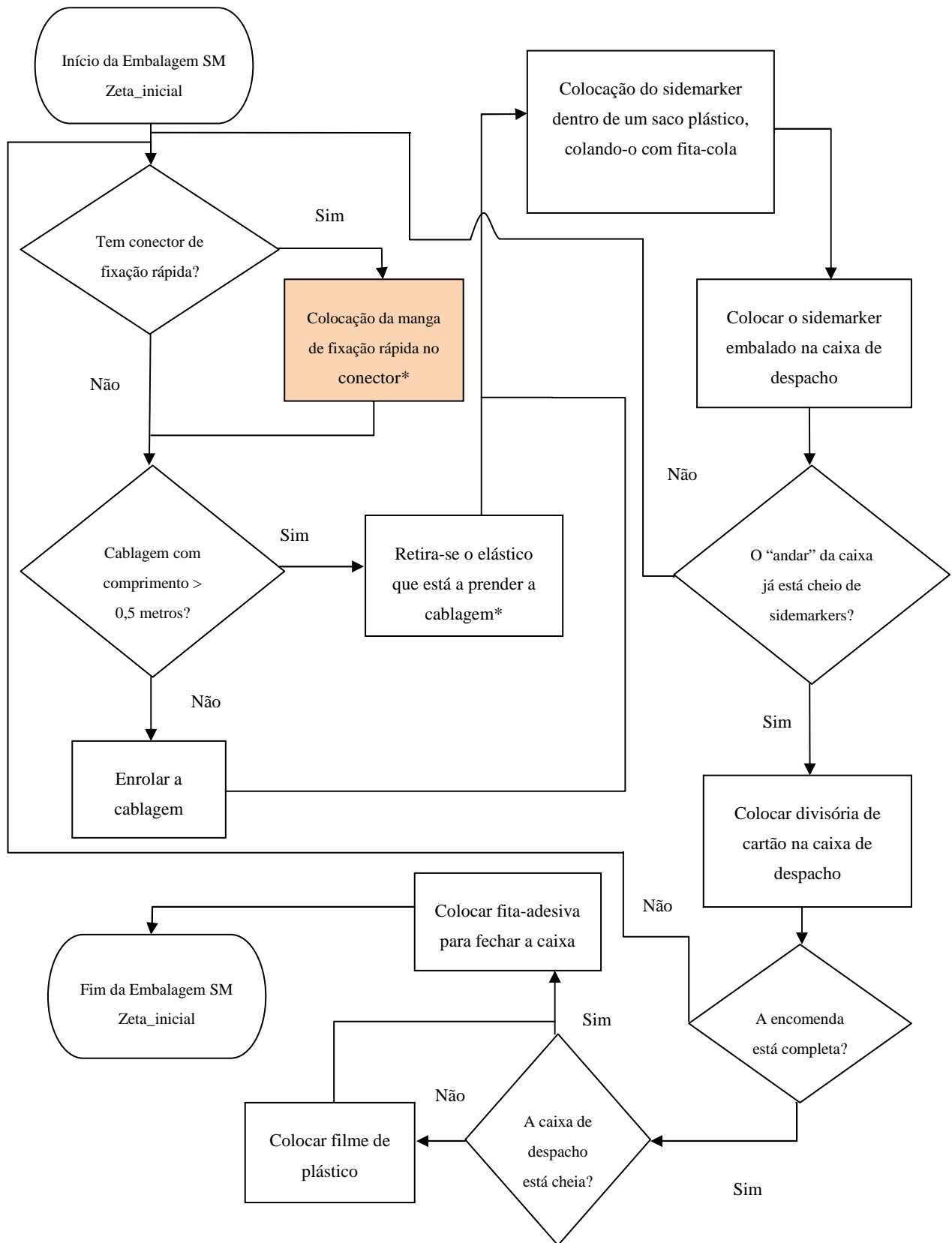
**Soldadura SM Zeta\_inicial**



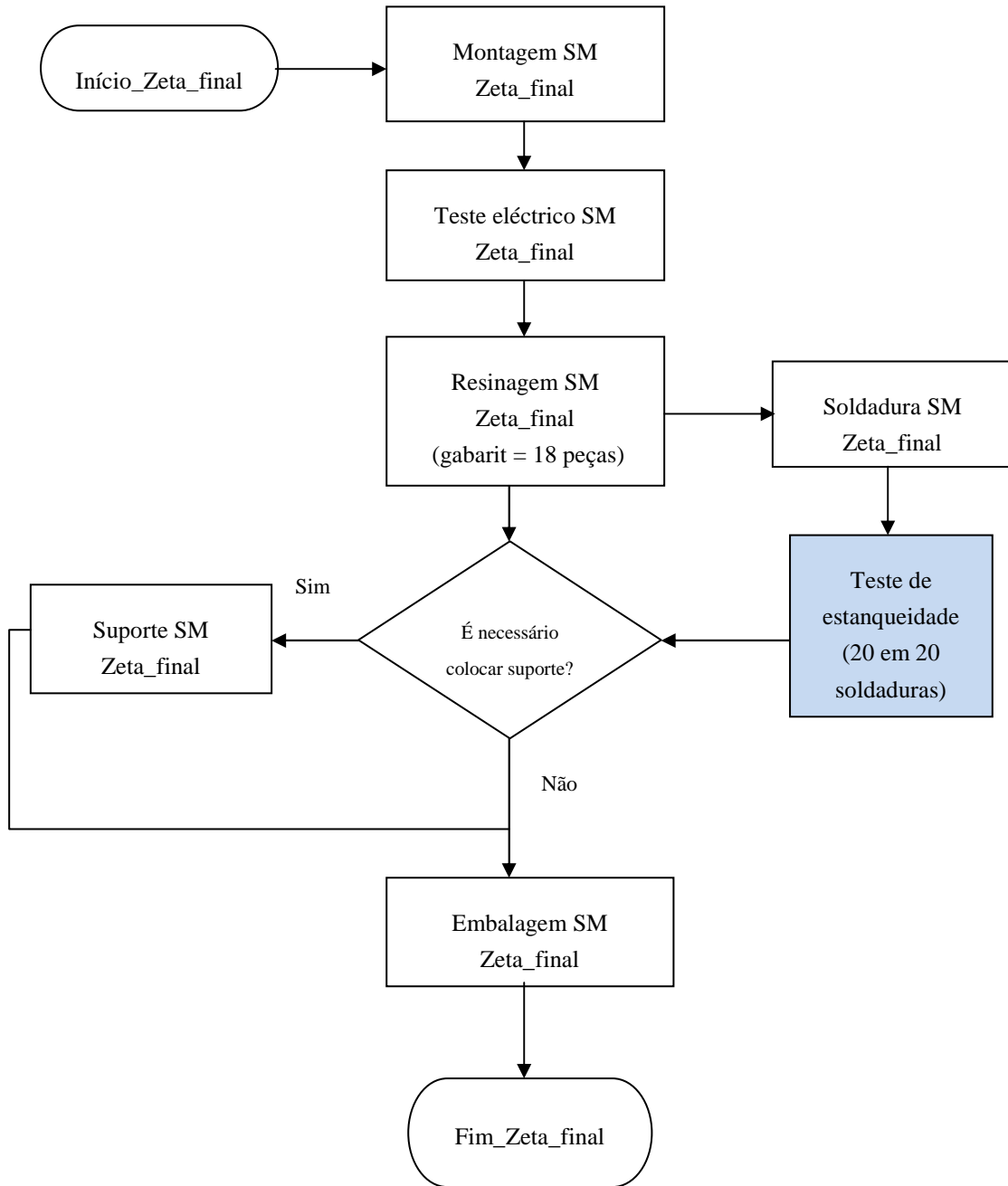
**Suporte SM Zeta\_inicial**



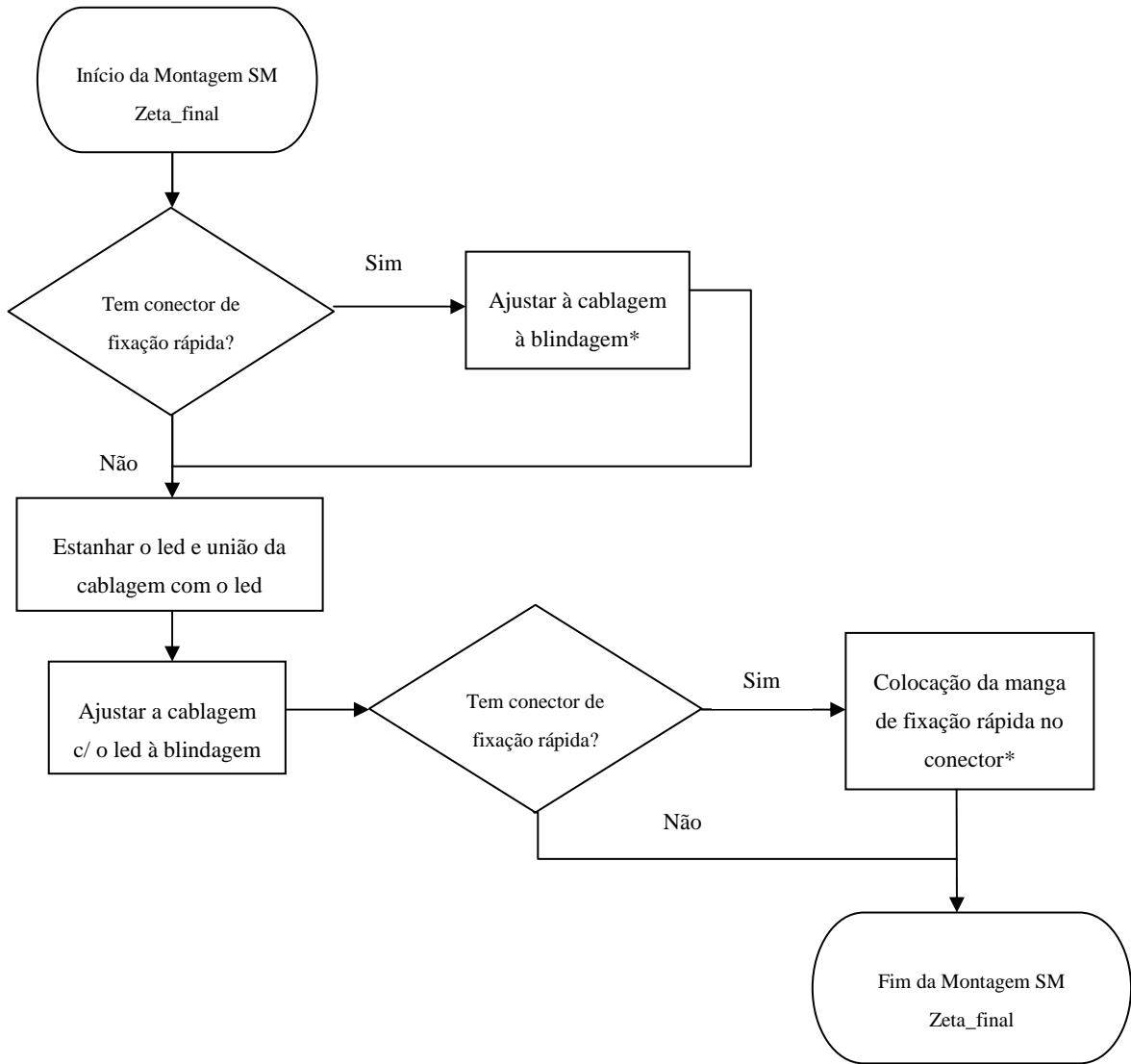
Embalagem SM Zeta\_inicial



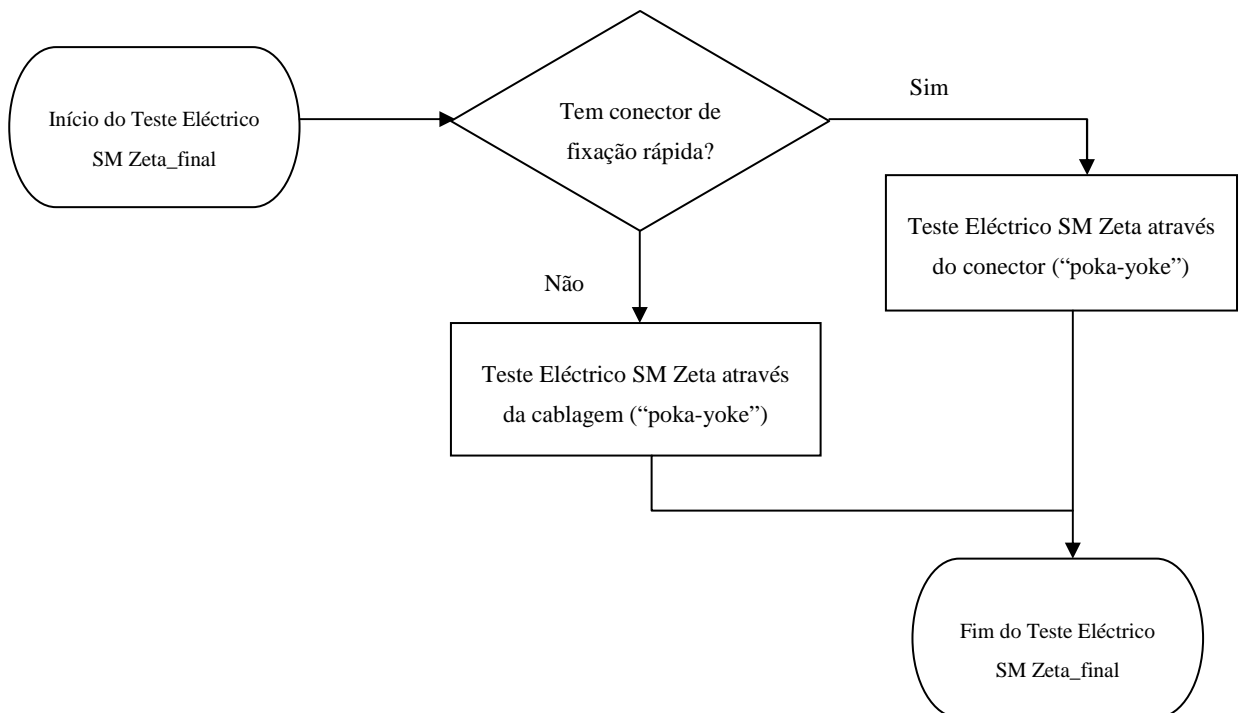
**Situação final**



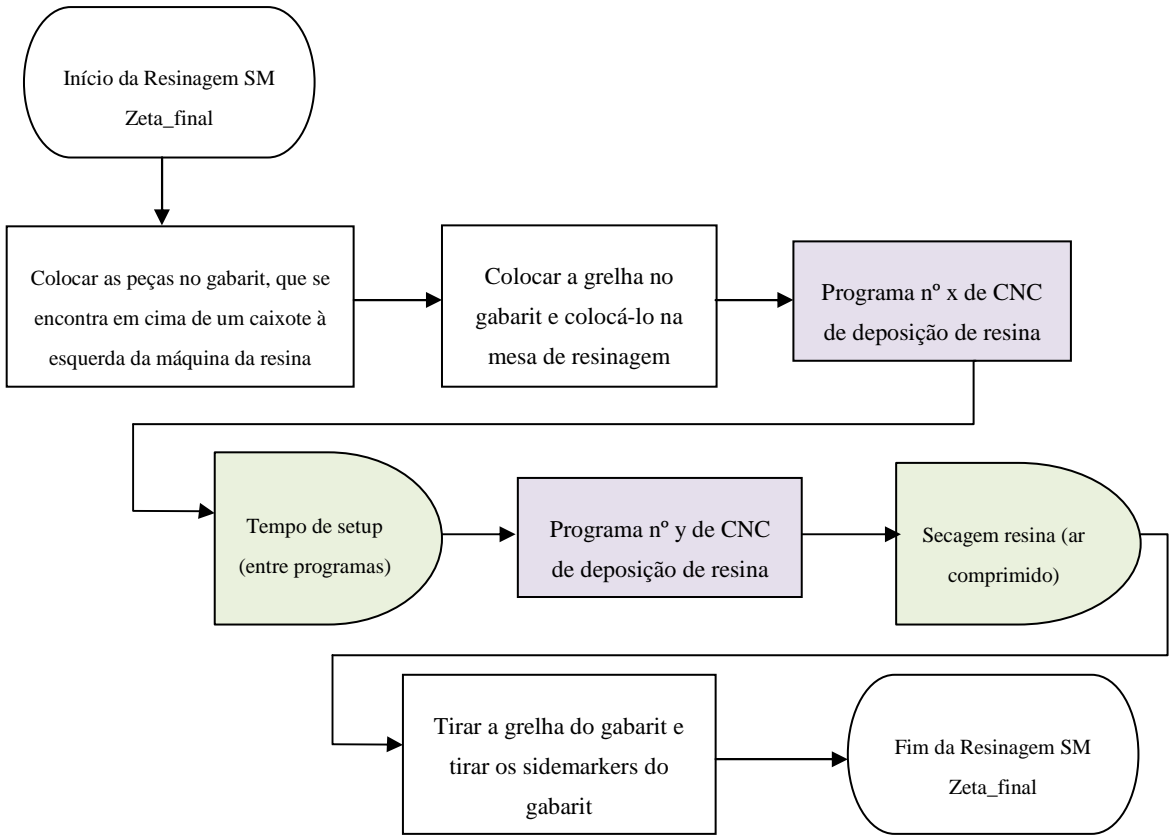
**Montagem SM Zeta\_final**



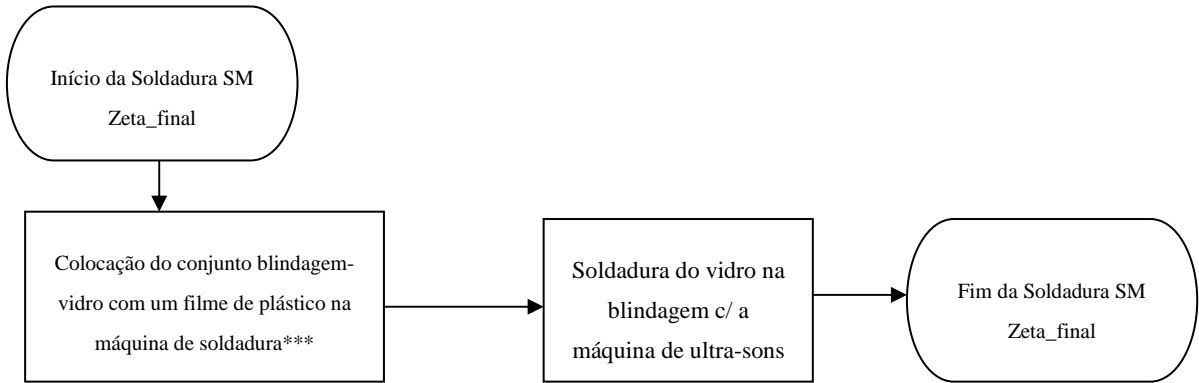
**Teste Eléctrico SM Zeta\_final**



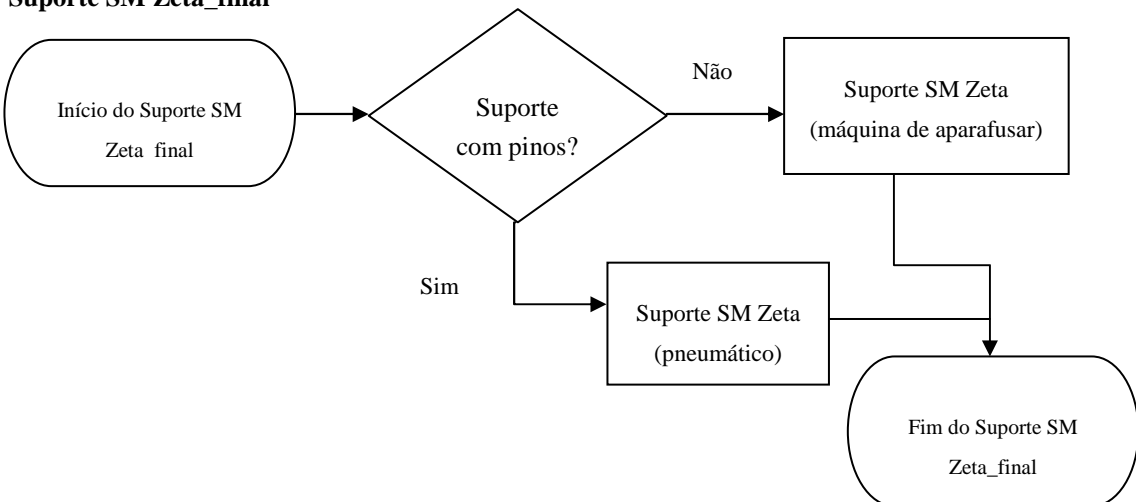
**Resinagem SM Zeta\_final**



**Soldadura SM Zeta\_final**



**Suporte SM Zeta\_final**



Embalagem SM Zeta\_final

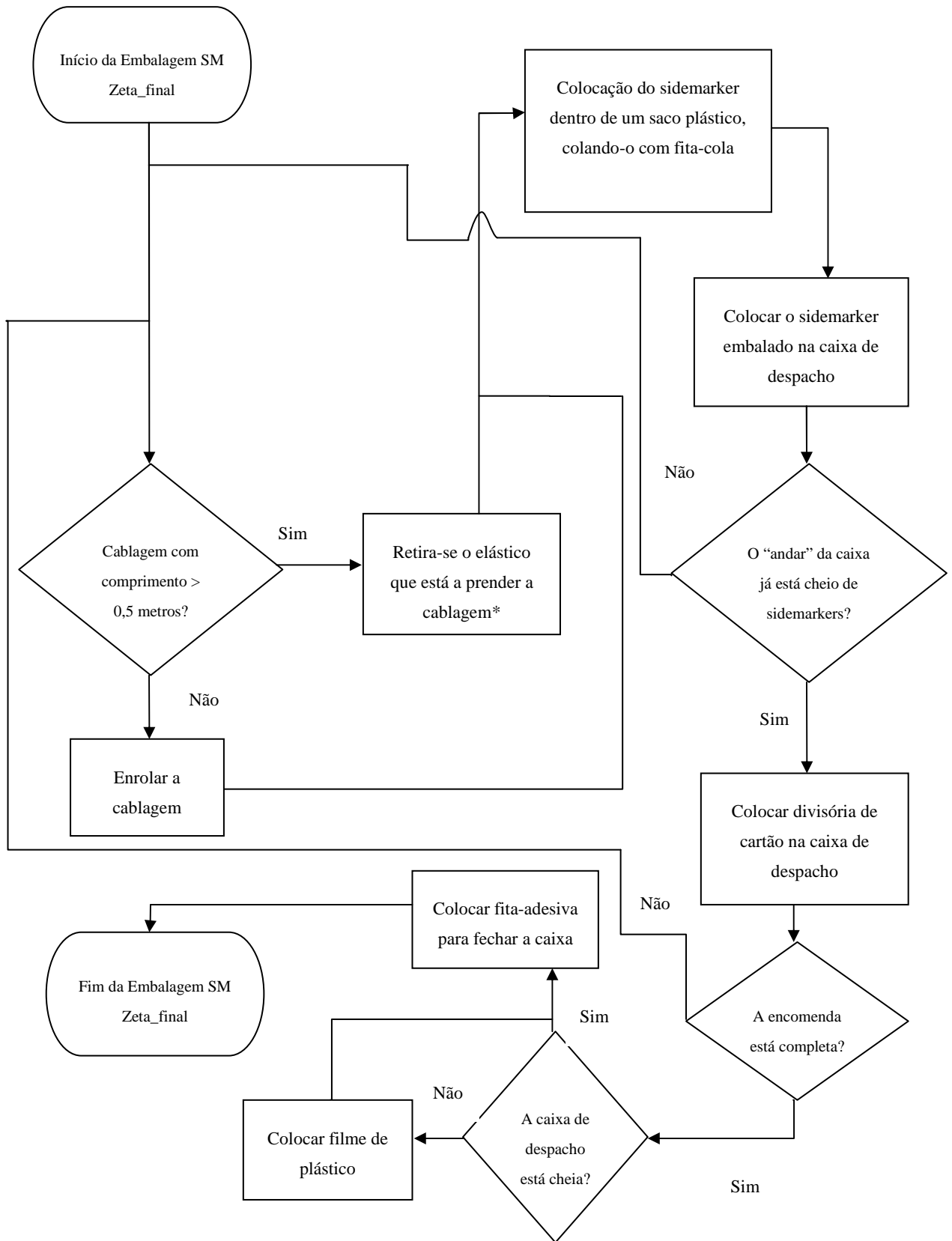
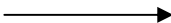


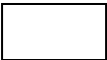






Figura G2 – Fluxograma dos processos produtivos do SM Zeta (situação inicial vs. situação inicial)

A seguinte tabela descreve a simbologia utilizada na elaboração dos fluxogramas, sendo que algumas operações como as tarefas automatizadas, vêm preenchidas com um azul roxeado. As tarefas desnecessárias ou que não apresentam valor acrescentado para o fabrico dos produtos encontram-se a rosa. (exemplo: colocação das peças nos contentores, após terem sido realizadas as diversas operações ou então a separação de uma placa de leds Omega)

**Tabela G1 – Descrição da simbologia utilizada nos fluxogramas**

Símbolo	Tipo	Descrição
	Fluxo de materiais / operações	O fluxo de materiais / operações permite a sequência dos diferentes processos.
	Terminal (início ou fim)	Esta notação é utilizada para iniciar e terminar o fluxograma dos diferentes conjuntos de operações.
	Ponto de Decisão	Um ponto de decisão existe quando se tem de fazer perguntas ao processo, podendo se fazer dois tipos de operações diferentes.
	Operação	Uma operação existe quando um objecto é modificado intencionalmente numa ou mais das suas características. A operação é normalmente realizada num posto de trabalho.
	Transporte	Um transporte ocorre quando um objecto é deslocado de um lugar para outro, excepto quando o movimento faz parte de uma operação ou inspecção.
	Inspeção	Uma inspecção ocorre quando um objecto é examinado para identificação ou comparado com um padrão de quantidade ou qualidade.
	Espera	Uma espera ocorre quando a execução da próxima operação planeada não é efectuada (por exemplo: tempo de secagem da cola: espera de materiais em falta).
	Armazenagem	Um armazenamento ocorre quando um objecto é mantido sob controlo, e a sua movimentação requer uma autorização (por exemplo: material em armazém; stock intermédio que necessita de uma ordem de trabalho para ser movimentado).

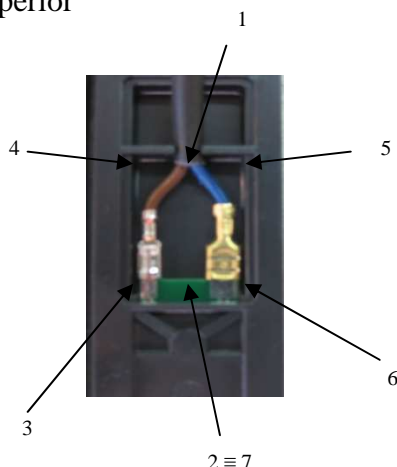
## ANEXO H: Programas CNC na Máquina da Resina (*SM Omega* e *SM Zeta*)

Nesta secção apresentam-se os programas CNC elaborados na máquina de resina, de modo a automatizar os processos de deposição de resina nos modelos *Omega* e *Zeta*.

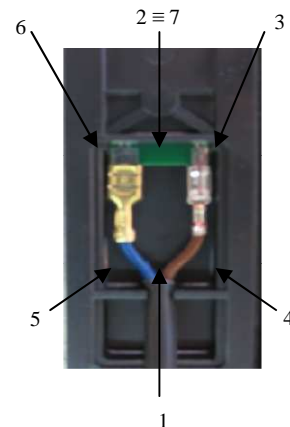
Os parâmetros que podem ser alterados após os pontos serem gravados são: o comando Cola (On ou Off) que indica se há deposição de resina ou não, e a velocidade de avanço do “bico” (0 - 9). A máquina de resina, não permite fazer ciclos, ou seja, têm de se gravar os pontos para as 24 peças e não apenas para uma, voltando a repetir este processo, através de variações de deslocamentos.

### *SM Omega*

#### Parte Superior



#### Parte Inferior



**Figura H1 – Representação esquemática da sequência dos diferentes pontos do programa nº 15 de CNC de deposição de resina na parte de trás da blindagem *Omega* (“hemisfério” superior e inferior do gabarite)**

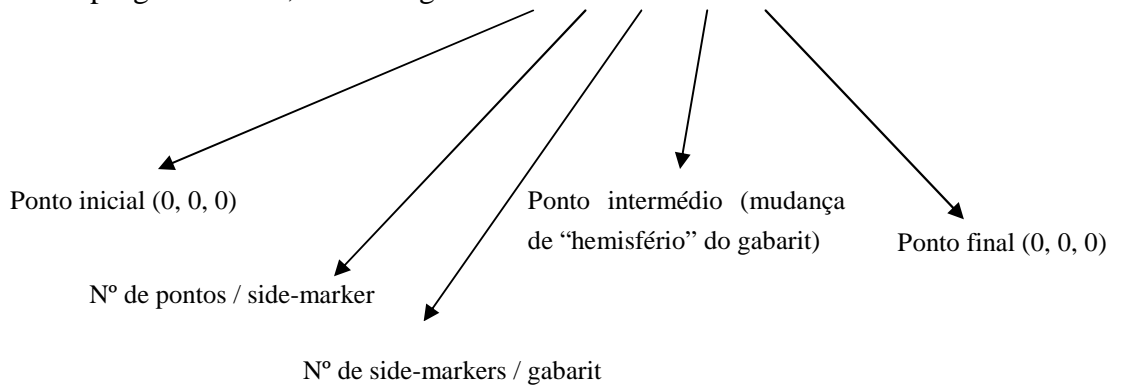
1 – 6: Cola On / Velocidade 2

7: Cola Off / Velocidade 9

Z fixo.

- Execução do programa nº 15, *SM\_Omega* final, que deposita resina nos 24 side-markers que estão no gabarite! Anteriormente, apenas existiam os programas nº 9 e nº 11 que depositavam a resina na parte superior e inferior do gabarite, respectivamente.

Nº de pontos do programa nº 15, SM Omega final:  $1 + 7 \times 24 + 1 + 1 = 171$

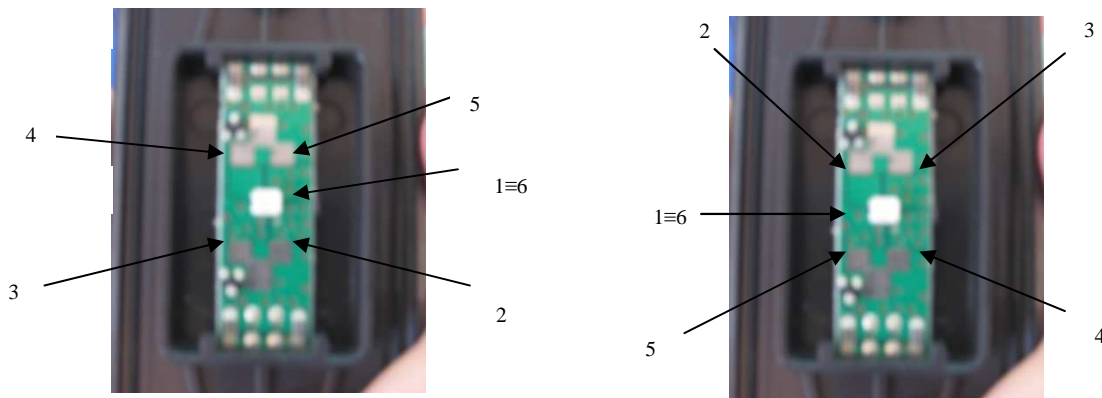


*SM Zeta*

1ª Passagem

Parte Superior (1)

Parte Inferior (2)



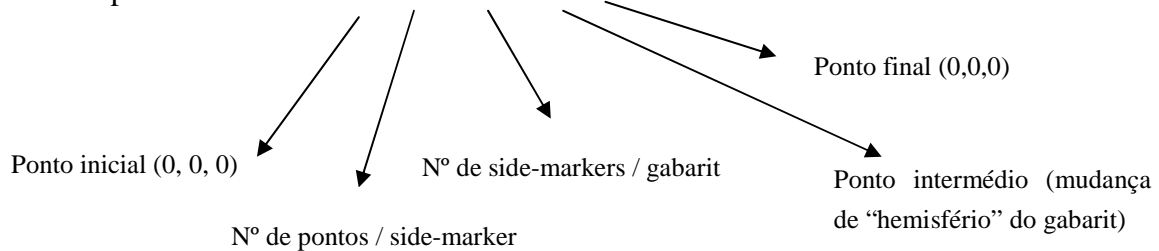
**Figura H2 - Representação esquemática da sequência dos diferentes pontos do programa nº 13 de CNC de deposição de resina à volta do led na blindagem Zeta (“hemisfério” superior e inferior do gabarit)**

(1) & (2) :

1-5. Vel. 7; Cola On

6. Vel. 9; Cola Off

Nº de pontos necessários:  $1 + 6 \times 18 + 1 + 1 = 111$



Ponto nº 0

X=0; Y=0; Z=0 Vel. 9 Cola Off

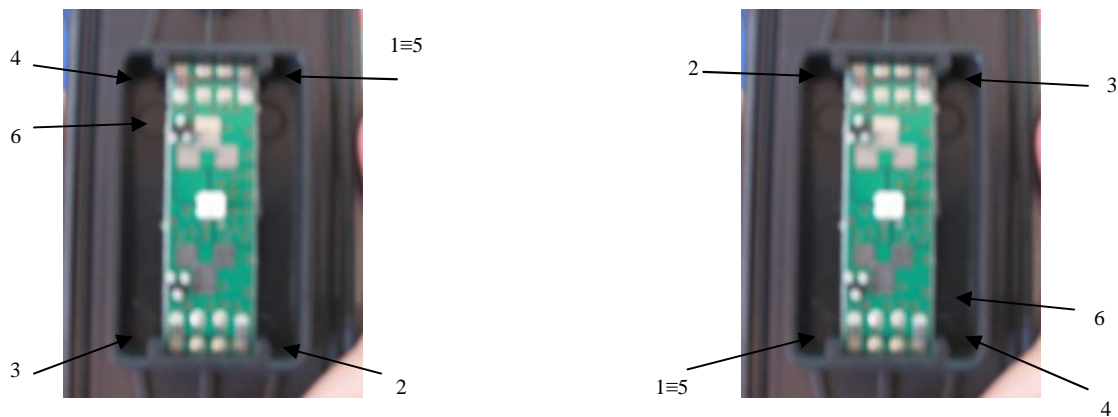
Ponto nº 1

X=27,3; Y=60,2; Z=135,9 Vel. 7 Cola On  
 Ponto nº 2  
 X=27,3; Y=66,8; Z=135,9 Vel. 7 Cola On  
 Ponto nº 3  
 X=38,1; Y=66,8; Z=135,9 Vel. 7 Cola On  
 Ponto nº 4  
 X=38,1; Y=54,4; Z=136,0 Vel. 7 Cola On  
 Ponto nº 5  
 X=27,5; Y=54,4; Z=136,0 Vel. 7 Cola On  
 Ponto nº 6  
 X=27,5; Y=60,6; Z=136,0 Vel. 9 Cola Off

2ª Passagem

Parte Superior (3)

Parte Inferior (4)

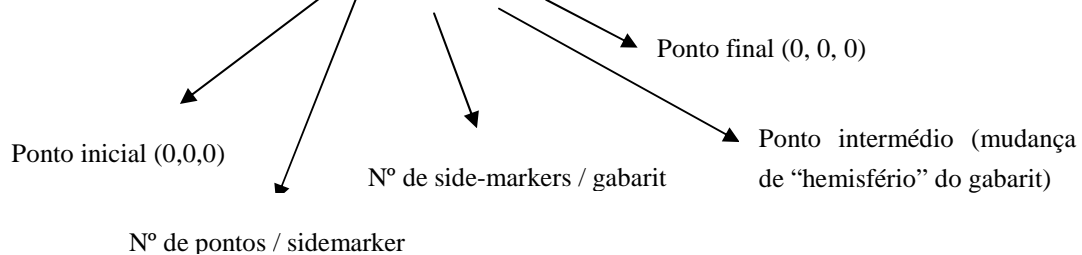


**Figura H3 - Representação esquemática da sequência dos diferentes pontos do programa nº 14 de CNC de deposição de resina nos cantos da cavidade da blindagem Zeta (“hemisfério” superior e inferior do gabarit)**

1-5.Vel. 1; Cola On

6. Vel. 9; Cola Off

Nº de pontos necessários:  $1 + 6 \times 18 + 1 + 1 = 111$



Ponto nº 1

X=0; Y=0; Z=0 Vel. 9 Cola Off

Ponto nº 2

X=23,5; Y=44,4; Z= 123,0 Vel. 1 Cola On

Ponto nº 3

X=23,5; Y=77,7; Z=123,1 Vel. 1 Cola On

Ponto nº 4

X=42,8; Y=77,7; Z=123,1 Vel. 1 Cola On

Ponto nº 5

X=42,8; Y=45,0; Z=123,1 Vel. 1 Cola On

Ponto nº 6

X=23,5; Y=45,0; Z=123,0 Vel. 1 Cola On

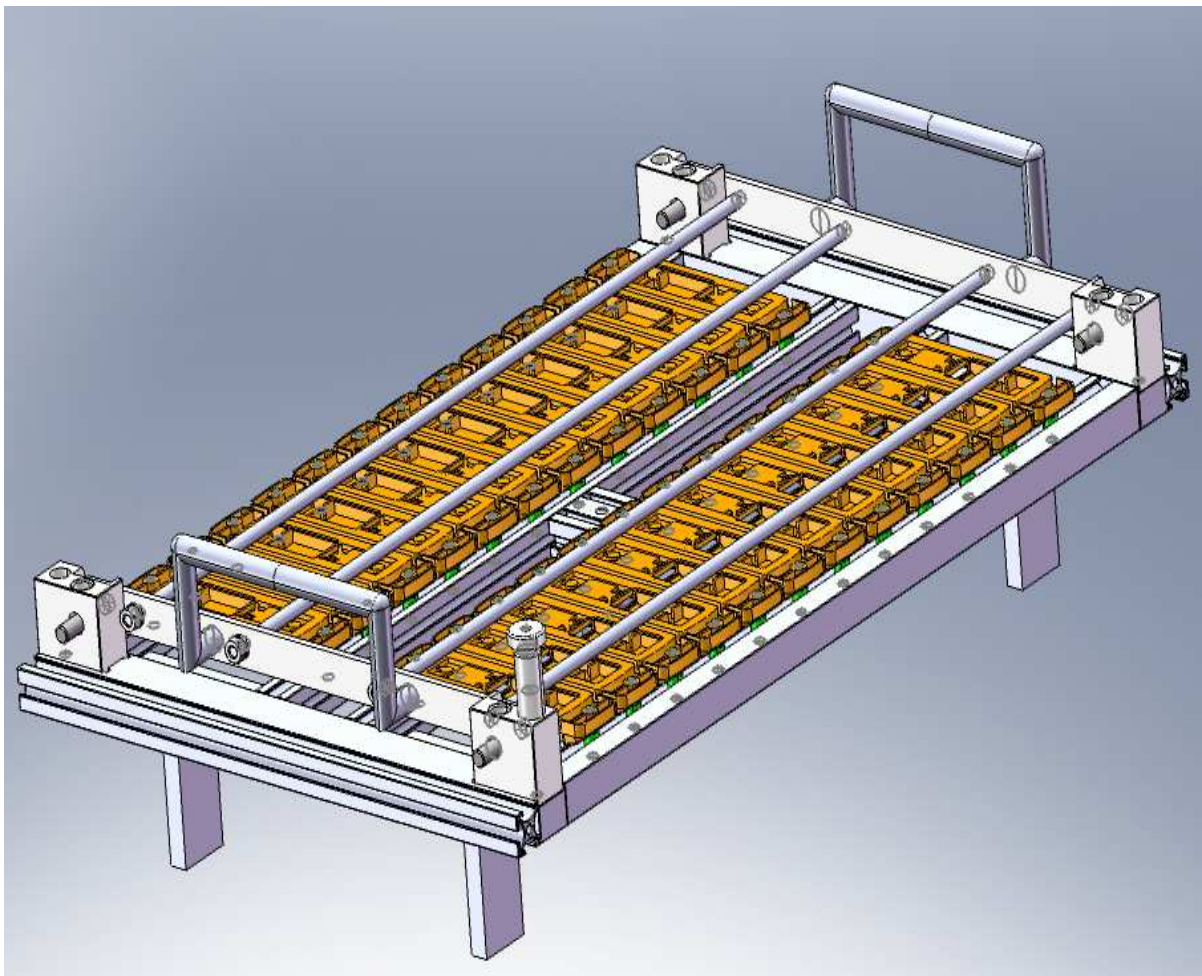
Ponto nº 7

X=40,7; Y=45,1; Z=122,9 Vel. 9 Cola Off

### **ANEXO I: Modelações Solidworks (SM Omega, SM Zeta, SM Psi, SM Lambda e SM Kappa)**

Esta secção, apresenta as modelações em *Solidworks* dos gabarits necessários para os diferentes modelos de sidemarkers, de maneira à operação de resinagem ser automatizada na máquina de resina. Modelou-se também dispositivos poka-yoke para a fixação do suporte no modelo Zeta, assim como desenhou-se um novo gabarit para o modelo Omega, mais leve em perfil de alumínio. De referir, que vários modelos de *sidemarkers*, têm diferentes formas de ser depositada a resina (*Kappa* e *Psi*), nomeadamente no conector e na cablagem, tendo-se desenhado os diversos cenários possíveis.

#### **SM Omega**



**Figura I1 – Assembly gabarit omega**

SM Zeta

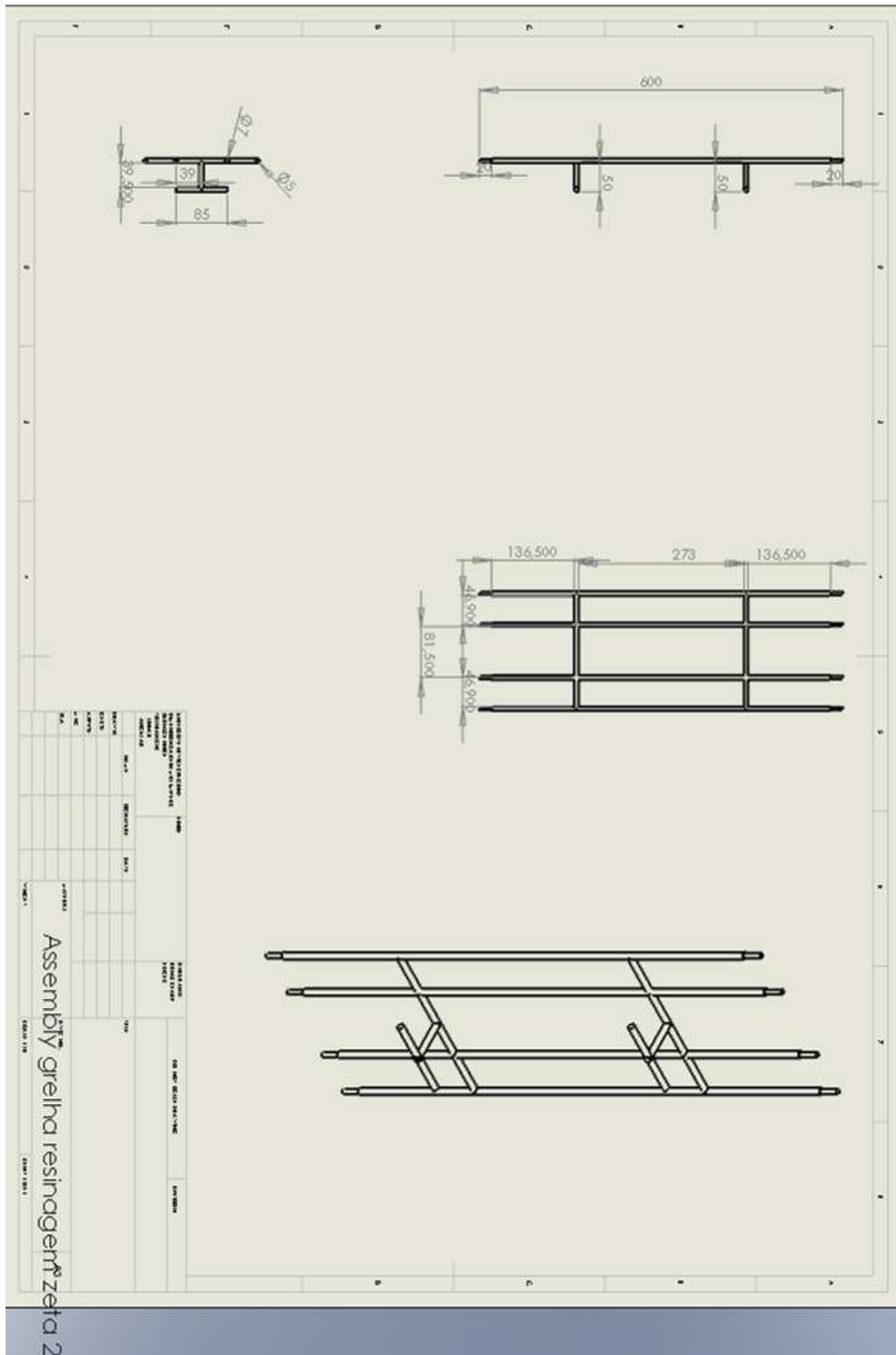
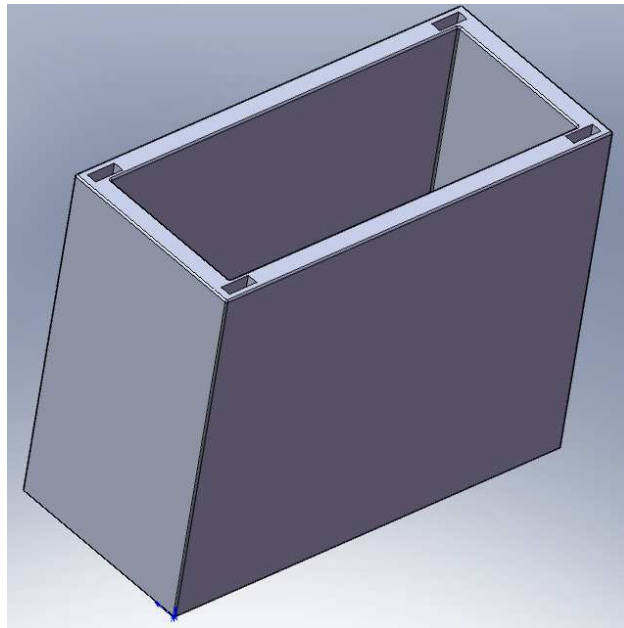
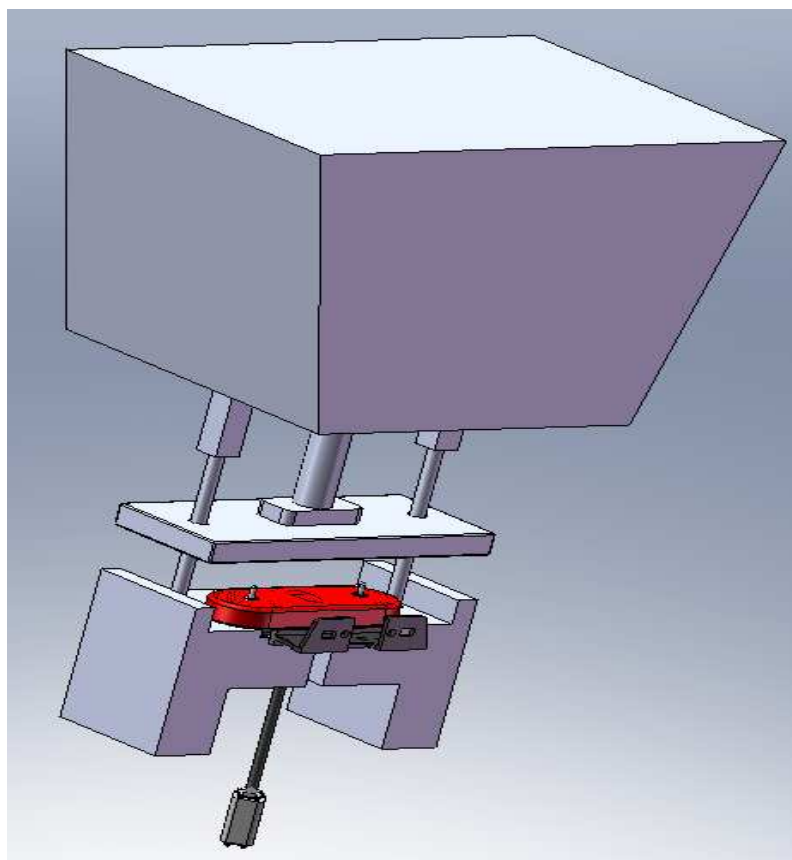


Figura I2 – Assembly Grelha Zeta

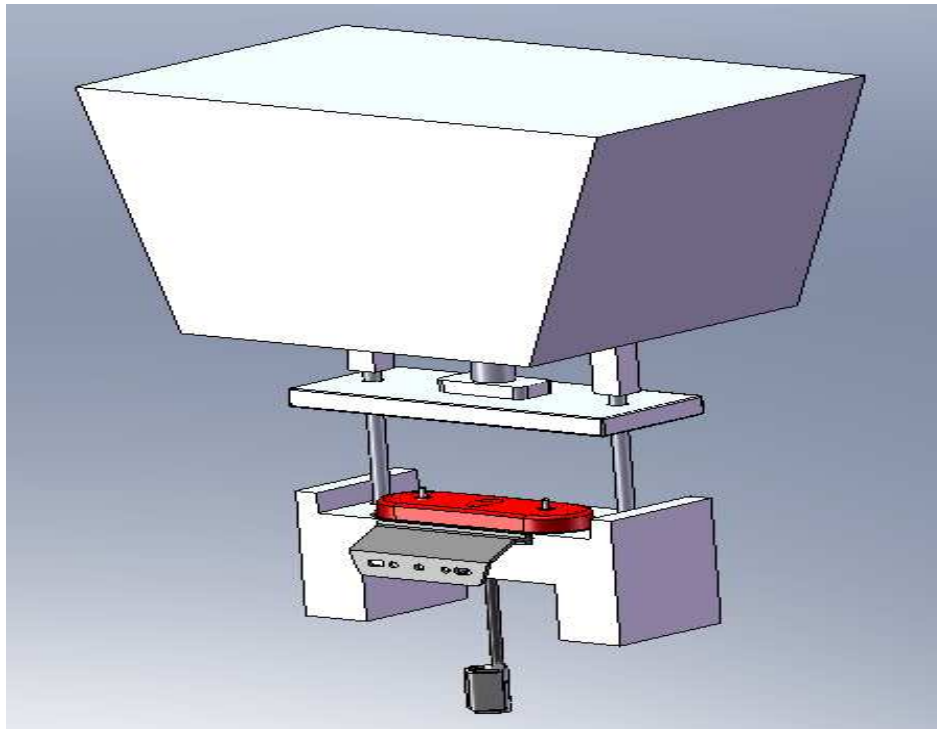


**Figura I3 – Assembly Base Gabarit Zeta**

Poka - yoke fixação suporte zeta

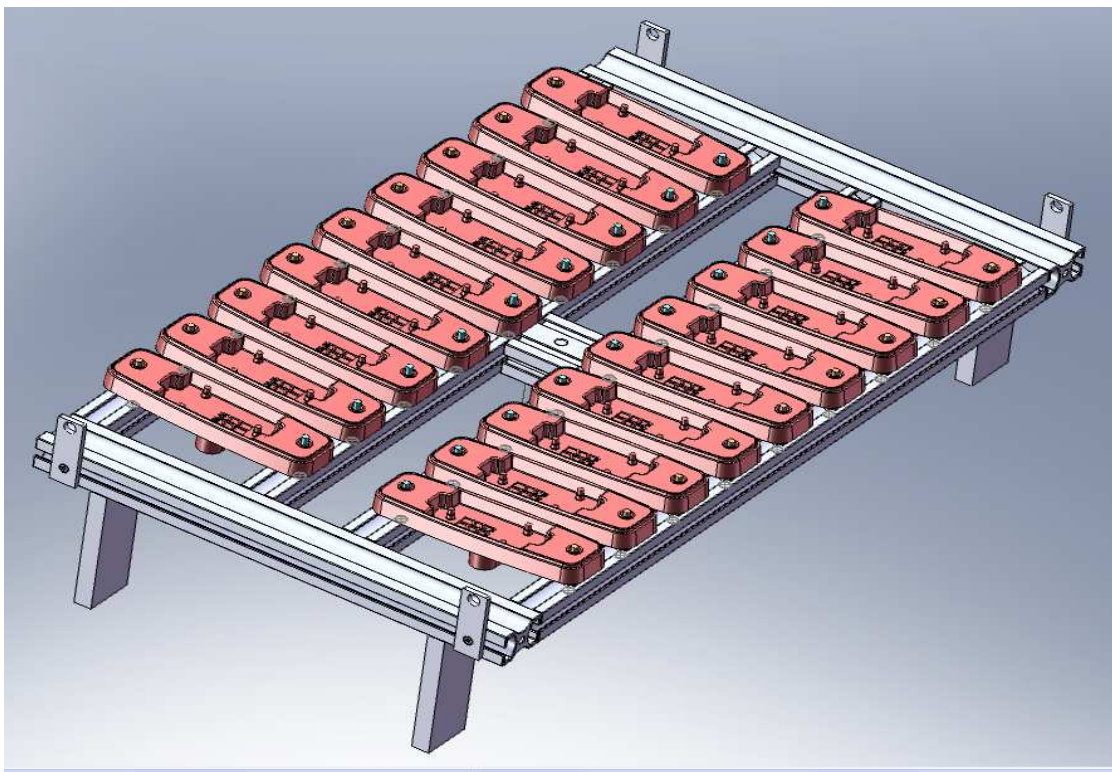


**Figura I4 – Assembly Suporte 90° B Sidemarker Zeta**

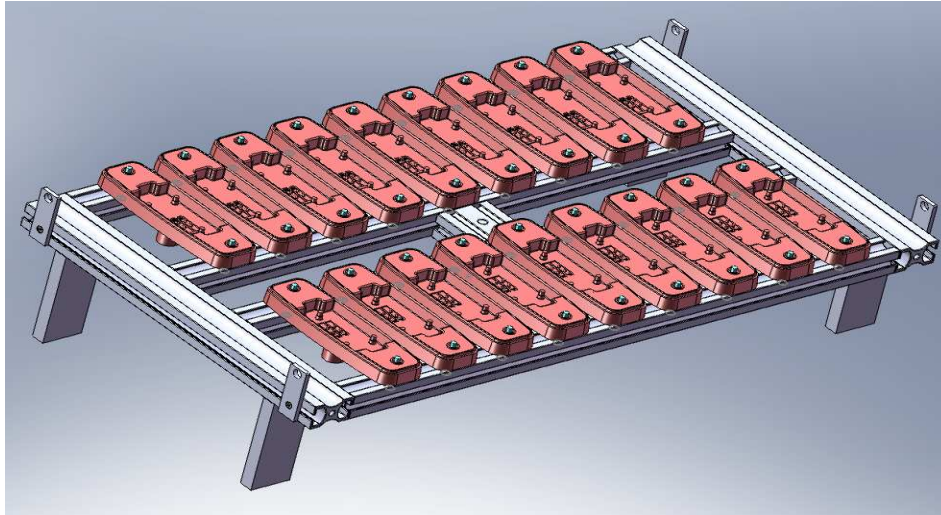


**Figura I5 – Assembly Suporte 90° F Sidemarker Zeta**

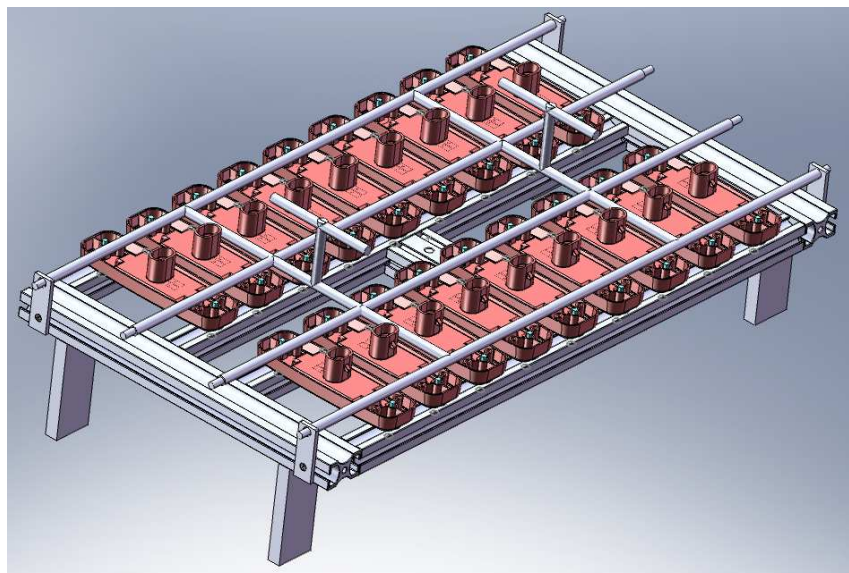
**SM Psi**



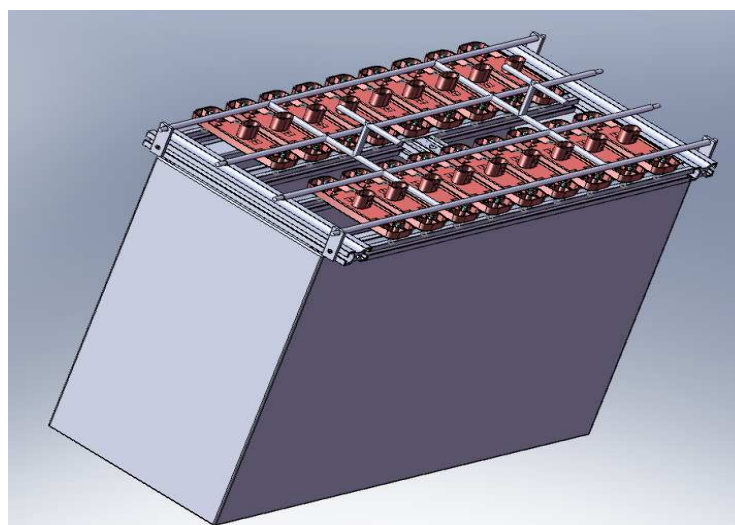
**Figura I6 - Assembly gabarit psi inclinado**



**Figura I7 - Assembly gabarit psi (s/ cablagem)**

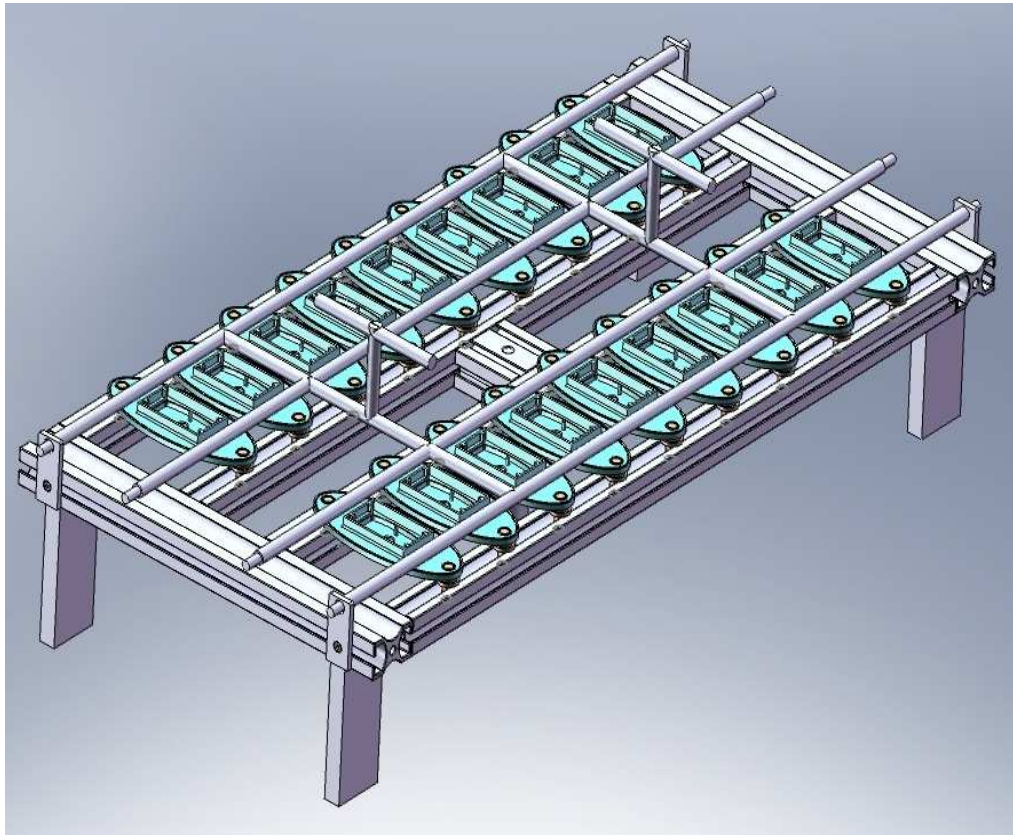


**Figura I8 – Assembly gabarit psi (c/ cablagem)**

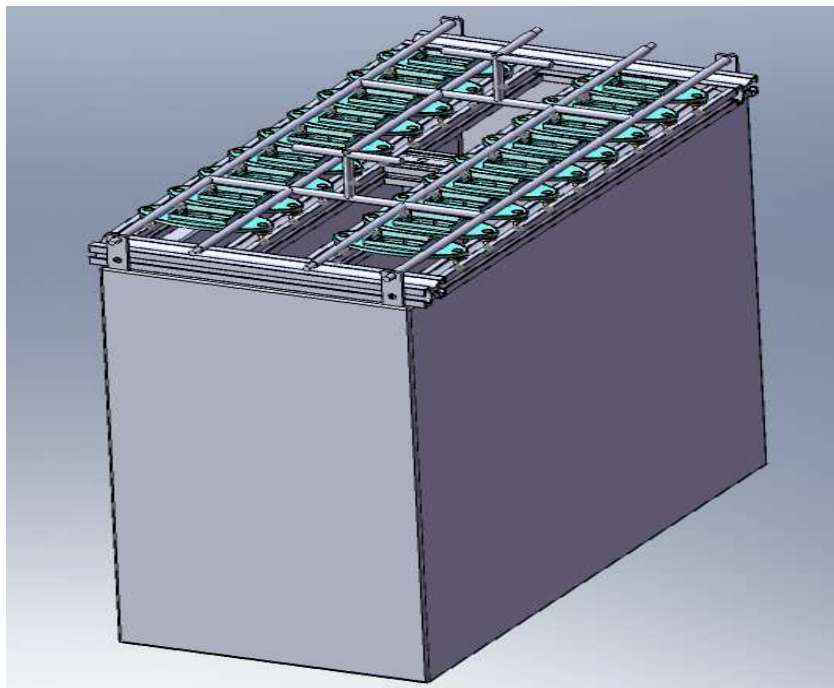


**Figura I9 - Assembly base gabarit psi (c/ cablagem)**

**SM Lambda**

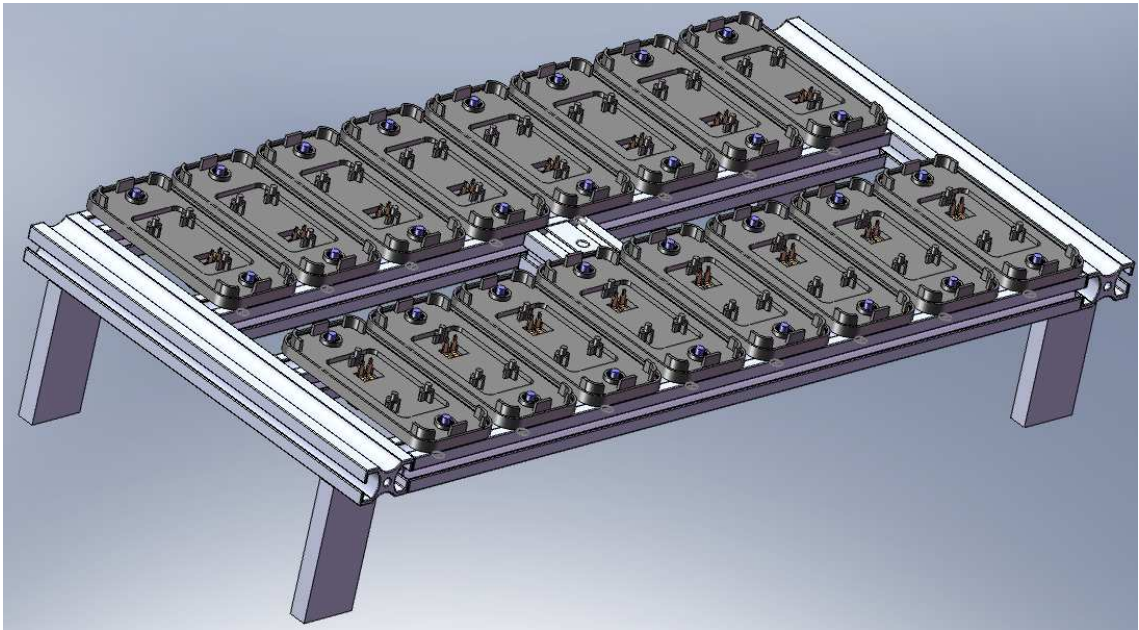


**Figura I10 – Assembly gabarit lambda**

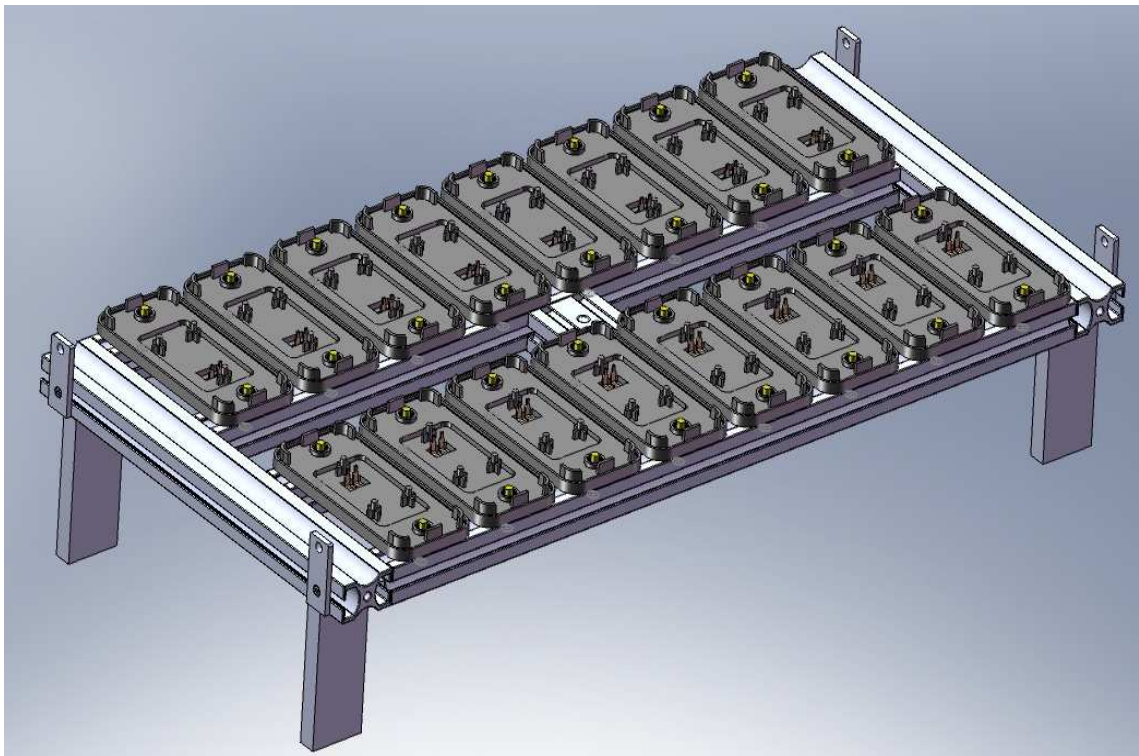


**Figura I11 – Assembly base gabarit lambda**

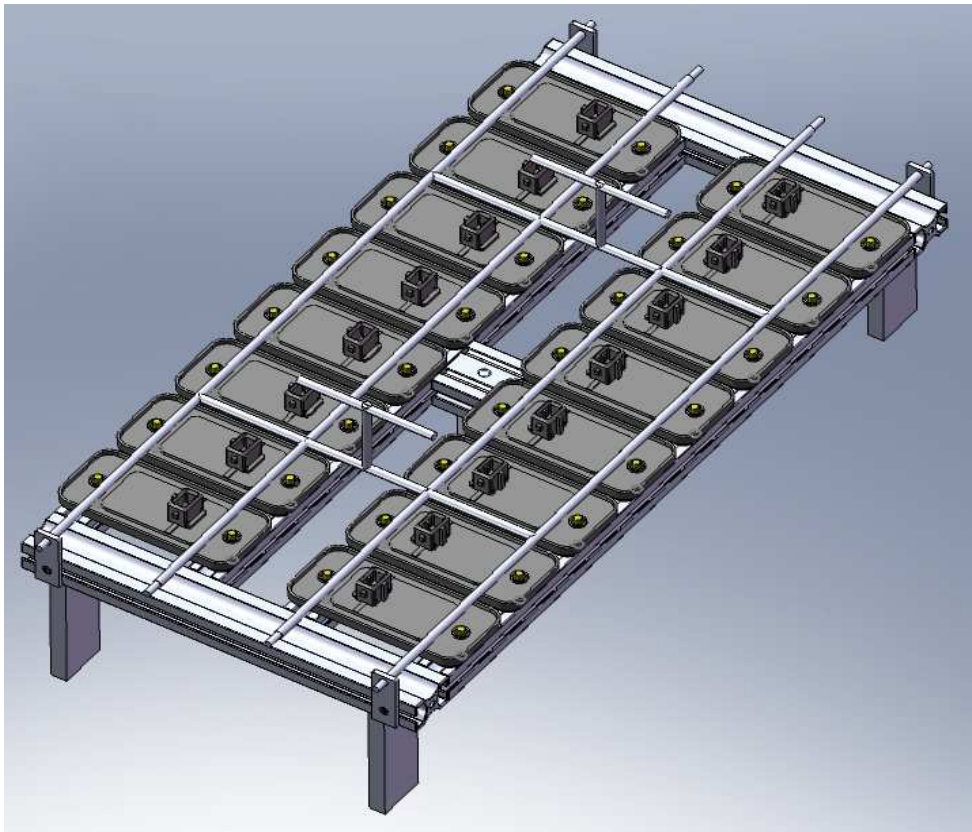
SM Kappa



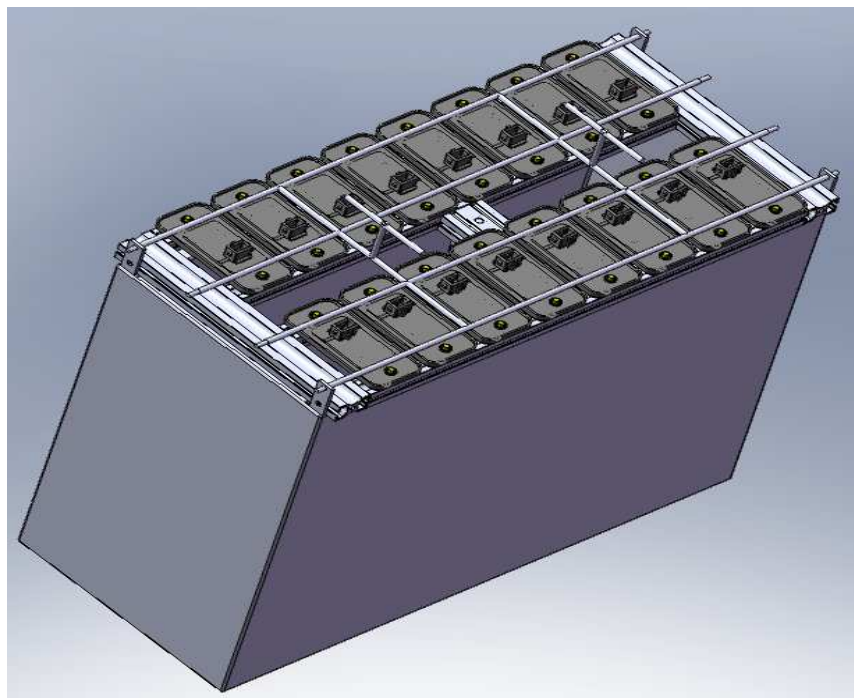
**Figura I12 - Assembly\_gabarit\_kappa (caso não haja necessidade de adaptar o gabarit para os modelos kappa c/ cablagem; pinos ≠s)**



**Figura I13 - Assembly\_gabarit\_kappa 2 (s/cablagem) (pinos adaptados para todos os modelos kappa)**



**Figura I14 - Assembly\_gabarit\_kappa 2 (c/ cablagem)**



**Figura I15 - Assembly base gabarit kappa 2 (c/ cablagem)**

## ANEXO J: Layout actual & Layout final

Nesta secção, pretende-se mostrar a metodologia utilizada para a mudança do *layout*, assim como representar esquematicamente a evolução entre a situação inicial e final do *layout* produtivo.

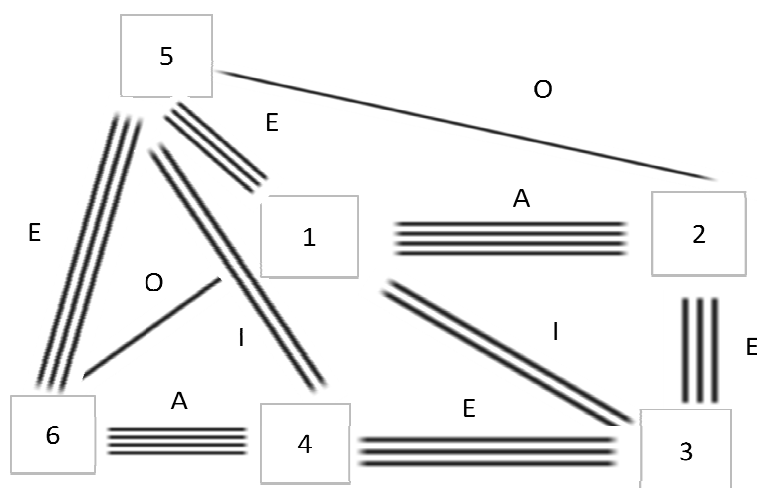


Figura J1 – Diagrama Inicial de Relações

Tabela J1 – Simbologia utilizada no Diagrama Inicial de Relações

Valor	Proximidade	Linha de código	Peso numérico
A	Absolutamente necessária	≡≡≡≡	16
E	Especialmente importante	≡≡≡	8
I	Importante	≡≡≡	4
O	Ok	—	2
U	Nada importante		0
X	Indesejável	~~~~~	-80

Tabela J2 – Relationship Chart obtido com base na Tabela H1 e Figura H1

De	Para					Área (m <sup>2</sup> )
	2	3	4	5	6	
1. Montagem	A	E	U	E	O	3,60
2. Teste Eléctrico		E	U	O	U	0,41
3. Resinagem			E	U	U	5,47
4. Soldadura				I	A	0,52
5. Suporte					I	1,42
6. Embalagem						1,42
						<b>12,85</b>

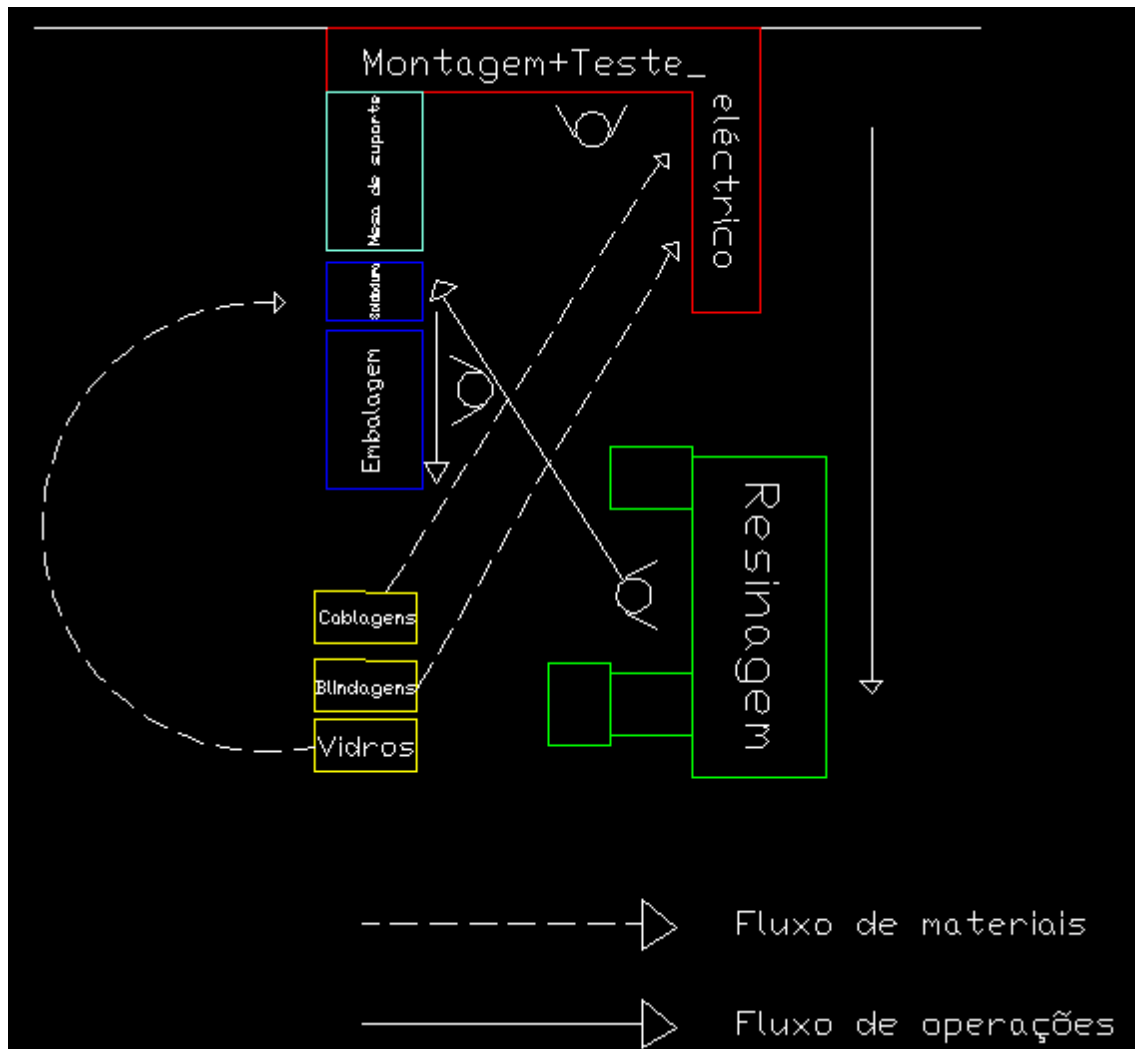


Figura J2 – Representação esquemática do layout inicial da linha de montagem dos sidemarkers

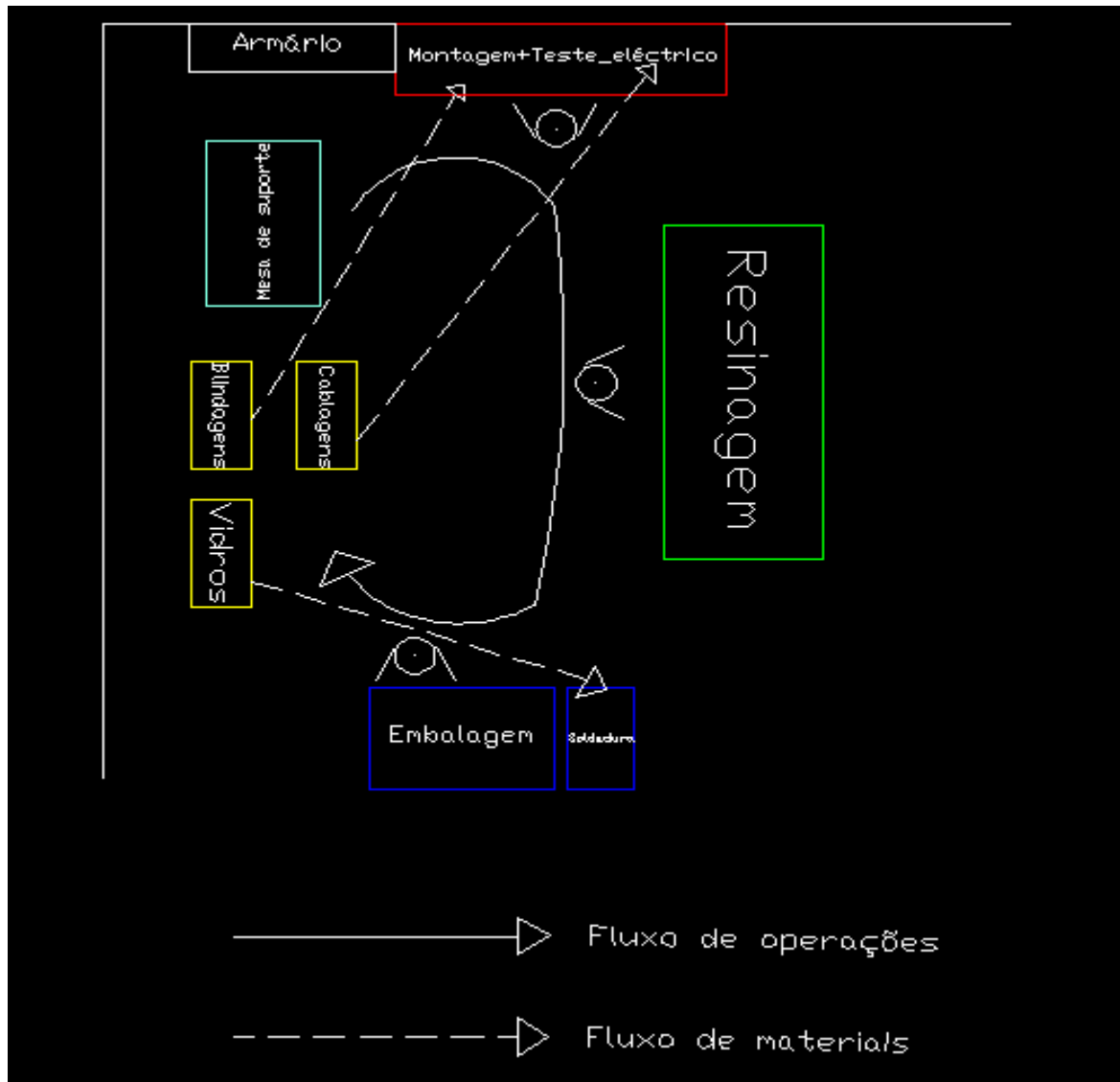


Figura J3 – Representação esquemática do layout final da linha de montagem dos sidemarkers