

21 MAI 2005

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Sistemas
Eletrônicos

ISSN 1517-3542

BT/PSI/0501

**Aplicação do Método Seis Sigma ao
Processo de Refusão na Tecnologia de
Montagem em Superfície (SMT -
"Surface Mount Technology")**

Ana Carolina Bueno
Mauricio Massazumi Oka

São Paulo – 2005

O presente trabalho é um resumo da dissertação de mestrado apresentada por Ana Carolina Bueno, sob orientação do Prof. Dr. Mauricio Massazumi Oka: "Aplicação do Método Seis Sigma ao Processo de Refusão na Tecnologia de Montagem em Superfície (SMT -"Surface Mount Technology")", defendida em 10/11/2004, na Escola Politécnica.

A íntegra da dissertação encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica/USP.

FICHA CATALOGRÁFICA

Bueno, Ana Carolina

Aplicação do método seis sigma ao processo de refusão na tecnologia de montagem em superfície (SMT - "surface mount technology") / Ana Carolina Bueno, Mauricio Massazumi Oka. -- São Paulo : EPUSP, 2005.

p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos : BT/PSI/0501)

1. Soldagem 2. Controle da qualidade I. Oka, Mauricio Massazumi II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos III. Título IV. Série
ISSN 1517-3542

APLICAÇÃO DO MÉTODO SEIS SIGMA AO PROCESSO DE REFUSÃO NA TECNOLOGIA DE MONTAGEM EM SUPERFÍCIE (SMT – “SURFACE MOUNT TECHNOLOGY”)

Ana Carolina Bueno e Mauricio Massazumi Oka

Laboratório de Sistemas Integráveis, Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, Trav. 3, n. 158, São Paulo, SP, 05508-900, Brasil
Tel: +55(11)3091-5314, Fax: +55(11)3091-5665
e-mail: (abueno, oka)@lsi.usp.br

ABSTRACT

The Six Sigma method using a DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) method was applied for optimizing the reflow process in an SMT assembly line. Initially, the temperature profiling system and the visual inspection system were qualified as measurement systems. Then in the D phase, the reflow process was examined and the product to be analyzed was determined. Three solder pastes were used and their temperature profiles were measured. In the M phase, the reflow process was characterized and key variables were analyzed. Defects generated during the reflow process were classified and measured both on assembled memory modules and on virgin laminates that were passed through the oven during the reflow of these modules. Defects of the type "solder on the edge connector" and "flux on the edge connector" were observed. In the A phase, the main failure modes of the reflow process were determined. The main factors were studied and the results were analyzed when the significant effect was "flux on the edge connector". The significant factors were determined for the generation of the defect "flux on the edge connector". In the I phase, the significant factors were optimized and the optimum condition of operation was determined. The C phase was not implemented.

RESUMO

O método Seis Sigma utilizando o método DMAMC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) foi aplicado para caracterizar e otimizar o processo de soldagem por refusão na linha de montagem SMT. Inicialmente, os sistemas de medição do perfil de temperatura e de inspeção visual foram estudados e qualificados como sistemas de medida. A seguir, na etapa D, o processo de refusão foi examinado e o produto a ser analisado foi escolhido. Foram medidos os perfis de temperatura para as três pastas de solda utilizadas ao longo do trabalho. Na etapa M, o processo de refusão foi caracterizado e as variáveis chaves foram identificadas. Os defeitos que podem surgir na refusão foram classificados e medidos. A classificação e a medição dos defeitos foram realizadas pela inspeção visual de módulos de memória e de laminados virgens. Defeitos do tipo solda no pente e fluxo no pente foram observados. Na etapa A, os

fatores principais para o defeito "fluxo no pente" foram estudados. Na etapa M, os fatores significativos foram otimizados e as condições ótimas de operação foram determinadas. A etapa C não foi implementada.

1 INTRODUÇÃO

Nos anos 80, a tecnologia de montagem em superfície ou SMT ("Surface Mount Technology") começou a ser empregada intensamente na tecnologia de montagem de placas [1, 2]. Em SMT, os componentes são soldados na placa de circuito impresso por soldagem por onda ou por soldagem por refusão. Na soldagem por refusão, a pasta de solda é depositada sobre as ilhas de soldagem situadas na superfície da placa de circuito impresso, os componentes são posicionados sobre a pasta de solda depositada e a pasta de solda é refundida. Neste estudo, aborda-se a soldagem por refusão usando convecção forçada de ar quente [3].

Durante o processo de montagem, podem surgir defeitos que fazem com que a placa precise ser retrabalhada ou rejeitada, aumentando o custo de fabricação e reduzindo a qualidade do produto. Para a eletrônica de consumo, como as margens de lucro são estreitas, torna-se extremamente importante minimizar a quantidade de defeitos. Para isso, métodos de controle da qualidade precisam ser implementados. O Seis Sigma é um método poderoso na melhoria dos processos e, conseqüentemente, da qualidade do produto [4, 5, 6], que foi desenvolvido pela Motorola nos anos 80 e logo despertou o interesse de outras empresas. O Seis Sigma possui uma meta de 3,4 dpmo (defeitos por milhão de oportunidades) [6], que é conseguido através da redução da variabilidade (desvio padrão) de um processo. Ferramentas estatísticas são extensivamente usadas para otimizar o processo de fabricação. O Seis Sigma foi implementado neste trabalho, seguindo o método DMAMC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) [4, 6, 7,]. Na etapa de definição, o produto, o processo, as etapas do processo e o cliente são definidos; os defeitos são identificados e as necessidades do cliente são encontradas. Na etapa de medição, as características-chaves são medidas. O diagrama de causa e efeito, o mapa de processo e a matriz causa e efeito [4, 8] são montados. Na etapa de análise, os dados coletados são analisados, usando ferramentas como a Análise de Efeito e Modo de Falha ou FMEA ("Failure Mode and Effect Analysis") e o Delineamento de Experimento ou DOE ("Design of Experiment") [4, 8]. As causas principais dos defeitos são identificadas. Na fase de melhoramento, o processo é melhorado e a janela de processo é determinada, utilizando a Metodologia de Superfície de Resposta [4, 8]. Soluções para o problema são desenvolvidas, e as mudanças do processo são feitas. Na fase de controle, o processo é colocado sob controle.

No processo de refusão, as placas de circuito impresso são transportadas através de um forno [3, 9]. O forno aumenta gradualmente a temperatura da junção de solda, até uma temperatura superior à de fusão da liga de solda. Os defeitos gerados durante a refusão são medidos por inspeção visual. No processo SMT em estudo, o Seis Sigma havia sido utilizado anteriormente na etapa de impressão serigráfica. Por causa dos bons resultados obtidos, decidiu-se utilizar a mesma estratégia para otimizar a etapa de refusão da pasta de solda.

2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O forno de convecção forçada de ar quente, Conceptronic HVA 102, é empregado no processo SMT analisado. As placas são transportadas através do forno por uma transportadora. O forno consiste de 7 zonas de aquecimento e uma zona de resfriamento. A temperatura em cada zona é ajustada para produzir, na junção de solda, o perfil de temperatura desejado. Cada zona de aquecimento possui um sistema de chuveiro na parte superior e outro na parte inferior. Estes chuveiros forçam o ar através dos aquecedores e dispersores, criando jatos de ar quente que aquecem as placas. A maior parte do ar recircula dentro de uma zona, mas parte do ar passa de uma zona para a próxima, contígua. Parte do ar é removida pela exaustão e a perda é compensada pela injeção de ar novo, de modo que há uma troca gradual do ar de dentro do forno. Com isso, é mantido o compromisso entre evitar a contaminação pela supersaturação do ambiente do forno por vapor de componentes voláteis e maximizar a eficiência térmica.

Nas duas primeiras etapas do DMAMC o processo de refusão foi caracterizado e os defeitos gerados foram classificados e medidos. Na terceira e quarta etapa os modos de falha (fatores principais) e o ponto ótimo da refusão foram determinados. A análise do sistema de medição foi realizada para mostrar que os métodos de medição do perfil de temperatura e dos defeitos podem ser usados para a coleta de dados nos experimentos.

2.1 Análise do Sistema de Medição

2.1.1 Análise da Inspeção Visual

A inspeção visual foi analisada por GR&R ("Gage Repeatability and Reproducibility") por atributo. Vinte e quatro módulos montados em face simples foram usados para a análise da inspeção visual. Dois operadores foram selecionados para inspecioná-los. Em catorze módulos foram reproduzidos os defeitos "falta de CT", "solda no pente", "falta de solda", "bolas de solda na placa", "tombstoning", "curto", "componente quebrado", "solda fria", "fluxo no pente" e "contaminação plástica". Dois métodos de inspeção visual, denominados de "método 1" e "método 2", foram comparados. No "método 1", as operações de inspeção e classificação dos defeitos foram realizadas sem limitação de duração. Se necessário, podia ser utilizado o microscópio. Mas nenhuma lista de classificação de defeitos foi fornecida. Os vinte e quatro módulos foram inspecionados duas vezes e, em cada vez, os módulos foram entregues aleatoriamente. O "método 2" foi realizado usando somente 20 dos módulos do GR&R anterior. A duração máxima de cada operação de inspeção visual foi de um minuto. Neste caso, uma lista de classificação de defeitos foi fornecida para os operadores. Os módulos foram inspecionados duas vezes, tendo sido entregues aleatoriamente.

2.1.2 Análise do Perfil de Temperatura

Os perfis de temperatura foram coletados pelo M.O.L.E. usando 5 termopares (1 a 5) fixados a um painel referencial, mostrado na figura 1, em 4 dias diferentes. Neste estudo foi analisado se havia variação dos perfis de temperatura coletados por diferentes termopares e em diferentes dias. As temperaturas foram coletadas em intervalos de 1 s.

A repetitividade e a reprodutibilidade do sistema de medição do perfil de temperatura foram avaliadas pelo teste qui-quadrado (χ^2) [10]. O teste χ^2 é utilizado para testar a hipótese nula de que um conjunto de pontos experimentais (y_i) se ajusta a um conjunto teórico ($y(x_i)$), arbitrariamente escolhido como sendo a média de todos os dados no

instante x_i . O valor de χ^2 é dado pela relação (1). σ_i é o desvio padrão de y_i e GL é o grau de liberdade. Um valor de χ^2 próximo a 1 significa que os valores experimentais se ajustam ao modelo.

$$\chi^2 = \frac{1}{GL} \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - y(x_i))^2}{\sigma_i^2} \quad (1)$$

Foi realizado também um estudo de GR&R usando o método de análise de variância (ANOVA) [11]. A ANOVA é um teste que compara as médias de mais de duas populações. O estudo do GR&R pelo método ANOVA permite estimar os componentes da variância e o desvio padrão da repetitividade e da reprodutibilidade do sistema de medição.

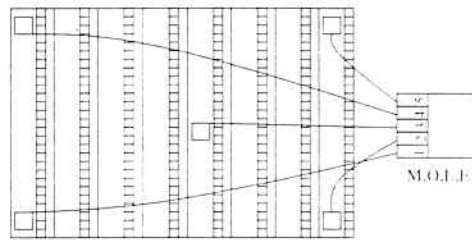


Fig. 1 Painel referencial utilizado para medir os perfis de temperatura, com os cinco termopares fixados nas junções de solda.

2.2 Etapa de Definição do Problema

O módulo de memória DDR (“double data rate” – taxa de transferência dobrada) foi escolhido arbitrariamente como o produto a ser estudado. Foram analisados módulos com montagem em face simples e em face dupla. O módulo possui um pente de conectores com 92 pinos em cada face, com acabamento em ouro eletrodepositado. O tamanho de cada pino é de 1,0 mm x 2,4 mm. O fluxograma do processo SMT correspondente ao processo do módulo de memória dupla face é apresentado na figura 2.

São utilizadas pastas de solda de dois fornecedores. A pasta de solda do fornecedor C usa liga 62Sn36Pb2Ag, pó do tipo 3, i.e., tamanho do “mesh” de $-325/+500$, e seu conteúdo de metal é de 90,25% em peso. As pastas de solda do fornecedor D denominada D1 foi utilizada na etapa de medição e a pasta D2 foi utilizada na etapa de análise e de melhoramento. A troca do tipo de pasta foi uma imposição do cliente. As pastas de solda D1 e D2, cujas especificações nominais são as mesmas, usam liga 62Sn36Pb2Ag, pó do tipo 3, i.e., tamanho do “mesh” de $-325/+500$, e seu conteúdo de metal é de 90% em peso.

Para realizar uma boa soldagem é necessário obter na junção de solda o perfil térmico recomendado pelo fabricante da pasta de solda. O perfil térmico é levantado usando termopares fixados à superfície de um painel referencial, usando o perfilômetro M.O.L.E. (“Multichannel Occurrent Logger Evaluator”) da ENC Inc. O painel referencial foi mostrado na figura 1. Cada termopar é conectado a um canal do equipamento M.O.L.E. Como resultado, cinco perfis são medidos para cada vez que o painel referencial passa pelo forno.

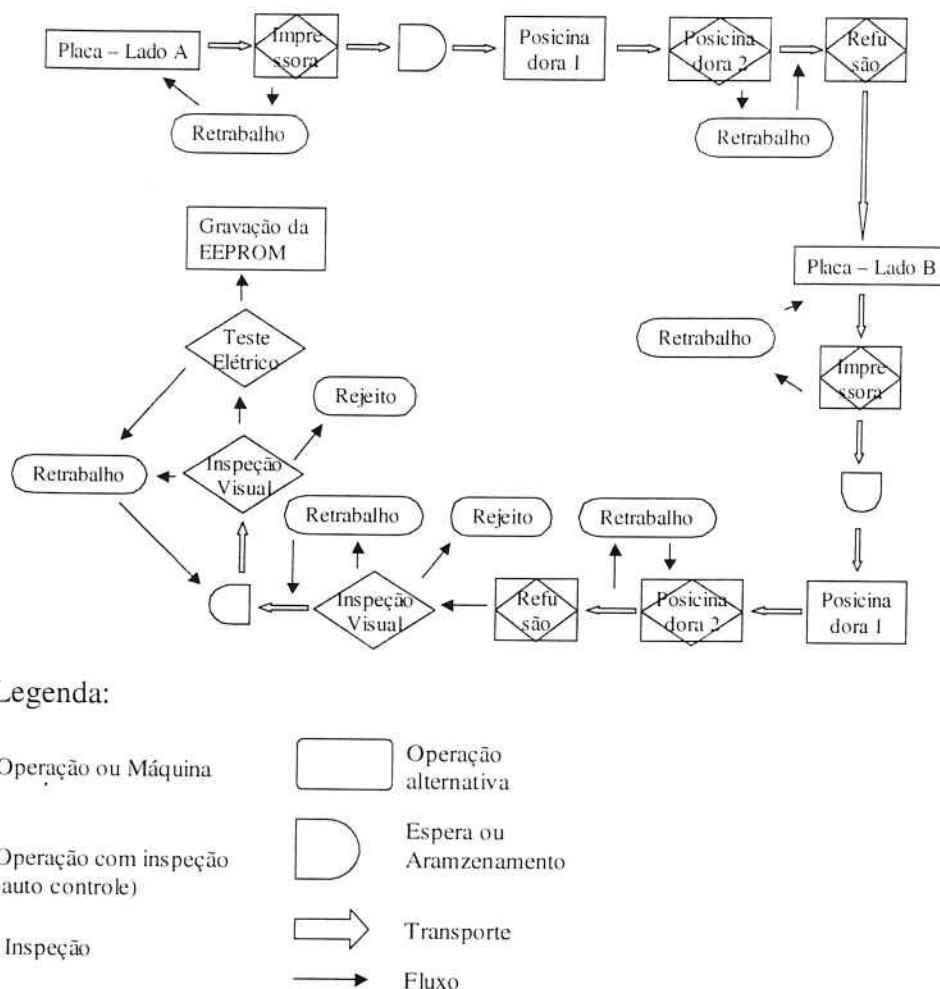


Fig. 2 Fluxograma do processo SMT para o processamento do módulo de memória dupla face.

2.3 Etapa de Medição da Situação Atual

Inicialmente, para identificar as possíveis causas de defeitos no processo, foi produzido o diagrama de causa e efeito (Diagrama de Ishikawa) mostrado na figura 3, também conhecido como “espinha de peixe”. O diagrama foi levantado por um processo de “brain-storming” e ajuda a dispor as variáveis no mapa de processo. Com o auxílio do mapa de processo montou-se a matriz causa e efeito, mostrada na figura 4. A cada linha da matriz, associou-se uma das possíveis causas (variáveis de entrada) dos defeitos. A cada coluna, por sua vez, associou-se um dos defeitos.

A seguir, foram medidos os defeitos encontrados no processo real. Este estudo foi realizado com os painéis constituídos por 7 módulos de memória. Dois lotes de 61 painéis com módulos DDR de face simples e um lote de 47 painéis de dupla face foram montados. Um dos lotes de 61 painéis foi montado utilizando a pasta de solda D1 e os outros dois lotes foram montados utilizando a pasta de solda C.

Adicionalmente, 20 laminados virgens revestidos de cobre, de 6,0 cm x 15,4 cm, foram passados pelo forno durante a produção de módulos de memória usando pasta de solda C e 40 laminados virgens, durante a produção de módulos de memória utilizando a pasta de solda D1. A inspeção foi realizada com o microscópio óptico.

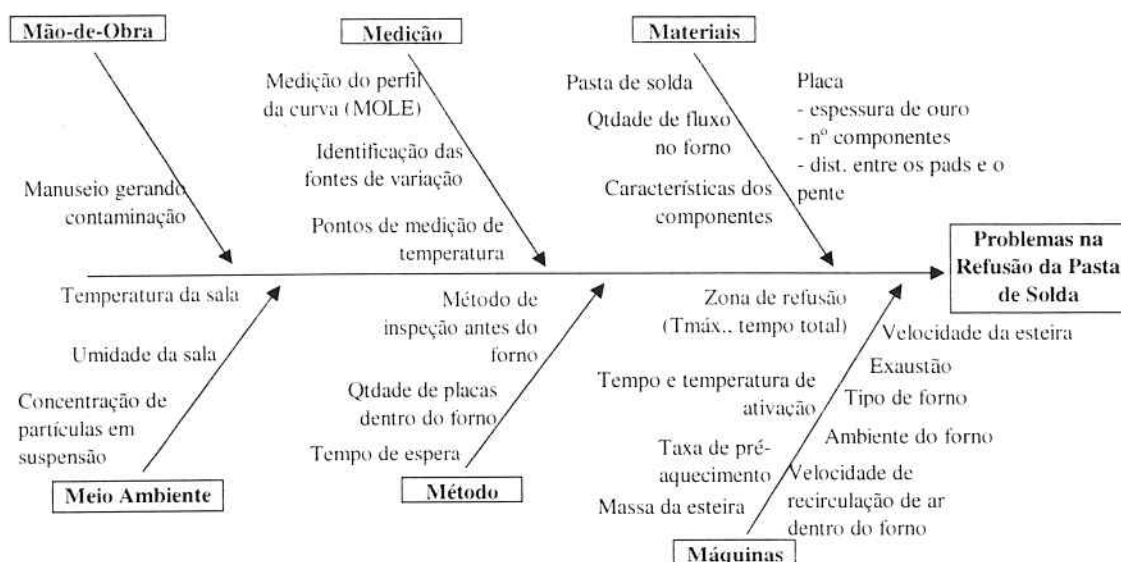


Fig. 3 Diagrama de causa e efeito da etapa de refusão da pasta de solda.

2.4 Etapa de Análise do Problema

Nesta etapa foi realizada a Análise dos Modos e Efeitos da Falha ou FMEA (“Failure Mode and Effects Analysis”). O FMEA é uma ferramenta de prevenção de problemas que prioriza a resolução dos problemas potencialmente mais graves. O FMEA consiste de um conjunto de diretrizes e de um procedimento para identificar e ordenar os problemas potenciais.

Para estudar o efeito dos fatores (de controle) mais críticos, classificados pelo FMEA, sobre as variáveis respostas (defeitos), foi realizado o delineamento de experimento ou DOE (“Design of Experiment”). Os fatores de controle são variados para avaliar seu impacto sobre a quantidade de defeitos. Os fatores classificados pelo FMEA foram a taxa de aquecimento, o tempo de ativação, a temperatura de ativação, a temperatura de refusão, o tempo de refusão, a taxa de resfriamento e a velocidade da transportadora. Contudo, os dois últimos fatores são de difícil controle e não foram estudados. Para cada fator foram definidos dois níveis (valores). O nível -1 corresponde ao valor baixo do fator e o nível +1 corresponde ao valor alto do fator. O experimento fatorial completo de 4 fatores (taxa de aquecimento, temperatura de ativação, tempo de ativação e temperatura de refusão), com 2 níveis (-1 e +1) e sem repetições requer 24 experimentos.

2.5 Etapa de Melhoramento da Situação

Para obter uma estimativa mais precisa da condição ótima (níveis ótimos) de operação para o processo de refusão, foram realizados experimentos utilizando os fatores de controle significativos encontrados no DOE. O conjunto de técnicas de planejamento e análise de experimentos para a otimização do processo é conhecido como metodologia de superfície de resposta ou MSR. Neste estudo foi usado um delineamento de experimento Box-Behnken. Este tipo de delineamento é um fatorial incompleto de 3 níveis. O nível -1 corresponde ao valor baixo do fator, o nível 0, ao valor central e o nível +1, ao valor alto. O delineamento de experimento Box-Behnken, considerando os fatores tempo de ativação, temperatura de ativação e temperatura de refusão classificados pelo DOE, três níveis (-1, 0 e +1) e sem repetições, requer 15 experimentos.

Variáveis de Entrada	Solder balls / Solder beading	Quebra de componente	Tombstoning	Contaminação por fluxo	Curto	Má molhagem	Solda fria	Placa empenada	Trinca	Solda no pente	Contaminação	
Prioridade para o cliente	5	9	9	6	9	7	9	9	9	8	4	Total
Temperatura de refusão	9	9	9	9	4	9	9	9	9	9	1	679
Tempo/velocidade de refusão	9	9	9	9	4	9	9	9	9	9	1	679
Quantidade de pasta de solda	9	0	9	9	9	9	9	0	0	9	0	477
Tipo de pasta	9	0	4	9	9	9	9	0	4	9	0	468
Tempo/velocidade de ativação	9	0	9	9	0	9	9	0	0	9	1	400
Tipo de fluxo	9	0	4	9	4	9	9	0	1	9	0	396
Temperatura de ativação	9	1	4	9	0	9	9	1	0	9	1	373
Quantidade de fluxo na pasta	9	0	1	9	4	9	9	0	1	9	0	369
Tipo de placa (acabamento)	9	0	9	0	1	9	4	0	1	9	9	351
Tipo de componente	0	9	9	0	9	0	0	0	0	0	4	259
Taxa de aquecimento	9	9	0	4	4	1	1	1	1	4	0	252
Ambiente do forno	1	0	0	0	0	9	4	0	9	0	9	221
Massa do componente	9	9	9	0	0	0	1	0	0	0	0	216
Frequencia de limpeza	1	0	1	9	1	1	1	0	0	9	9	201
Sujeira na esteira	4	0	0	1	4	1	0	0	0	9	9	177
Travamento	1	1	0	1	0	4	4	9	0	1	0	173
Taxa de resfriamento	0	9	0	0	0	0	0	0	9	0	0	162
Umidade da Sala	4	0	0	4	1	4	4	0	0	4	1	153
Velocidade do fluxo do ar	4	0	1	9	0	0	1	0	0	4	4	140
Tempo de Espera	1	0	1	0	1	4	4	0	0	1	9	131
Densidade (nº componentes)	0	1	1	0	4	4	0	0	0	4	1	118
Deformação do trilho/esteira	0	4	0	0	0	0	0	9	0	0	0	117
Exaustão	1	0	0	9	0	0	0	0	0	1	9	103
Manuseio	4	0	0	0	1	0	0	0	0	4	9	97
Absorção de água pelo epóxi.	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	4	97
Temperatura de resfriamento	0	9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	87
Tipo de laminado	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	81
Quantidade de placas no forno	1	0	0	4	0	1	1	0	0	1	4	69
Temperatura da Sala	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	47

Fig. 4 Matriz causa e efeito da etapa de refusão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise do Sistema de Medição

3.1.1 Análise da Inspeção Visual

O “método 1” foi reprovado porque os operadores identificaram defeitos diferentes nas duas inspeções. Além disso, os dois operadores utilizaram nomes diferentes para um mesmo defeito.

Para analisar o “método 2”, foram utilizados 20 dos módulos usados na análise do “método 1” e os mesmos operadores fizeram as inspeções. A nomenclatura dos defeitos

foi padronizada como “solda no pente”, “bolas de solda na placa”, “curto”, “falta de CT”, “excesso de solda/solda fria”, “tombstoning”, “falta de solda”, “fluxo no pente”, “componente quebrado” e “contaminação plástica”. Cada operador inspecionou os módulos e classificou os defeitos. Os operadores, nas duas inspeções, identificaram corretamente todos os defeitos simulados. A inspeção visual utilizando o “método 2” foi aprovada como um sistema de medida e pode ser usado para medir a quantidade de defeitos.

3.1.2 Análise do Perfil de Temperatura

Na análise da medição dos perfis de temperatura foram utilizados os termopares 1, 3, 4 e 5. O termopar 2 foi excluído porque media valores muito maiores que os esperados. O teste qui-quadrado (χ^2) tem por objetivo determinar se os perfis medidos (pares de temperatura contra instante de medida, coletados em intervalos de 1 s) por cada termopar nos 4 diferentes dias, ajustam-se a um perfil teórico. Os valores de χ^2 foram calculados pela relação (1), para cada um dos 16 perfis medidos (tabela I). Usou-se como estimativa de σ_i o desvio padrão do termopar, que é igual a 1°C de acordo com o fabricante do M.O.L.E. O grau de liberdade (GL) é igual à quantidade de pontos (231), que corresponde aos dados na faixa de temperatura entre a temperatura ambiente e a temperatura de pico. Os resultados mostram que a variabilidade dos perfis é consistente com o desvio padrão do termopar. Ou seja, não há diferença significativa entre os perfis medidos por diferentes termopares em diferentes dias. Logo, a medida dos perfis utilizando o M.O.L.E. pelo método apresentado é adequada.

Tabela I - Valores de χ^2 como uma função das medidas dos perfis coletados pelos termopares em diferentes dias.

	Termopar 1	Termopar 3	Termopar 4	Termopar 5
Dia 1	1,15	3,09	1,17	2,40
Dia 2	1,32	3,43	1,40	1,37
Dia 3	1,19	2,63	1,11	0,97
Dia 4	1,65	3,49	1,18	2,40

O estudo GR&R foi efetuado utilizando os dados correspondentes aos mesmos trechos dos perfis de temperatura que no teste χ^2 , isto é, da temperatura ambiente até o valor de pico, de aproximadamente 220°C. Foi usado como dado, para cada instante, o valor da diferença entre o valor medido e a média das temperaturas consideradas naquele instante. Os resultados são apresentados a seguir.

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Dif

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Temp	3	1029,99	343,33	14,27	0,00091
Dia	3	485,43	161,81	6,73	0,01124
Dia*Temp	9	216,54	24,06	17,14	0,00000
Repeatab	3680	5165,30	1,40		
Total	3695	6897,26			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	1,6508	82,69
Repeatability	1,4036	70,31
Reproducibility	0,2472	12,38
Dia	0,1491	7,47
Dia*Temp	0,0981	4,91
Part-To-Part	0,3455	17,31
Total Variation	1,9963	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var (5,15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	1,28482	6,61685	90,93
Repeatability	1,18474	6,10142	83,85
Reproducibility	0,49715	2,56033	35,19
Dia	0,38611	1,98847	27,33
Dia*Temp	0,31317	1,61284	22,17
Part-To-Part	0,58782	3,02726	41,60
Total Variation	1,41291	7,27647	100,00

Observa-se que a parcela da variância correspondente à repetitividade, ou seja, ao resíduo, é a dominante, sendo pequena a parcela correspondente à reprodutibilidade, ou seja, aos fatores considerados. Além disso, o valor estimado do desvio padrão do sistema de medida é de $1,3^{\circ}\text{C}$, que é próximo ao valor estipulado pelo fabricante do termopar, de $1,0^{\circ}\text{C}$. Isto indica que ao usar o termopar para medir os perfis de temperatura em diferentes dias e fixando os termopares da forma descrita no procedimento experimental não há uma alteração significativa da capacidade de medida do equipamento. Estes estudos validam o teste qui-quadrado, em que arbitrariamente escolheu-se como estimativa do desvio padrão dos perfis o valor do desvio padrão especificado pelo fabricante para o termopar.

Conclui-se que o método usado para medir os perfis de temperatura é adequado para os experimentos realizados neste trabalho.

3.2 Etapa de Medição da Situação Atual

Após a refusão da pasta de solda, os módulos de memória foram analisados por inspeção visual. As quantidades de defeitos observados são mostradas na tabela II.

Tabela II - Quantidade de defeitos encontradas nas inspeções.

Fases	Pasta de Solda C		Pasta de Solda D1
	Simplex	Dupla	Simplex
# de painéis montados	61	47	61
# de defeitos	15	44	999

Os tipos de defeitos encontrados foram fluxo no pente e solda no pente, segundo análise feita com microscópio óptico, sendo muito menor a frequência do último tipo. As fotos na figura 5 mostram os dois tipos de defeito.

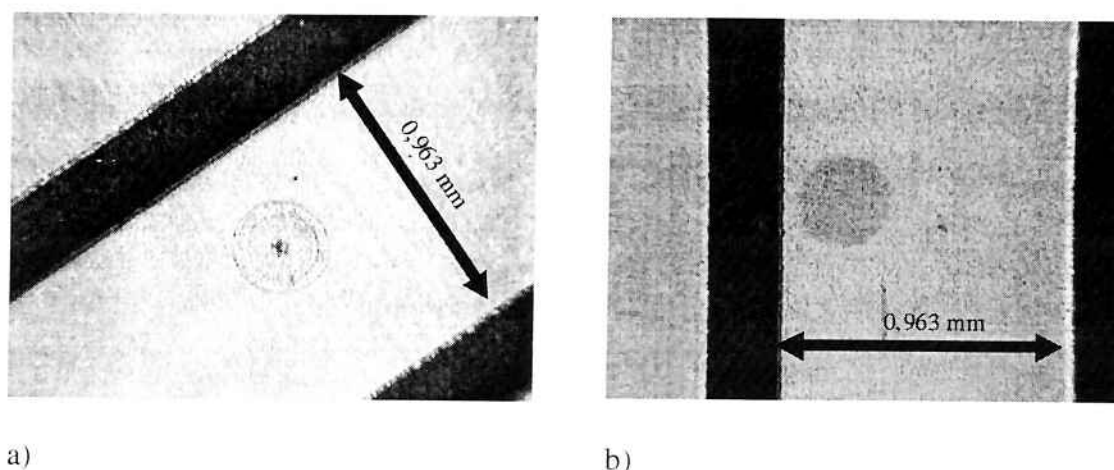
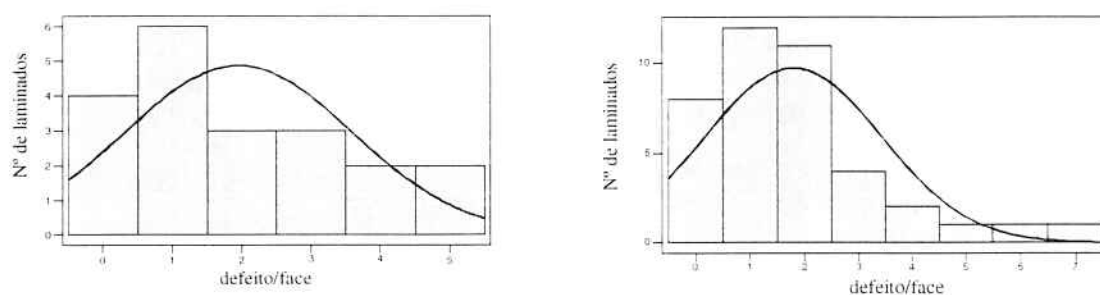


Fig. 5 Fotos das contaminações de solda observadas no pente. a) ponto de solda. b) solvente ou fluxo.

Adicionalmente, foram realizados experimentos com laminados virgens. Os laminados foram passados através do forno, aleatoriamente, durante a soldagem por refusão dos

módulos de memória. Foram observados os mesmos tipos de defeitos observados nos conectores. As quantidades de defeitos encontrados nos laminados virgens são mostradas nas Figuras 6a (quando o laminado é passado pelo forno durante a refusão de módulos com pasta C depositada) e 6b (quando o laminado é passado pelo forno durante a refusão de módulos com pasta D1 depositada). Os resultados mostram que a quantidade de defeitos não muda drasticamente pelo fato dos módulos estarem sendo montados com a pasta de solda C ou a pasta D1. Portanto, existe uma densidade de defeito que é inerente ao tipo de forno que está sendo usado e que independe da pasta de solda usada.



a) b)
Fig. 6 Quantidade de defeitos encontrados em laminados virgens. a) Quando o laminado é passado junto com painel com pasta de solda C. b) Quando o laminado é passado junto com painel com pasta de solda D1.

A densidade média de defeitos gerados sobre os laminados passados pelo forno juntamente com painéis com pasta C é de $2,11 \times 10^{-4}$ defeitos/mm² e o desvio-padrão é de $1,78 \times 10^{-4}$ defeitos/mm². Para os laminados passados pelo forno juntamente com painéis com pasta D1, a densidade média é de $1,95 \times 10^{-4}$ defeitos/mm² e o desvio-padrão é de $1,78 \times 10^{-4}$ defeitos/mm². Como a área total ocupada pelos pinos do pente numa placa é de 3091,2 mm², determina-se os valores esperados para cada teste (tabela III). Vale mencionar que os módulos dupla face passam duas vezes pelo forno e a quantidade de defeitos esperados foi dobrada. Conclui-se que os defeitos quando se usa a pasta C pode estar sendo integralmente gerados no forno de refusão, mas o forno não pode ser considerado como a única fonte de defeito para o caso do uso da pasta de solda D1.

Tabela III - Relação entre a quantidade de defeitos esperados e a quantidade de defeitos observados nos painéis.

	Quantidade de defeitos esperados	Quantidade de defeitos observados experimentalmente
47 módulos dupla face com pasta de solda C	61±52	44
61 módulos de face simples com pasta de solda C	40±34	15
61 módulos de face simples com pasta de solda D	37±34	999

3.3 Etapa de Análise do Problema

Para o FMEA, o processo foi dividido em região de pré-aquecimento, região de ativação, região de refusão e região de resfriamento. Parte do FMEA que foi realizado, correspondente à região de pré-aquecimento, é mostrada na figura 7 a título de exemplo.

DESCRIÇÃO DO PROCESSO OBJETIVO DO PROCESSO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO POTENCIAL DA FALHA	S E V	CAUSA(S) POTENCIAL	O C O R R	CONTROLES ATUAIS PREVENÇÃO	CONTROLES ATUAIS DETECÇÃO	D E T E C	N P R	AÇÕES RECOMENDADAS			
Região de Pré-Aquecimento Objetivo: elevar a temperatura da placa para a temperatura de ativação (130°C) especificada	Taxa de aquecimento muito elevada	quebra de componente (6)	6	especificação inadequada	10	verificação da curva através do MOLE (6)	inspeção visual (7)	5	300	DOE			
		solder ball (4)				recomendação do fornecedor da pasta (5)							
		solda no pente (4)				check list (set up) (5)							
		respingo de fluxo (3)		motor queimado	2	manutenção preventiva (5)	teste elétrico (6)	5	60				
						display visual no forno (5)							
						MOLE (6)							
				ventoinha queimada	2	catavento (2)		2	24				
	Sujeira na esteira	respingo de fluxo (3)	3	exaustão quebrada ou desligada	2	painel de controle (chave geral) (9)	inspeção visual (8)	6	36				
						display visual (6)							
					desprendimento de partículas das paredes do forno	3	limpeza trimestral da esteira (7)		7	63			

Fig. 7 FMEA da etapa de refusão correspondente a etapa de pré-aquecimento.

O delineamento de experimento foi realizado utilizando os fatores taxa de aquecimento, tempo de ativação, temperatura de ativação e temperatura de refusão. A velocidade da transportadora foi ajustada em 65 cm/s. O delineamento de experimento fatorial completo com 4 fatores e dois níveis sem repetição foi gerado no Minitab. Os níveis da taxa de aquecimento foram 1,5°C/s (-1) e 2,5°C/s (+1), da temperatura de ativação foram 135°C (-1) e 175°C (+1) e da temperatura de refusão foram 200°C (-1) e 230°C (+1). Não foram definidos os valores dos níveis do tempo de ativação, mas este fator foi considerado de nível -1 quando as zonas 2, 3 e 4 estavam ajustadas com o mesmo valor de temperatura no painel de controle do forno e foi considerado de nível +1 quando as zonas 2, 3, 4 e 5 estavam ajustadas com o mesmo valor de temperatura.

Para cada experimento foi passado um painel constituído de 6 módulos montados em face simples, usando a pasta de solda D2. A inspeção visual foi utilizada para medir e classificar os defeitos gerados. Os defeitos observados foram fluxo no pente e solda no pente. Neste trabalho, somente é mostrada a análise dos fatores para o caso em que o defeito é fluxo no pente, uma vez que é o que ocorre com maior frequência e é, portanto, o mais crítico. A análise feita pela ANOVA é mostrada abaixo. Em uma análise preliminar, foi determinado que as interações triplos e quádruplas não eram significativas sobre a variável resposta e foram retiradas da análise. Como pode ser observado na tabela da ANOVA, as interações duplas, em princípio, não seriam significativas ($p > 0,599$) e poderiam ser retiradas da análise. Contudo, optou-se por mantê-las até que existissem evidências mais claras de que poderiam ser retiradas. Observa-se que os valores do "Adj MS" estão altos, e os valores p estão menores que o nível de significância de 0,05 para os efeitos principais. Estes valores indicam que os fatores principais são significativos para o defeito fluxo no pente.

Analysis of Variance for flux (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	1194.4	1194.4	298.60	8.50	0.019
2-Way Interactions	6	172.7	172.7	28.78	0.82	0.599
Residual Error	5	175.7	175.7	35.14		
Total	15	1542.7				

A análise do diagrama de Pareto, mostrado na figura 8a, foi feita considerando um nível de significância igual a 0,05. Observa-se que a temperatura de ativação e a temperatura de refusão são os fatores mais significativos. O gráfico do efeito principal, figura 8b, mostra a variação da quantidade média de fluxo no pente em função do nível (-1 ou +1) de um fator. Este gráfico mostra que o defeito fluxo no pente foi gerado em maior quantidade quando a temperatura de refusão estava no nível mais alto (230°C) e quando a temperatura de ativação estava no nível mais baixo (135°C). O gráfico dos efeitos de interação dupla, mostrado na figura 8c, permite analisar a variação da quantidade média de fluxo no pente como resultado da variação de dois fatores. A interação é significativa quando as duas retas não são paralelas. Ou seja, as interações entre temperatura de refusão e temperatura de ativação, e entre taxa de pré-aquecimento e tempo de ativação são significativas. Finalmente, o gráfico do cubo é mostrado na figura 8d. Este gráfico mostra as interações dos 4 fatores. Nas arestas dos cubos são apresentadas as quantidades médias de fluxo no pente medidas em cada experimento. O DOE considerando o defeito fluxo no pente indicou que os fatores temperatura de refusão e temperatura de ativação são significativos. O tempo de ativação, apesar de não ser significativo, está no limiar de ser, conforme se vê na Figura 8a. Optou-se por não descartar este fator até que aparecessem evidências mais claras de que não afeta o processo de refusão. Estes fatores foram otimizados utilizando o método da superfície de resposta.

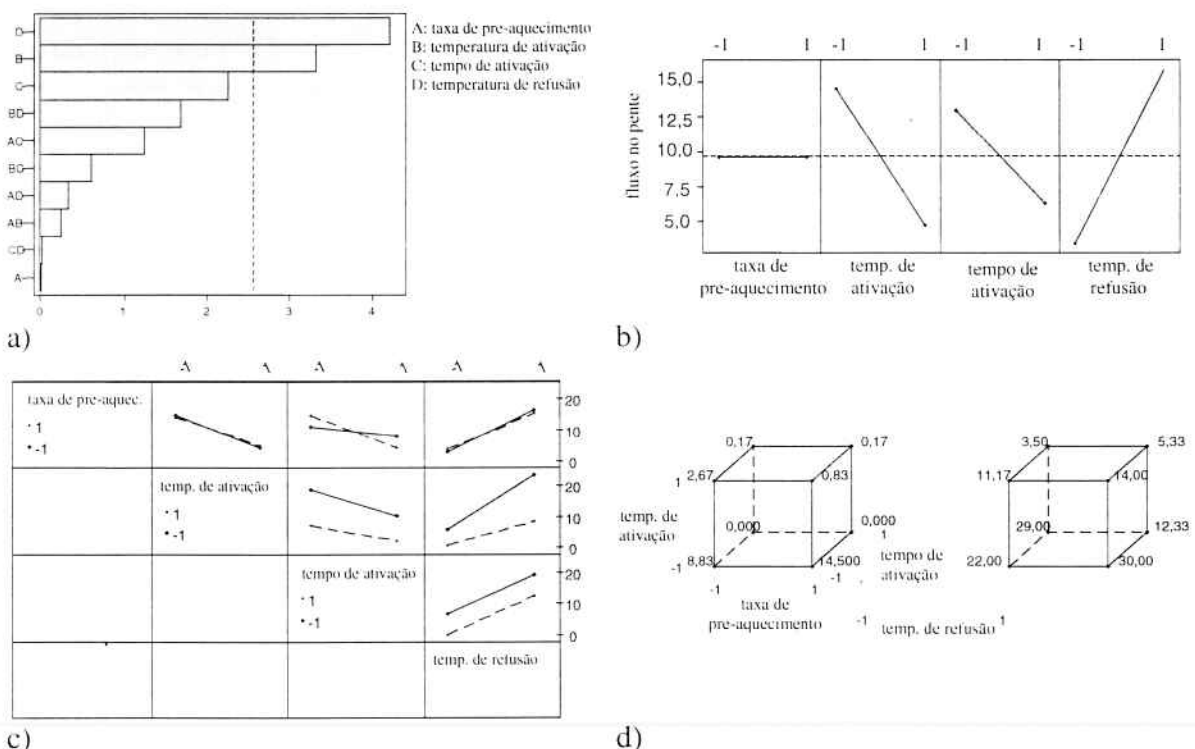


Fig. 8 a) Diagrama de Pareto dos fatores quando o defeito gerado foi fluxo no pente. b) Gráfico do efeito dos fatores principais. c) Gráfico do efeito da interação dupla dos fatores. d) Gráfico do cubo de todas as interações, com a quantidade de fluxo no pente medido em cada experimento.

3.4 Etapa de Melhoramento da Situação

O delineamento de experimento Box-Behnken foi realizado utilizando os fatores tempo de ativação, temperatura de ativação e temperatura de refusão. A velocidade da transportadora foi fixada em 65 cm/s. O delineamento de experimento Box-Behnken de 3 fatores e 3 níveis sem repetições foi gerado no Minitab.

Os níveis da temperatura de ativação foram 135°C (-1), 155°C (0) e 175°C (+1). Não foram definidos os valores dos níveis do tempo de ativação, mas este foi considerado como sendo de nível -1 quando as zonas 2, 3 e 4 foram ajustadas com o mesmo valor de temperatura no painel de controle do forno e a diferença entre as temperaturas ajustadas nestas zonas e na zona 5 era superior a 10°C, de nível 0, quando as zonas 2, 3 e 4 foram ajustadas com o mesmo valor de temperatura e a zona 5 foi ajustada com uma temperatura 10°C acima das temperaturas ajustada nas zonas anteriores e de nível +1, quando as zonas 2, 3, 4 e 5 foram ajustadas com o mesmo valor de temperatura. Os níveis de temperatura de refusão foram 200°C (-1), 220°C (0) e 240°C (+1).

Para cada experimento foi passado um painel do mesmo modelo utilizado no DOE, constituído de 6 módulos montados em face simples, usando a pasta de solda D2. Para medir e classificar os defeitos gerados foi utilizada a inspeção visual. Novamente, observa-se que o defeito mais freqüente é o fluxo no pente. A avaliação dos efeitos dos fatores, a investigação e o modelamento da relação entre a variável resposta e os fatores significativos foi feita por regressão polinomial. A regressão foi feita pelo Minitab e o resultado final é mostrado abaixo.

Response Surface Regression: Fluxo versus Ta At; Ta Ref

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Fluxo

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	99,43	11,62	8,555	0,000
Ta At	-19,50	10,87	-1,794	0,100
Ta Ref	23,38	10,87	2,150	0,055
Ta Ref*Ta Ref	-68,30	15,91	-4,292	0,001

S = 30,75 R-Sq = 70,5% R-Sq(adj) = 62,4%

Analysis of Variance for Fluxo

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	24830,5	24830,5	8276,8	8,75	0,003
Linear	2	7413,1	7413,1	3706,6	3,92	0,052
Square	1	17417,4	17417,4	17417,4	18,42	0,001
Residual Error	11	10401,5	10401,5	945,6		
Lack-of-Fit	5	6721,3	6721,3	1344,3	2,19	0,184
Pure Error	6	3680,2	3680,2	613,4		
Total	14	35232,0				

Observation	Fluxo	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
1	76,000	35,000	18,831	41,000	1,69
2	36,000	54,500	15,375	-18,500	-0,69
3	43,000	74,000	18,831	-31,000	-1,28
4	12,000	27,250	18,831	-15,250	-0,63
5	119,000	99,429	11,623	19,571	0,69
6	6,000	7,750	15,375	-1,750	-0,07
7	29,000	79,929	15,915	-50,929	-1,94
8	13,000	-11,750	18,831	24,750	1,02
9	63,000	54,500	15,375	8,500	0,32
10	0,000	7,750	15,375	-7,750	-0,29
11	61,000	99,429	11,623	-38,429	-1,35
12	153,000	118,929	15,915	34,071	1,29
13	116,000	99,429	11,623	16,571	0,58
14	76,000	79,929	15,915	-3,929	-0,15
15	142,000	118,929	15,915	23,071	0,88

Estimated Regression Coefficients for Fluxo using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-8271,30
Ta At	-0,975000
Ta Ref	76,3027
Ta Ref*Ta Ref	-0,170759

A primeira parte desta análise consistiu em determinar os coeficientes da regressão ("Regression Coefficients"), sendo "Coef" o coeficiente, "SE Coef" é o desvio padrão do coeficiente, T (t-ratio) é a razão-t e P é o valor p. Vê-se que o polinômio ajustado possui uma constante, termos lineares na temperatura de ativação (T_a At) e temperatura de refusão (T_a Ref) e um termo quadrático na temperatura de refusão (T_a Ref* T_a Ref). Nesta análise é testada a hipótese nula de que o coeficiente é zero e o fator não tem efeito significativo para um nível de significância de 5% (0,05). Em análises preliminares, foi determinado que os fatores e interações que não são apresentados aqui podiam ser retirados porque o valor p estava alto, ou seja, não tinham efeitos significativos. Na tabela, os valores p menores ou muito próximos de 0,05 indicam que os fatores temperatura de ativação e temperatura de refusão e o termo quadrático na temperatura de refusão são significativos. Verificou-se que o tempo de ativação não é significativo, corroborando a conclusão do DOE. A segunda parte desta análise consiste em analisar o coeficiente de determinação (R-Sq) e o valor ajustado do coeficiente de determinação (R-Sq(adj)). Um valor elevado destes coeficientes indica que o modelo é adequado para ajustar os dados da variável resposta (fluxo no pente). O modelo determinado neste estudo está adequado porque o valor de R-Sq é de 70,5%, significando que cerca de 70,5% da variabilidade da resposta é explicada pelo modelo. A terceira parte desta análise consiste na ANOVA. A ANOVA permite verificar se o modelo matemático pode ser utilizado para ajustar as condições de operação da etapa de refusão. Os valores p, como na análise da primeira parte, indicam que tanto os fatores lineares quanto os fatores quadráticos, são significativos. Para verificar se o modelo está ajustado (hipótese), foi feita a análise sobre a falta de ajuste ("lack of fit") do modelo. Como o valor p é maior que 0,05, aceita-se o modelo.

Para apresentar visualmente as relações que existem entre os fatores e a resposta, foram utilizados o gráfico de superfície de resposta tridimensional e os gráficos de contorno bidimensionais (curvas de nível). A figura 9a, gráfico de superfície tridimensional obtido para o defeito fluxo no pente, apresenta a superfície de resposta tridimensional gerada a partir do modelo ajustado. No gráfico, observa-se que quando a temperatura de refusão atingiu seu ponto central, foi gerada uma grande quantidade de defeitos. Esta quantidade aumenta quando a temperatura de ativação é reduzida. Os pontos correspondentes às condições ótimas do processo são aquelas em que a temperatura de refusão tende ao valor mínimo ou ao máximo e a temperatura de ativação está próxima ao seu valor máximo. Contudo, sabe-se que uma temperatura de refusão alta pode causar uma série de defeitos e será dada preferência a temperaturas de refusão menores.

O gráfico da figura 9b é um gráfico em que cada contorno corresponde a uma quantidade de defeitos constante. Examinando o gráfico, observa-se que o processo é mais sensível às mudanças na temperatura de refusão do que às mudanças na temperatura de ativação. A parte branca da figura 9c mostra duas possíveis janelas de processo (regiões em branco). Conforme já discutido, a janela inferior é preferível.

Neste estudo, foi estabelecido arbitrariamente que a quantidade de fluxo no pente por painel deverá ser de no máximo 50 pontos de fluxo. O gráfico dado na figura 9d permite determinar o ajuste em que a expectativa é observar 50 pontos de fluxo por painel: a temperatura de refusão deverá ser de aproximadamente 206°C e a temperatura de ativação, de aproximadamente 155°C. Deverá ser feito um refinamento do processo, varrendo condições próximos a esta condição, para estudar a possibilidade de limitar a

quantidade de fluxos no pente a 50 e atender as expectativas do Seis Sigma. Ou seja, tentar-se-á determinar uma condição de processo que resulte numa quantidade média (μ) e o desvio padrão (σ) de fluxo no pente que satisfaça a condição $(50 - \mu) < 3\sigma$. A próxima etapa do DMAMC, controle do processo, consiste em manter as variáveis de entrada controladas na condição ótima de operação determinada na otimização.

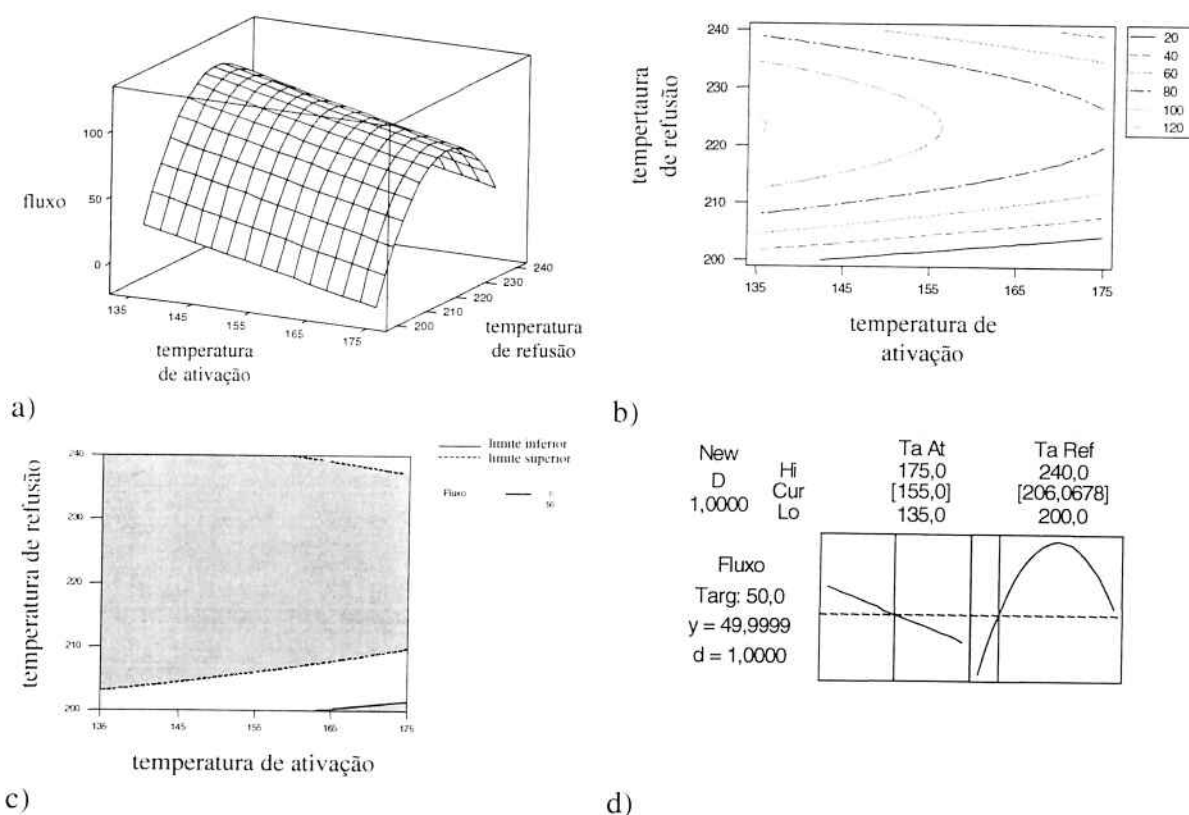


Fig. 9 a) Gráfico de superfície tridimensional obtido para o defeito fluxo no pente. b) Gráfico de contorno com os níveis de ótimo para fluxo no pente. c) Gráfico de contorno obtido para fluxo no pente d) Gráfico da otimização da etapa de refusão.

4 CONCLUSÕES

A etapa de refusão da pasta de solda foi caracterizada e otimizada utilizando o método Seis Sigma. Para isto, o método DMAMC foi implementado. A análise do sistema de medição para inspeção visual e medição do perfil de temperatura foram realizadas e os sistemas foram estudados e qualificados como sistemas de medida. As etapas de definição do problema, medição, análise e melhoramento foram implementadas.

O módulo de memória DDR foi escolhido como produto a ser inspecionado após a etapa de refusão. Os defeitos que surgiram nos pentes dos módulos de memória e nos laminados foram classificados como solda no pente e fluxo no pente. Constatou-se que quando se usa a pasta de solda C gera-se poucos defeitos e a maior parte deles pode ser causada intrinsecamente pela passagem da placa pelo forno. Quando se usa a pasta do fabricante D, no entanto, há um grande aumento da quantidade de defeitos e o surgimento de defeitos tem relação com a presença da pasta na face.

Pelo FMEA, determinou-se que os fatores principais para a ocorrência dos defeitos são:

“taxa de aquecimento”, “temperatura de ativação”, “temperatura de refusão”, “tempo de refusão”, “taxa de resfriamento” e “velocidade da transportadora”. Apenas os fatores “taxa de aquecimento”, “tempo de ativação”, “temperatura de ativação” e “tempo de refusão” foram estudados para otimizar a etapa de refusão, utilizando o delineamento de experimento. O resultado do DOE indicou que os fatores “temperatura de refusão” e “temperatura de ativação” são significativos e foram otimizados usando o método de superfície de resposta. Foi determinada a condição de operação em que espera-se observar 50 defeitos do tipo “fluxo no pente” em cada painel, que corresponde à temperatura de refusão de aproximadamente 206°C e temperatura de ativação de aproximadamente 155°C.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo apoio financeiro de um dos autores e à Itaotec/Philco pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

1. CAPPILO, C. Surface Mount Technology: materials, processes and equipments. USA: Mc Graw Hill, 1990.
2. CASTELLI, P.; COSTA, P. Surface Mounting: Experiences in the Telecommunication Field. Electronic Manufacturing Technology Symposium, Fourth IEEE/CHMT European International, p. 66-69, 13-15 June, 1988.
3. COOMBS JR., CLYDE F. Printed Circuits Handbook. 5th ed. USA: Mc Graw Hill, 2001.
4. NORMAND, J. F.; DRAPER, R. E. Resolution of Insulation Related Manufacturing Problems Using the Six Sigma Methodology and Tools. Electrical Insulation Conference, and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, Proceedings, p. 769-774, 22-25 Sept., 1997.
5. WHITE, ROBERT J. An Introduction to Six Sigma with a Design Example. Applied Power Electronics Conference and Exposition, APEC '92, Conference Proceedings 1992, Seventh Annual, p. 28-35, 23-27 Feb., 1992.
6. BREYFOGLE III, FORREST W. Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods. London: Wiley - Interscience Publications, 1999.
7. FANUCCHI, R. M. Aplicação do Seis Sigma e da Metodologia DMAMC a um Processo de Identificação e Solução de Problemas Durante a Corrida Piloto de um Projeto Automotivo. 2002. 78p. Dissertação de Mestrado Profissionalizante - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 27 de setembro de 2002.
8. MONTGOMERY, D. C. Introduction to Statistical Quality Control. 3.ed. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1997.
9. CONWAY, P. P. et al. Process Variables in the Reflow Soldering of Surface Mount. Electronic Manufacturing Technology Symposium, IEMT Conference, 8th IEEE/CHMT International, p. 385-394, 7-9 May, 1990.
10. HELENE, O. A. M.; VANIN, V. R. Statistical Treatment of Data in Experimental Physics. 4.ed. Brasil: Edgard Blucher LTDA, 1991.
11. DRUMOND, F. B.; WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, SILVIO. Análise de Variância: comparação de várias situações. Belo Horizonte-MG: Fundação Fátima Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996. v.6.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PSI/0001 – Observabilidade Topológica de Osawa em Redes não Lineares – ARMANDO HANDAYA, FLÁVIO A. M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0002 – Desenvolvimento de uma Microbalança de Quartzo para Detectar Gases – ROBERTO CHURA CHAMBI, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0003 – Sistema para Desenvolvimento de Sensores Inteligentes – ANTONIO CARLOS GASPARETTI, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0004 – A 1.6GHz Dual Modulus Prescaler Using the Extended True Single-Phase Clock CMOS Circuit Technique (E-TSPC) – JOÃO NAVARRO SOARES JÚNIOR, WILHELMUS ADRIANUS M. VAN NOIJE
- BT/PSI/0005 – Modelamento em Linguagem VHDL de uma Unidade de Policiamento para Redes Locais ATM – ÉDSON TAKESHI NAKAMURA, MARIUS STRUM
- BT/PSI/0006 – Otimização das Operações Coletivas para um Aglomerado de 8 Computadores usando uma Rede Ethernet 10 Mbps baseada em Hub – MARTHA TORRES, SERGIO TAKEO KOFUJI
- BT/PSI/0007 – Short Temporal Coherence Optical Source With External Fiber Optics Cavity – CARMEM LÚCIA BARBOSA, JOSÉ KEBLER DA CUNHA PINTO
- BT/PSI/0008 – Hydrogenated Carbon Films Used as Mask in Wafer Processing With Integrated Circuits: Post-Processing – JUAN M. JARAMILLO O., RONALDO D. MANSANO, EDGAR CHARRY R.
- BT/PSI/0009 – Redes Neurais em VLS – ANTONIO RAMIREZ HIDALGO, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0010 – Caracterização de Filmes Obtidos a Partir da Deposição por Plasma de Hexametildissilazana – SANDRINO NOGUEIRA, MARIA LÚCIA PEREIRA DA SILVA
- BT/PSI/0011 – InterFace: A Real Time Facial Animation System – JOSÉ DANIEL RAMOS WEY, MARCELO KNORICH ZUFFO
- BT/PSI/0012 – Análise de Desempenho Dinâmico de Sistemas de Transmissão em Corrente Contínua Multiterminais Série Utilizando GTO – MARIA APARECIDA DOS SANTOS, WALDIR PÓ
- BT/PSI/0013 – Estudo de Dispositivos Miniaturizados para Controle do Escoamento de Fluidos – ELIPHAS WAGNER SIMÕES, ROGÉRIO FURLAN
- BT/PSI/0014 – Projeto de um Sistema de Sinalização de Tronco E1: Um Estudo de Caso usando o Ambiente Ptolemy – OSCAR W. PEÑA GUILARTE, MARIUS STRUM
- BT/PSI/0015 – Obtenção de Filmes de Nitreto de Silício por Deposição Química Assistida por Plasma Acoplado Indutivamente – LUÍS DE S. ZAMBOM, ROGÉRIO FURLAN, RONALDO D. MANSANO
- BT/PSI/0016 – Obtenção de Oxinitretos de Porta por Processamento Térmico Rápido Visando a Fabricação de Circuitos Integrados MOS – LEANDRO ZEIDAN TOQUETTI, SEBASTIÃO G. SANTOS FILHO
- BT/PSI/0017 – Characterization of Silicon Oxide Thin Films Deposited by TEOS PECVD – ANA NEILDE R. DA SILVA, NILTON I. MORIMOTO
- BT/PSI/0018 – Estudo e Caracterização de Filmes Sipa para a Passivação de Dispositivos de Potência – EDUARDO DOS SANTOS FERREIRA, NILTON ITIRO MORIMOTO
- BT/PSI/0019 – Simulação, Funcional e Elétrica, de Diodos Controlados por Porta Visando Demonstrar a sua Aplicabilidade como Sensor de Radiação Luminosa – HUGO PUERTAS DE ARAÚJO, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO
- BT/PSI/0020 – Graded-Channel Fully-Depleted Silicon-on-Insulator Nmosfet for Reducing the Parasitic Bipolar Effects – MARCELO ANTONIO PAVANELLO, JOÃO ANTONIO MARTINO, DENIS FLANDRE
- BT/PSI/0021 – FFT para Detecção de Aromas – G. C. SANTOS QUISPE, F. J. RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0201 – Estudo e Aplicação de Litografia por Feixe de Elétrons na Fabricação de Estruturas de Relevo Contínuo para Utilização em Microóptica Integrada – HAMILTON FERNANDES DE MORAES JÚNIOR, ANTONIO CARLOS SEABRA
- BT/PSI/0202 – Sistemas de Adaptação ao Locutor Utilizando Autovozes – LISELENE DE ABREU BORGES, MIGUEL ARJONA RAMÍREZ
- BT/PSI/0203 – A Wideband Down-Converter MMIC with Gain Control for Digital Radio Systems – D. VIVEIROS JR., M. B. PEROTONI, M. A. LUQUEZE, D. CONSONNI, J. G. C. POLOTO
- BT/PSI/0204 – Highly Conductive N-Type $\mu\text{-Si:H}$ Films Deposited at Very Low Temperature – ALEXANDRE MANTOVANI NARDES, ELY ANTONIO TADEU DIRANI
- BT/PSI/0205 – Effect of Stencil Alignment on the Solder Beading in SMT Process – FLÁVIO SOUSA SILVA, MAURÍCIO MASSAZUMI OKA
- BT/PSI/0206 – Sistema de Reconhecimento de Voz Dependente de Locutor Utilizando-se a Transformada Discreta Cosseno – WASHINGTON LUIS SANTOS SILVA, IVANDRO SANCHES
- BT/PSI/0207 – Construção e Caracterização de Diodos $\text{N}^+ \text{P}$ com Contatos Al/Ni/TiSi_2 – RONALDO WILLIAN REIS, SEBASTIÃO GOMES DOS SANTOS FILHO

- BT/PSI/0208 – Diagnóstico de Falhas em Equipamentos Usando Técnicas de Redes Neurais Artificiais – MARIANA A. AGUIAR, ZSOLT L. KOVÁCS
- BT/PSI/0209 – Analysis of the Leakage Drain Current Carriers in SOI MOSFETs Operating at High-Temperatures – MARCELLO BELLODI, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PSI/0210 – A New Technique to Extract the Oxide Charge Density at Front and Back Interfaces of SOI nMOSFETs Devices – APARECIDO SIRLEY NICOLETT, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PSI/0211 – New Methods for Determining the Silicon Film Doping Concentration and the Back Interface Oxide Charge Density Using SOI-MOS Capacitor – VICTOR SONNENBERG, JOÃO ANTONIO MARTINO
- BT/PSI/0212 – Produção de Novos Filmes para Detecção de Poluentes – ANTONIO PEREIRA DO NASCIMENTO FILHO, MARIA LÚCIA PEREIRA DA SILVA
- BT/PSI/0213 – Composição de Baixo Custo para Refeições Populares – GUSTAVO FELIPE PAOLILLO, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0214 – Posicionamento Automático de Estações para Atendimento de Usuários a Diversas Taxas – FABIO LEONEL ORSI, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0215 – Controle Ótimo de Potência em Redes de Comunicação sem Fio – TADEU JUNIOR GROSS, VANDERLEI A. DA SILVA, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0216 – Racionalização do Consumo de Energia Elétrica pelas Estações Rádio Base no Link Direto de um Sistema CDMA – E. M. G. STANCANELLI, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0217 – Otimização de Investimentos em Redes Celulares (Serviço de Valor Agregado) – J. P. G. GUIMARÃES, F. A. M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0218 – Modelo de Otimização Linear para Programação da Produção – SERGIO ANTONIO RODRÍGUEZ, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0219 – Solução Matricial para o Problema de Otimização de Portfólio de Ações com Opção de Vendas Futuras – TIAGO J. GOULART, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0220 – Método da Sequência Ótima para o Mix de Produção – PAT'RÍCIA PRADO BELFIORE, FLÁVIO ALMEIDA M. CIPPARRONE
- BT/PSI/0221 – Desenvolvimento de Tecnologias mais Limpas Aplicadas à Microeletrônica – JANAINA GAMEIRO, MARIA LÚCIA PEREIRA DA SILVA
- BT/PSI/0301 – A Virtual Collaborative Learning Environment – IRENE KARAGUILLA FICHEMAN, ROSELI DE DEUS LOPES, SUSANA ESTER KRÜGER
- BT/PSI/0302 – Segmentação e Estimação da Composição Histológica da Massa Tumoral em Imagens de Tomografia Computadorizada de Neuroblastomas – FABIO JOSÉ AYRES, MARCELO KNÖRICH ZUFFO, RANGARAJ MANDAYAM RANGAYYAN, VICENTE ODONE FILHO, MARCEL VALENTE
- BT/PSI/0303 – Deposição Química a Vapor de Óxido de Silício Assistida por Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-CVD) – ANI SOBRAL TORRES, RONALDO DOMINGUES MANSANO
- BT/PSI/0304 – Porous Silicon Processing for Enhancing thin Silicon Membranes Fabrication – MICHEL O. S. DANTAS, ELISABETE GALEAZZO, HENRIQUE E. M. PERES, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0305 – Caracterização de Microindutores CMOS e Eletrodepositados em Cobre para Aplicações em Biotelemetria – JAIME HERNANDO LASSO VÁSQUEZ, EDGAR CHARRY RODRIGUEZ
- BT/PSI/0306 – Estudo da Viabilidade Técnica da Utilização de Microcanais para Concentração de Produtos Químicos – SILVANA GASPAROTTO DE SOUZA, MARIA LÚCIA PEREIRA DA SILVA, ROGÉRIO FURLAN
- BT/PSI/0307 – Projeto de um Oscilador LC-Tanque Controlável por Tensão em Tecnologia CMOS para Rádio Frequência – GILSON MIKIO OHARA, JOSÉ VIEIRA DO VALE NETO
- BT/PSI/0308 – A.L.I.V.E. Vida Artificial em Ambientes Virtuais: Uma Plataforma Experimental em Realidade Virtual para Estudos dos Seres Vivos e da Dinâmica – ROGÉRIO PERINO DE OLIVEIRA NEVES, MARCIO LOBO NETTO
- BT/PSI/0309 – Low Operating Voltage of an Pled Structure in ITO/MEH-PPV/Al Light Emmiting Device – JOSÉ ANTONIO ROCHA DAS NEVES, ELY ANTONIO TADEU DIRANI
- BT/PSI/0401 – Filtragem de Sinais do Acelerômetro pela Difusão Anisotrópica – MARCO ANTONIO ASSIS DE MELO, HAE YONG KIM
- BT/PSI/0402 – An Artificial Life Approach for the Animation of Cognitive Characters – FABIO ROBERTO DE MIRANDA, MARCIO LOBO NETTO
- BT/PSI/0403 – Sistema Autônomo de Aquisição e Processamento de Imagens – GLAUCO ROGÉRIO CUGLER FIORANTE, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0404 – Sistema Alternativo de Geração de Referências para os Controladores de um Laminador de Aços Planos Utilizando Redes Neurais Artificiais – ANTONIO LUIZ DOS SANTOS FILHO, FRANCISCO JAVIER RAMIREZ FERNANDEZ
- BT/PSI/0405 - Desenvolvimento de um Simulador de Controle de Dispositivos Residenciais Inteligentes: Uma Introdução aos Sistemas Domóticos - CAIO AUGUSTUS MORAIS BOLZANI, MARCIO LOBO NETTO

