



O IMPACTO DO USO DE SOLDADA *LEAD FREE* NO PROCESSO DE TECNOLOGIA DE MONTAGEM EM SUPERFÍCIE (SMT)

Cláudia Lenir A. NOGUEIRA, José P. QUEIROZ-NETO, Lizandro MANZATO

Unidade de Ensino Descentralizada de Manaus / CEFET-AM
Av. Governador Danilo Areosa, sn – Distrito Industrial
CEP: 69075-350 – Manaus/Amazonas, FAX (92) 3613-3530
claudia_lenir@bol.com.br, {pinheiro, lizandro}@cefetam.edu.br

RESUMO

Nos últimos anos as empresas têm buscado o aperfeiçoamento tecnológico modernizando seu parque de máquinas, e se preocupado em implantar tecnologias com baixo impacto ambiental. O processo de soldagem *Lead Free* (livre de chumbo) é, portanto, uma tecnologia nova que requer a necessidade de um estudo aprofundado sobre sua influência no processo de produção e no meio ambiente. A mudança necessária ao uso desta nova tecnologia faz surgir algumas dúvidas, tais como: todos os funcionários deverão ser treinados novamente? as empresas deverão adquirir novos equipamentos para montagem de componentes SMT? O que muda nos sistemas de testes e inspeção? Quais os impactos ambientais com o uso dessa tecnologia?. Este trabalho visa, portanto, apresentar uma pesquisa bibliográfica e de campo, através de um estudo de caso em indústrias eletroeletrônicas do Pólo Industrial de Manaus, para levantar os aspectos do impacto do uso da tecnologia de soldagem *Lead Free* nos processos de produção SMT (*Surface Mount Technology*), e apresentar opções para uma melhor utilização desta tecnologia.

Palavras-chave: Lead Free – SMT – Processo

1. INTRODUÇÃO

Grandes fabricantes de eletroeletrônicos estão eliminando elementos nocivos de seus produtos para atender a uma norma da União Européia que entrou em vigor em 1º de julho de 2006. A diretiva *Restriction of Hazardous Substances* (RoHS), proíbe a comercialização na Europa de produtos eletroeletrônicos que contenham metais pesados como chumbo, cádmio, mercúrio e cromo e dos retardantes de chama bromobifenilas (PBB) e éteres de bromobifenilas (PBDE). As empresas que não estiverem de acordo com esta diretiva perderão competitividade. Dados da associação dão conta de que 14% das exportações brasileiras de produtos eletroeletrônicos no ano de 2005 tiveram como destino a União Européia.

Com isto diversas empresas em Manaus de origem européia ou que prestam serviços a estas tem tido a missão de implantar em seus processos fabris o uso de solda livre de chumbo, conhecido como *Lead Free* ou *Pb-Free*. Em 2007, os Estados Unidos adotaram restrições semelhantes para a entrada de eletrônicos com estes metais pesados no país. Os fabricantes chineses têm 60% de sua produção em conformidade com a RoHS e também implementarão ainda este ano exigências semelhantes à restrição européia.

Apesar de o mercado de eletro-eletrônicos consumir apenas uma pequena parcela do chumbo produzido no mundo, este tem se preocupado muito nos últimos anos em desenvolver tecnologias que não utilizam este tipo de material, e com isto permitir uma redução significativa no impacto ao meio ambiente. (GRIGOLETTO et al., 2005).

O Pólo Industrial de Manaus (PIM) é um modelo de desenvolvimento econômico implantado pelo governo brasileiro objetivando viabilizar uma base econômica na Amazônia Ocidental, promover a melhor integração produtiva e social dessa região do país, garantindo a soberania nacional sobre suas fronteiras. O Pólo Industrial de Manaus possui mais de 450 indústrias de alta tecnologia gerando mais de meio milhão de empregos, diretos e indiretos. Diversas empresas do PIM utilizam fornecedores que são responsáveis pela certificação dos componentes utilizados na produção. Cada fabricante de componentes arca com os gastos da certificação de suas mercadorias e, para obter o laudo final de certificação do produto acabado, a empresa deveria investir em um laboratório para análise de conformidade, ou seja, avaliar o produto final e emitir um atestado de conformidade que certifica a ausência ou presença, dentro de limites específicos, de substâncias restritas. Este documento é fundamental para o ingresso destes produtos nos 25 países da União Européia e em diversos estados norte-americanos.

A maioria dos componentes eletrônicos tem sido tradicionalmente soldados com a liga de estanho e chumbo, sendo este último um elemento que possui elevada toxicidade, cujos resíduos produzidos durante a sua obtenção e reciclagem das ligas podem contaminar a água, o ar e o solo. A intoxicação de trabalhadores expostos ao chumbo pode ocorrer em longo prazo na indústria e ocasiona uma grave doença chamada de saturnismo.

A legislação brasileira permite o uso do chumbo em soldas de componentes, porém a indústria local tem questionado cada vez mais esse procedimento e tende a reduzir o uso de chumbo e implementar as ligas sem chumbo para a adaptação às exigências do mercado mundial. Este novo processo está alinhado com o que preconiza a ISO 14.000, norma que diz respeito ao desenvolvimento de produtos e processos que causem grande impacto ambiental.

O objetivo deste trabalho é analisar os métodos e processos de soldagem eletrônica livre de chumbo, buscando adequar o processo às necessidades de adaptação de métodos e equipamentos, considerando as características físico-químicas da solda livre de chumbo, e os impactos ambientais e de produtividade inerentes à utilização desta tecnologia.

2. O PROCESSO DE SOLDAGEM *LEAD FREE* E AS MUDANÇAS NAS EMPRESAS

2.1 O Impacto nas empresas do PIM

A Soldagem é um processo onde quimicamente e mecanicamente dois metais são unidos a um ponto baixo de fusão. A soldagem se dá a uma temperatura de 40°C acima do ponto de fusão da liga da solda. Isto vale para qualquer tipo de soldagem, inclusive a soldagem eletrônica.

No caso de soldagem *Lead Free*, esta é uma tecnologia nova, isenta de chumbo, e utilizada porque nasceu da necessidade de banir as substancias que causam danos ao homem e ao meio ambiente e que são usadas nas indústrias em geral, esse movimento surgiu na Europa e se espalhou por todo o mundo.

A necessidade de migrar os processos de soldagem para este novo tipo de tecnologia exige das empresas uma estratégia de mudança adequada à manutenção dos processos atuais e sua gradual substituição por processos de soldagem *Lead Free* e suas implicações.

A utilização de estratégias está originariamente relacionada a fenômenos de natureza militar. A ocupação de posições e movimentações de tropas para ocupação de espaços do inimigo encontrou eco no meio empresarial, pela forma com que muitas empresas buscam conquistar mercado impondo-se perante seus concorrentes e fixando imagem favorável de suas marcas e produtos juntos aos clientes. A estratégia empresarial, é um ato pensado e planejado com objetivos pré-definidos no tempo caracterizado por posicionamentos de natureza concorrencial, mercadológica, produtiva, tecnológica e de gestão (ALOISE, 2005).

Na conceituação de Oliveira (1994, p. 46), planejamento estratégico é “o progresso gerencial que possibilita o executivo estabelecer o rumo e ser seguido pela empresa como vistas a obter um nível de otimização na relação da empresa com o seu ambiente”. A definição dada por esse autor implica para a empresa a necessidade de analisar os fatores ambientais onde ela está inserida e que interfere na sobrevivência. Ou seja, o ajustamento da empresa ao ambiente constitui a estratégia empresarial.

Segundo pesquisa informal realizada no pólo industrial de Manaus, a maioria dos grandes fabricantes planejou e preparou esta mudança com alguma antecedência. No entanto, muitas empresas só agora começaram a enfrentar este desafio. A transição para uma montagem sem chumbo levanta uma série de desafios, nomeadamente:

- Seleção e compatibilidade de materiais
- Capacidade de processamento e dos equipamentos
- Produtividade e rendimento
- Comportamento funcional
- Definição de confiabilidade e de valores de referência
- Higiene e segurança A transição de tecnologias com chumbo para sem chumbo é complexa

Varias pesquisas realizadas sobre solda *Lead Free* e seus impactos nas empresas foram feitos em laboratórios especializados em materiais, em geral solicitados por empresas interessadas que, no entanto, não se encontram em forma de publicação científica e, portanto indisponíveis para acesso. Tal fato ocorre em função da necessidade de manter algum segredo industrial, ou mesmo pelo simples desinteresse das empresas em divulgar tais dados.

Devido a este fato, este trabalho apresenta uma contribuição interessante, no sentido em que foi realizado, além de uma pesquisa bibliográfica, uma pesquisa de campo em empresas do pólo industrial de Manaus que permitiram a publicação de alguns dados importantes para a compreensão das mudanças no processo de fabricação.

Por se tratar de uma tecnologia recente, e por fazer uso de materiais com características físicas singulares, o processo de soldagem *Lead Free* lança desafios a serem vencidos em todas as fases do processo produtivo. Neste contexto, é de fundamental importância ter pleno conhecimento das diferenças dos materiais, diferenças de processo e equipamentos a serem utilizados nesta nova fase. As empresas do PIM tem tido a necessidade de um tratamento mais científico na busca de problemas e soluções envolvidos na implementação de processos usando solda *Lead Free*, pois o impacto da mudança traz diferenças consideráveis na qualidade e produtividade dos processos de produção.

2.2 O uso de soldagem Lead Free em Processos SMT

Na tecnologia de montagem de componentes eletrônicos convencionais (*Through Hole*) os componentes possuem terminais (*leads*) que são montados manual ou automaticamente em furos feitos no circuito impresso e soldados pelo outro lado sobre uma película de cobre (*pads*).

Os componentes de tecnologia de montagem em superfície (SMT) dispensam a necessidade de furação do circuito impresso (o que diminui relativamente o tempo de fabricação da mesma) e são montados em cima da superfície da placa sobre os *pad's* nos quais possuem uma pasta de solda já previamente depositada ou em cima de uma cola a qual é depositada na placa para aderir no meio do componente.

Para o uso de pasta de solda, monta-se o componente diretamente em cima desta pasta (já previamente depositada) e solda-se o mesmo por um processo de refusão (*reflow*), o que nada mais é do que derreter a liga chumbo/estanho da pasta de solda expondo a mesma a uma fonte de calor por irradiação (forno de infravermelho).

No caso do uso da cola deve-se "curar" a mesma por um processo de aquecimento controlado após ter montado o componente na placa. Após esta cura, a placa de circuito impresso com os componentes montados pode passar por uma máquina de soldagem por onda sem que os componentes sejam danificados ou caiam (durante este processo de soldagem).

O trabalho apresentado por Oliveira (2004) apresenta de forma bastante detalhada os aspectos relacionados a este tipo de processo e, portanto, este trabalho não vai aprofundar este tema, que já é amplamente discutido, mantendo o foco na questão principal, relacionado ao uso da solda *Lead Free*.

Os componentes SMT são fabricados em inúmeros tipos de invólucros e nos mais variados tipos de componentes, tais como: resistores, capacitores, semicondutores, circuitos integrados, relês, bobinas, ptc's, varistores, transformadores, etc.

As ligas sem chumbo devem possuir um comportamento mecânico adequado para atender requisitos que garantem a integridade e a confiabilidade das interconexões em montagens eletrônicas quando o produto é submetido ao campo. Os elementos como In, Sb, Bi, Cu e Ag são candidatos que podem formar ligas com o estanho e produzir ligas de baixo ponto de fusão, propriedade requerida para manter a integridades dos invólucros (empacotamentos) dos componentes eletrônicos.

Muitas composições de ligas tem sido desenvolvidas gerando patentes de ligas de solda sem chumbo, sendo que a maioria das composições que se tornaram públicas não estão prontas para uso em aplicações comerciais. Entretanto, já existem comercialmente ligas sem chumbo que podem ser usadas com as características necessárias ao processo de soldagem, com performance igual ou superior a aquelas em que o chumbo é um componente da liga.

As ligas de solda sem chumbo migraram de um sistema binário para sistemas complexos contendo mais que dois elementos. A substituição das ligas de estanho-chumbo foi amplamente discutida e estudos realizados por equipes de especialistas dos EUA e japoneses e a conclusão das pesquisas realizadas pelo NEMI - *National Electronics Manufacturing Initiative* foi que a indústria de montagem eletrônica deveria utilizar ligas com os elementos estanho, prata e cobre, chamadas ligas SAC, possuindo a composição Sn-3,9Ag-0,6Cu($\pm 0,2\%$).

O comportamento das ligas de solda sem chumbo tem sido muito estudado e estão baseados nos princípios das ciências e engenharia dos materiais. A implementação da tecnologia de soldagem de componentes sobre superfície usando ligas de solda sem chumbo continuará utilizando a infra-estrutura existente nas empresas montadoras. A utilização de boas práticas na fabricação de produtos eletrônicos determina o rendimento da produção e juntas de solda confiáveis nas montagens produzidas.

A aparência da junta de solda usando as ligas sem chumbo é bastante diferente da obtida com a liga de estanho-chumbo, porque a nova liga apresenta um aspecto rugoso, que lembra um defeito, se considerado o padrão anterior de aceitabilidade de boa solda que apresentava aspecto brilhante, conforme apresentado na Figura 1.

Os funcionários da indústria de montagem devem ser treinados novamente para absorverem o novo padrão de aceitação para a produção de montagens eletrônicas. Esta nem sempre é uma tarefa trivial, pois incorre em mudança de paradigma e, principalmente, em acompanhamento até que o novo processo seja bem assimilado.

Os insumos utilizados para a soldagem de componentes eletrônicos, as soldas em barra, as pastas de solda, as placas de circuito impresso e os componentes eletrônicos, devem estar adequados às diretrizes RoHS que limita a quantidade de elementos químicos poluentes e que podem causar problemas à saúde. Os elementos e compostos que podem causar problemas ao ambiente e que são limitados em quantidade em produtos eletrônicos pela RoHS são: chumbo, mercúrio, cádmio, cromo hexavalente, bifenil polibromados(PBB) e bifenil polibromados éteres (PBDE).

Os equipamentos eletrônicos destinados à exportação irão requerer análises laboratoriais minuciosas que permitam detectar a presença e a medida da quantidade dos elementos e compostos químicos conforme a diretrizes RoHS e WEEE, e será incentivado o desenvolvimento de produtos que possuam poucos danos à natureza.

Algumas pesquisas visam para o desenvolvimento de novos empacotamentos eletrônicos para a utilização da tecnologia de soldagem *Lead Free*, sendo que a manufatura amiga do ambiente tem sido discutida nas conferências técnicas e eventos relacionados à soldagem de componentes eletrônicos.

As principais diferenças do uso de solda *Lead Free*, para fins de inspeção, são apresentadas na Figura 1.

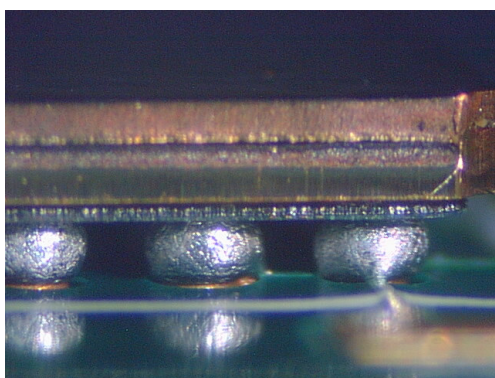


Figura 1(a) - BGA Tin/Lead

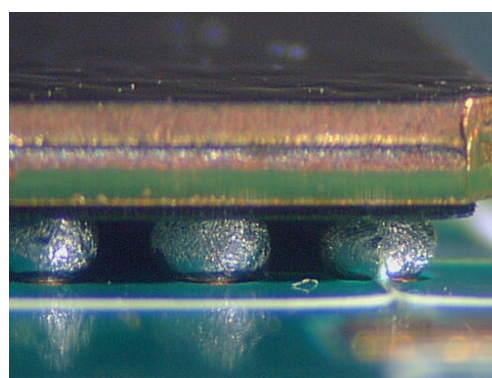


Figura 1(b) - BGA Lead Free

A Figura 1(a) apresenta o componente BGA e o uso da solda com chumbo (*Tin/Lead*), onde podemos observar o aspecto brilhoso, a Figura 1(b) apresenta o componente BGA com o uso da solda livre de chumbo, onde é possível observar seu aspecto rugoso e sem brilho. Assim, não é complicado perceber a diferença na identificação do uso das duas soldas com ligas com chumbo e sem chumbo.

Além da verificação por inspeção do tipo de solda, já existem padrões definidos pelas empresas quanto a forma de identificação dos produtos, em geral através de etiquetas de cor verde, como apresentado na Figura 2. Materiais e produtos com solda de Estanho-chumbo devem ser separados de produtos *Lead Free*.



Figura 2(a) – Material identificado



Figura 2(b) - Instrumento identificado

A Figura 2(a) apresenta potes contendo materiais *Lead Free*, identificados com etiqueta verde, e potes com materiais de soldas *Tin/Lead*. A Figura 2(b) apresenta um instrumento utilizado no manuseio da pasta de solda *Lead Free*, também identificado por uma etiqueta verde. Caso um instrumento não identificado seja utilizado no manuseio de solda *Lead Free*, este pode contaminar a solda e torná-la não conforme.

3. ESTUDO DE CASO: EMPRESAS DO PIM

Considerando os conceitos tratados nas seções anteriores, desenvolveu-se um estudo de caso em empresas do ramo eletroeletrônico no PIM, através de uma pesquisa de campo, para levantar os aspectos do impacto do uso da tecnologia *Lead Free* nos processos de produção SMT, e apresentar opções para minimizar seus efeitos.

3.1 Retirar o chumbo, o maior desafio

Diferentes indústrias têm estado sujeitas, desde há vários anos e tendo em vista o desenvolvimento de “Tecnologias Limpas”, a um aumento dos requisitos legislativos. É este o caso da indústria elétrica e eletrônica e a implementação obrigatória de processos de soldagem sem chumbo. Esta mudança foi devida à Diretiva Européia 2002/95/CE RoHS.

A tecnologia provoca mudanças nas empresas, pois os funcionários deverão ser treinados novamente para absorverem o novo padrão de soldagem dos componentes SMD, e para isso é de grande importância o conhecimento dos procedimentos bem como os equipamentos e processos pertinentes a esta tecnologia inovadora.

As ligas atualmente utilizadas têm a seguinte composição: 62% Sn + 38% Pb. Esta composição foi escolhida pelas seguintes razões:

- T° : 183°C / Baixa temperatura de fusão;
- Boa molhabilidade;
- Boas propriedades mecânicas e elétricas;
- Custo: O Pb é barato. Infelizmente o Pb é tóxico;
- Cada metal reage com O₂ formando óxidos de metal.

A pesquisa de campo iniciou-se com uma entrevista para o setor eletroeletrônico com relação ao uso da solda livre de chumbo e resultados da implantação em uma indústria do pólo eletroeletrônico. Os resultados das entrevistas são apresentados na Tabela 1, demonstrando as características de destaque.

Tabela 1 – Entrevista quanto ao uso de solda *Lead Free*

<i>Características</i>	<i>Comentários</i>
Quantidade de empresas entrevistadas	Três empresas do PIM
Países de Origem	Taiwan, Finlândia e Brasil.
Principais Produtos	Motherboard, Aparelhos de Telefonia Celular e Bens de Informática.
Fatores que influenciaram a transição de seus processos para utilização da solda livre de chumbo	Cuidados com o meio ambiente; Responsabilidade Social; Qualidade de Vida dos colaboradores; Atendimento as novas Normas Internacionais; Estratégia para acompanhar os concorrentes.
Ameaças	Aumento nos custos de seus produtos e que não pode ser repassado ao preço final, resultando na diminuição da margem de lucro.
Contribuições para Tecnologia, Mão de Obra e Cultura Organizacional	Utilização de equipamentos de última geração; Desenvolvimento de mão obra especializada; Desenvolvimento de parcerias com Institutos.
Principais Estratégias de Manufatura	Utilizar verbas de pesquisa e desenvolvimento para melhorar os índices de qualidade e produtividade em seus processos; Otimizar os processos visando absorver o aumento de custo causado pela mudança na liga de solda; Fazer <i>benchmarking</i> com fornecedores Internacionais de Tecnologia.
Reações da Concorrência	Estão migrando seus processos para solda livre de chumbo.

A seguir, a Tabela 2 apresenta os resultados da empresa nacional que implantou o uso de solda Lead Free em seus processos de montagem SMT.

Tabela 2 – Empresa que implementou o uso de solda *Lead Free*

<i>Características</i>	<i>Comentários</i>
Ramo de atividade da empresa	Eletroeletrônico
País de Origem	Brasil (Parceira com Organização Chinesa)
Principais Produtos	Bens de Informática
Número de funcionários	700 colaboradores
Numero de funcionários treinados em <i>Lead Free</i>	650 colaboradores
Quantidade de peças produzidas no lote inicial	8.000 peças
Índices de Qualidade e Produtividade	Qualidade – Resultados considerados bons considerando que é o 1º lote produzido com a nova tecnologia, 97,74% de aprovação na primeira passagem. Produtividade – Houve uma redução na produtividade no 1º momento na média de 20%, fato que depois foi contornado e estabilizado.

<i>Características</i>	<i>Comentários</i>
Principais dificuldades	Dificuldade nos ajustes dos equipamentos e processos considerando novos parâmetros. Mão de Obra demorou um pouco para assimilar novos conceitos, mesmo recebendo os treinamentos recomendados. Estas foram as principais causas na redução da produtividade.

3.2 Principais impactos e como melhorar os processos de montagem com solda *Lead Free*

Preço/estabilidade do custo dos materiais: Esta mudança, obriga os fabricantes de elementos, e componentes para a indústria, a buscar as mudanças mais adequadas para seguir vendendo seus produtos no mercado europeu depois do 1º de julho de 2006 e criar os desafios mais interessantes para as soldas sem chumbo, para os fabricantes de eletro-eletrônico, e que as temperaturas de fusão das novas ligas substitutas e as novas ligas e as típicas estanho-chumbo (SnPb) são muito superior as atuais, já que se encontram compostas tipicamente por estanho-prata-cobre (SnAgCu) e estanho-cobre (SnCu) além de oferecer uma umectação mas lenta das superfícies metálicas. Por isso são muito mais caras.

Processo duplo - sem e com chumbo: O processo misto ainda existe no PIM, mas são poucas como as empresas fabricante de placas motherboard, pois seus produtos não são totalmente destinados a Europa, como os fabricantes de componentes aderiram a solda sem chumbo, alguns desses produtos são mistos, ex: componente *Lead Free* e solda *Tin Lead* (com chumbo)

Alta temperatura de fusão: a solda tradicional de estanho/chumbo funde a 180° C enquanto que a solda sem chumbo funde a 227° C. Esta é uma das principais dificuldades de ajuste do processo quando da utilização de solda *Lead Free*. Como exemplo, foi utilizado um equipamento chamado traçador de perfil de temperatura em um processo em andamento para verificar sua adequação aos níveis de temperatura necessários. Isto significa que componentes eletrônicos devem ser capazes de suportar esta nova temperatura de soldagem de modo a permitir que a solda sem chumbo seja usada. A Figura 3 apresenta gráfico resultante do traçador de perfil. Observe que a maioria das soldas *Lead Free* requerem temperaturas mais altas que a 210-220°C temperatura de cume. Esta temperatura mais alta visa maximizar a ativação do fluxo de solda e possivelmente, sugere mudanças de equipamento.

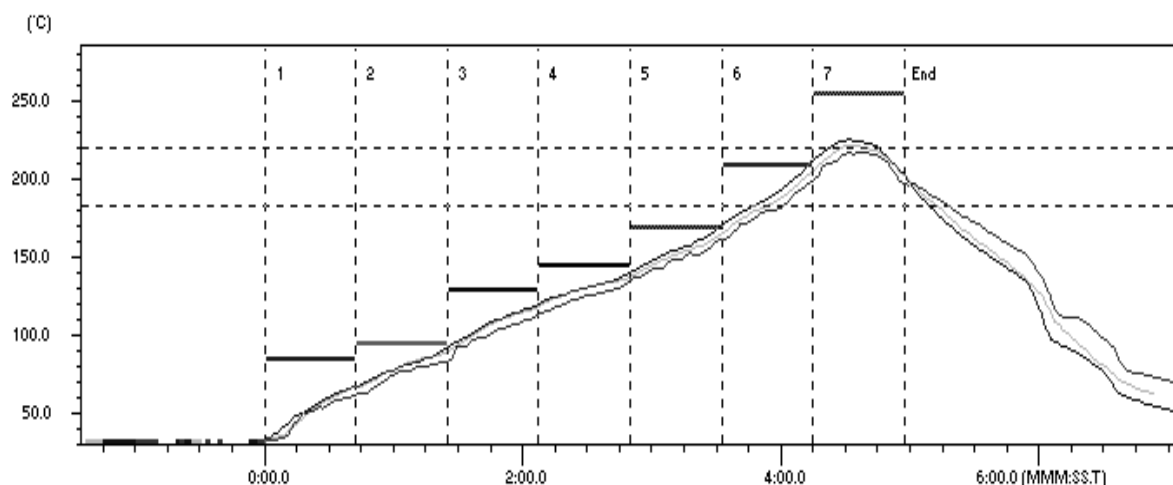


Figura 3- Perfil de temperatura em um forno de refusão.

Soldagem manual: Esta é relativamente direta e fácil de fazer as mudanças necessárias, onde a maior dificuldade é com componentes de grande massa térmica que ainda não possuem terminais sem chumbo, podendo-se utilizar produtos em fio caracterizados como sem chumbo como SnCu, SnAgCu, SnAg, que estão disponíveis, e ligas com bismuto, que geralmente não estão disponíveis, uma vez que são quebradiças e difíceis de transformar em fio (podem ser feitas por encomenda, mas são mais caras);

Soldadura em onda: Neste caso, as soldas sem chumbo poderão danificar partes do equipamento que são fabricadas em aço, como ocorreu em uma das indústrias visitadas. O ideal, então, é contatar o fornecedor da máquina para maiores informações. Em alguns casos pode-se verificar se são necessárias temperaturas mais elevadas ou escolher um fluxo mais adequado para evitar danos ao equipamento.

Soldagem em superfície: Especificamente para soldagem SMT, é necessário um aquecimento por convecção forçada do ar para melhor controle da temperatura e minimizar picos de temperatura através de um bom controle da temperatura e aumento das zonas quentes. Além disto, os fogões poderão ter que ser mais longos, com uma potência mais fraca para que possam ser alcançados melhores resultados. A tensão superficial das soldas *Lead Free* é mais elevada do que as soldas de estanho/chumbo, e isso limita a difusão da solda e aumenta o risco do efeito *tombstoning*. (o componente fica levantado com um de seus terminais fora da trilha), conforme apresentado na Figura 4, que pode ser prevenido através do alinhamento perpendicular do componente em relação ao condutor, usando uma massa com um maior teor de viscosidade, assegurando boa soldabilidade nas superfícies.



Figura 4 – Efeito Tombstoning

Umidificação: A umidificação da maioria das soldas sem chumbo é inferior à das de estanho/chumbo. Isso não se caracteriza, até o momento, como um problema em relação aos processos de soldagem no PIM.

Além destes aspectos, componentes e trilhas das placas de circuito impresso, que foram desenvolvidos por causa da substituição das ligas de estanho-chumbo para ligas sem chumbo, e as modificações de *setup* dos equipamentos, são variáveis importantes no processo de soldagem de componentes usando solda *Lead Free*.

As análises laboratoriais são um importante suporte que fornecem subsídios à área de engenharia de processos, permitindo a avaliação dos elementos e compostos químicos presentes nos equipamentos eletrônicos conforme exigência de diretrizes como a RoHS e WEEE, orientando para soluções adequadas através de dados científicos confiáveis.

Finalmente, é importante ressaltar que toda pesquisa levantada nas indústrias foi de cunho prático, onde puderam ser aplicados e verificados os conceitos do uso de soldagem *Lead Free* e suas implicações, com acesso a equipamentos, materiais e processos, tendo como resultado os comentários anteriores de propostas para melhoria do processo utilizando esta nova tecnologia.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o impacto do uso da tecnologia de soldagem *Lead Free* em empresas do PIM, apresentando problemas e soluções a partir de uma investigação teórica e prática. A contínua busca por produtos e processos ambientalmente corretos, bem como a miniaturização dos componentes eletrônicos a serem montados sobre a placa de circuito impresso, levam a crer que em pouco tempo praticamente todo processo de soldagem eletrônica será em superfície (SMT) e utilizando solda *Lead Free*.

Considerando a crescente concorrência e a necessidade de as empresas locais se adequarem às normas ambientais, sem que isto implique em aumento de perdas e em custos extras de produção desnecessários, a qualificação de recursos humanos locais, e a socialização das boas práticas de utilização da tecnologia *Lead Free* são uma forma de alcançar a qualidade e produtividade necessárias à produção.

Quanto à formação, instituições de ensino tecnológico, bem como cursos oferecidos pelas próprias empresas, tendem a satisfazer esta necessidade. Entretanto, a socialização das boas práticas do processo de soldagem *Lead Free* não é uma tarefa simples. Isto ocorre devido a fatores como segredo industrial, normas internas das empresas, ou mesmo a falta de interesse em divulgar tais ações. Neste trabalho, algumas informações consideradas confidenciais não puderam ser apresentadas, em respeito ao acordo feito com as empresas que colaboraram com a pesquisa.

É importante ressaltar que este tipo de pesquisa aplicada, onde a academia se relaciona abertamente com a indústria, ainda que com algumas limitações, é um aspecto positivo deste trabalho, e certamente um passo importante para futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, F.V. **Competitividade: Conceitos Gerais** in RODRIGUES, S.B., Competitividade, alianças estratégicas e gerência internacional. São Paulo, Atlas, 1999.

BS4 A4 : **Standard test methods for metallic materials for aircraft** : Part 1. Tensile Tests : Section Two : Tensile tests – Elevated temperature.

CLECH, J.P., **Lead-Free Solder Joint Reliability Workshop**, 6th European Surface Mount Conference SMART Group, Brighton UK, 2004.

CLECH, J.P., **Comparative Analysis Of Creep Data For Sn-Ag-Cu Solder Joints In Shear**, MicroMaterials & Nanomaterials , Issue no. 3, 2003.

GRIGOLETTO, E. M. **Propriedade de Tração e Fadiga Isotérmica de uma junta de cobre com as ligas Sn63-Pb37**, Tese de Doutorado, Departamento de materiais, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 147 p., 2003.

ALOÍSE, P.G. **Estratégias da produção utilizadas por empresas multinacionais instaladas no pólo industrial de Manaus**. Manaus , 2005. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção)-Universidade Federal do Amazonas.

OLIVEIRA, C.A.P. & LIMA, C.R.C. **Aspectos Fundamentais da Tecnologia de Soldagem em Superfície na Eletrônica**, Proceedings of consolda, RJ, setembro, 2004, CD Room.

OLIVEIRA, D.P.R., **Planejamento Estratégico, Conceitos, Metodologias, Práticas**. Ed. Atlas, São Paulo, 1994.