III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento

20 a 22 de outubro de 2014

CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO SOCIAL

MPE1161

ESTUDO PRELIMINAR SOBRE TESTES DE SCREENING E QUALIFICAÇÃO EM CIRCUITOS INTEGRADOS DE ENCAPSULAMENTO PLÁSTICO EM APLICAÇ

PRISCILA CUSTÓDIO DE MATOS
priscila.matos@gmail.com
MESTRADO - ENGENHARIA MECÂNICA
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

ORIENTADOR(A)
VALESCA ALVES CORREA
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

ESTUDO PRELIMINAR SOBRE TESTES DE *SCREENING* E QUALIFICAÇÃO EM CIRCUITOS INTEGRADOS DE ENCAPSULAMENTO PLASTICO EM APLICAÇÕES ESPACIAIS

P. C. Matos, priscila.matos@lit.inpe.br[1]
V. A. Corrêa, valesca.correa@unitau.com.br[2]

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
2 Universidade de Taubaté

Resumo
Circuitos integrados com encapsulamento plástico (do inglês, *plastic-encapsulated micro-circuit* - PEM) são facilmente encontrados no mercado de semicondutores e podem ser empregados em diversas aplicações são empregados em diversas aplicações desde que suas limitações construtivas (encapsulamento, projeto elétrico do *wafer*/*die*) sejam aceitáveis pelo produto final. Quando analisamos as aplicações espaciais observamos que o uso de componentes plásticos apresentam uma série de riscos relacionados a sua confiabilidade que devem ser criteriosamente analisados para que seu uso possa ser aceito sem o prejuízo para a aplicação final. Este trabalho apresenta os riscos e técnicas para minimizá-los na utilização de PEMs em aplicações de sistemas complexos de alta confiabilidade como as aplicadas em satélites.

Palavras-chave: circuitos integrados de encapsulamento plástico; qualificação; *screening*.

PRELIMINARY STUDY ON SCREENING AND QUALIFICATION TESTS IN PLASTIC PACKAGE INTEGRATED CIRCUITS IN SPACE APPLICATIONS

Abstract
Integrated circuits with plastic encapsulation (also known as plastic encapsulated microcircuit – PEM) are easily found in semiconductors market and can be applied in several applications since the constructive limitations of PEMs (package, wafer/die electrical design) are acceptable by the final product. When analyzing space applications it is it is notice that the use of plastics components presents a number of risks related to its reliability must be carefully analyzed in order the level of risks can be accepted without damage to the final application. This paper presents risks and techniques to minimize them in the use of PEMs in high reliability complex systems of as satellite.

Key words: plastic-encapsulated micro-circuit (PEM), qualification, screening.

1 INTRODUÇÃO

Os circuitos integrados comerciais com encapsulamento plástico (do inglês, *plastic encapsulated microcircuit* - PEM) são amplamente utilizados pela indústria, por apresentarem custo de manufatura menor, possuem maior variedade de tipos e tamanhos, alta disponibilidade, massa reduzida, custo baixo, curto prazo de entrega. A combinação destes fatores reflete em um sistema menor e mais barato e altamente atrativo a todos os segmentos da indústria eletroeletrônica.

Por outro lado, existem também limitações; por ser projetado para aplicações comerciais (automotiva, microinformática, telefonia móvel) a taxa de evolução (novos projetos, novas tecnologias, novas técnicas de fabricação) é bem alta. Estima-se que um componente pode entrar e sair do mercado em um período de três anos tempo insuficiente para se ter uma base de estudos aprofundada sobre o nível de confiabilidade em sistemas complexos que requeiram alto desempenho, portanto são normalmente utilizados em equipamentos e sistemas que podem ser facilmente reparados ou substituídos.

Quando se trata de aplicações que exigem alta confiabilidade a sua utilização deve ser criteriosamente analisada. Inicialmente a percepção era de que apresentavam baixo nível de confiabilidade, atualmente observa-se que os riscos associados ao uso de PEM em satélites pode ser melhor avaliado a partir de um processo estruturado de qualificação e *screening*.

Os componentes com encapsulamento plásticos consistem de uma matriz de terminais (conhecidos pela denominação em inglês, *leadframe*), interconectada à pastilha de silício (*chip* ou *die*) encapsulado em plástico (resina epóxi), conforme mostra a Figura 1 com a representação de um circuito integrado de encapsulamento plástico do tipo DIP (do inglês, Dual Inline Package) de 18 terminais. Espera-se que estes componentes quando destinados ao segmento comercial operem na faixa de temperatura entre 0°C e 70°C, e no segmento industrial entre -40°C e 85°C.

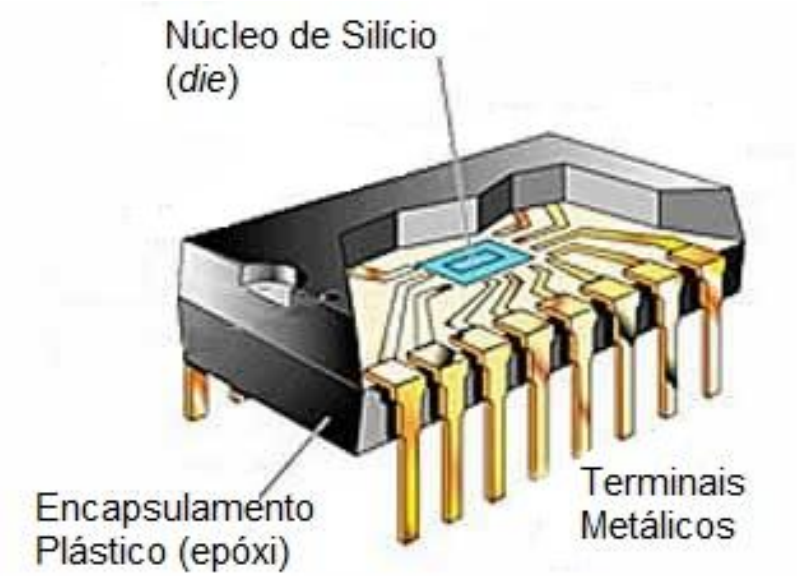

Figura 1 – Esquemático de um circuito integrado de encapsulamento plástico

Fonte: Fórum PCs. Endereço: http://www.bpiropo.com.br/graficos/FPC_AC20051107e.jpg. Acesso: 26 de setembro de 2014.

O nível de estabilidade do processo de fabricação aliado a qualidade dos materiais utilizados no PEM, em especial a resina do encapsulamento, são fatores que devem ser estudados na avaliação da confiabilidade do componente. De acordo com Lilani (2014) em um PEM as falhas mais comuns são:

- Trincas no *die*
- Trincas nas interconexões internas
- Fios internos levantados
- Delaminação
- Corrosão
- Contaminação
- Absorção de umidade
- Trinca no encapsulamento
- Trinca na passivação
- Vazios no material de adesão do *die*

Segundo a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), na instrução PEM-INST-001: *Instructions for Plastic Encapsulated Microcircuit (PEM) Selection, Screening, and Qualification*, a caracterização de PEMs é particularmente difícil por duas razões:

1. Os componentes plásticos apresentam grandes diferenças de projeto e construção quando comparados aos circuitos integrados militares hermeticamente selados (YANG, 2013). Para os PEMs as práticas empregadas aos componentes militares, robustos e altamente confiáveis, não são aplicáveis, pois apresentam uma faixa de temperatura de operação menor e são mais sensíveis a umidade.
2. Os usuários de PEMs não possuem acesso aos projetos dos componentes, lista de materiais empregados, rastreabilidade do *die*, processo de produção e procedimentos técnicos e qualidade. Não existe uma autoridade de terceira parte que monitore a qualidade do componente ofertado da mesma forma que é feito com os componentes militares.

Baseando-se nestas limitações é que o processo de *screening* dos componentes comerciais de encapsulamento plástico não é garantia de confiabilidade para aplicação em satélites e deve apenas ser considerado se os riscos forem aceitos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Encapsulamento Plástico

Os circuitos integrados de encapsulamento plástico são montados com um material encapsulante orgânico para proteção do *die* e estrutura mecânica. Sendo um polímero a estrutura molecular da resina encapsulante faz do componente não hermético. E esta resina está em contato direto com o elemento ativo do componente ou então com uma camada protetora inorgânica (KITANO, 1988).

Atualmente o material mais empregado para encapsular componentes é baseado em resina epóxi, posto que houve uma evolução da resina o qual reduziu a presença de

cloretos e outros haletos, maior estabilidade dos retardantes de chama e a eliminação dos problemas de corrosão dos fios de alumínio que ligam o *die* a matriz de terminais.

O PEMs conforme, mencionado anteriormente, apresentam uma série de vantagens em relação aos componentes herméticos, tais como:

2.1.1 Tamanho e Massa

Com o adensamento das montagens eletrônicas toda redução em peso e massa que os fabricantes de componentes eletrônicos possam oferecer é muito bem recebida pelo mercado. Em alguns casos a massa pode ser a metade de um encapsulamento cerâmico. A oferta de encapsulamentos plásticos também é maior. Configurações como as: *small-outline packages* (SOP) e *thin small outline packages* (TSOP) estão disponíveis apenas em encapsulamentos plásticos.

2.1.2 Desempenho

Dependendo da faixa de frequência na qual o componente deve operar, as propriedades dielétricas do encapsulamento plástico são melhores em relação aos cerâmicos. Configurações do tipo: *plastic quad flat package* (PQFP), *ball grid array* (BGA) apresentam menores taxas de propagação de atraso.

2.1.3 Custos

Os custos de fabricação de um circuito integrado compreendem uma série de fatores como: *die*, encapsulamento, volume, tamanho, testes (verificação funcional, qualificação e *screening*). Estes custos são diminuídos em consequência do alto volume de produção, amplo campo de aplicação e automatização dos processos de produção.

Por outro lado, os componentes de encapsulamento hermético além do custo mais elevado de suas matérias primas ainda exige um processo de produção mais complexo e no qual se exige o envolvimento de um número maior de mão de obra. Isto faz com que os custos de produção dos componentes herméticos sejam aproximadamente dez vezes maiores em relação aos plásticos. Os benefícios dos PEMs diminuem conforme o nível de integração e número de terminais. Isto se deve ao aumento do preço do *die* em relação ao custo total da parte.

Em relação aos PEMs a principal desvantagem é a sensibilidade a umidade. A umidade é o gatilho para muitos mecanismos de falha como: a corrosão, delaminação e etc.

2.1.4 Confiabilidade

O nível de confiabilidade dos PEMs tem aumentado graças ao desenvolvimento de novos plásticos para o encapsulamento, novas técnicas e materiais para a passivação do *die* e a evolução dos processos de manufatura. Ainda assim, de acordo com Hong (2011) os principais modos de falha do PEM são: aberto, curto, variação de parâmetro elétricos e falha catastrófica.

Os novos plásticos encapsulantes se destacam por apresentarem melhor adesão aos outros materiais, alta temperatura de transição vítrea, alta condutividade térmica.

Para avaliar a confiabilidade, testes são executados em uma sequência estruturada, de modo que se possa quantificar a taxa de falha do componente em diferentes fases do seu

ciclo de vida. Testes de *screening* e de envelhecimento acelerado baseiam se na rápida queda da taxa de falha, na região de mortalidade infantil.

2.2 Garantia da Qualidade para PEMs

Sob a óptica da garantia da qualidade do produto a meta é minimizar os riscos de se aceitar que as montagens eletrônicas contemple PEMs.

Componentes comerciais de encapsulamento plástico foram projetados para aplicação em ambientes com baixo nível de estresse, portanto em aplicações espaciais (satélites) são diretamente classificados como de alto risco e exigem que precauções adicionais sejam adotadas.

Deste modo o lote de componentes deve passar pelos testes que compõem o *screening*, a qualificação, testes para avaliar a resistência a radiação, análise física destrutiva. A importância entre essas avaliações bem como a sua inter-relação pode ser visualizada na curva da banheira mostrada na Figura 2 (TEVEROVSKY, 2003).

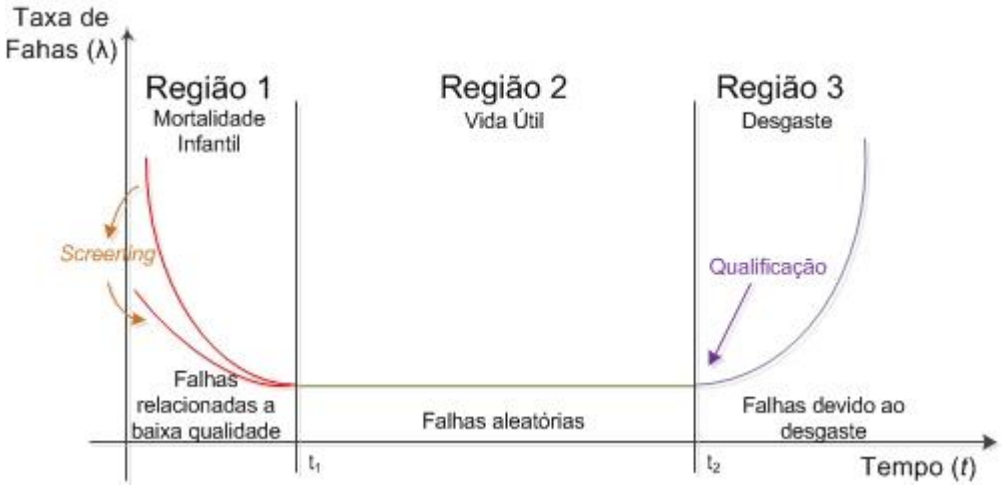

Figura 2 – Relação entre os processo para garantia do produto de PEMs e a curva da banheira.

Fonte: PEM-INST-001: Instructions for Plastic Encapsulated Microcircuit (PEM) Selection, Screening, and Qualification, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD (2003)

Também devem ser consideradas a avaliação do projeto do componente, o histórico do fabricante, qual a planta de origem do componente, o nível de confiabilidade do distribuidor e o histórico de voo bem sucedidos do componente.

2.2.1 Análise Física Destrutiva

A análise física destrutiva (do inglês, *destructive physical analysis* - DPA) fornece dados importantes referentes ao projeto, ao processo de fabricação, e possíveis defeitos relacionados ao lote analisado. Os resultados do DPA servem como ferramenta para o desenvolvimento dos processos de screening e de qualificação do PEM, que poderão ser adaptados para atender a um problema específico que o componente apresente (YANG, 2013).

A integridade do encapsulamento, a qualidade da montagem e os defeitos no *die* são três aspectos que devem ser atentamente analisados. Para que o lote possa ser melhor caracterizado é importante que as amostras utilizadas sejam selecionadas aleatoriamente, de modo a fornecer um melhor caracterização do lote sob análise.

2.2.2 *Screening*

O screening assegura que o produto esteja na segunda região da curva da banheira, onde a probabilidade de falha devido ao processo de manufatura é baixa.

Como afirmado pelo Jet Propulsion Laboratory (JPL), para reduzir os custos de produção os fabricantes de componentes plásticos não executam os testes de *screening* em 100% do lote produzido. Porém, o *screening* deve ser aplicado a todos os componentes destinados a voo e tem por objetivo detectar e remover partes defeituosas e reduzir o número da mortalidade infantil, Região 1 da Figura 2 (JPL, 2012). O diagrama típico da sequência de testes que compõem o *screening* é apresentado na Figura 3.

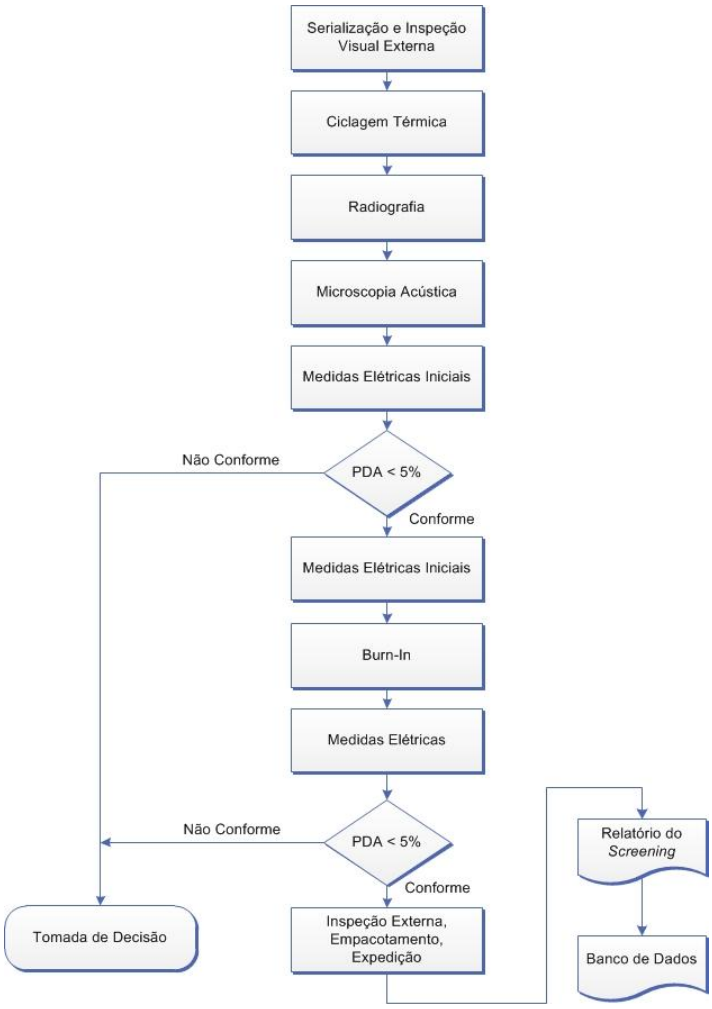

Figura 3 – Típico fluxograma de *screening* para PEMs.

Fonte: PEM-INST-001: Instructions for Plastic Encapsulated Microcircuit (PEM) Selection, Screening, and Qualification, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD (2003)

Na Figura 3 os acima pode-se observar que a definição da porcentagem de defeitos aceitáveis (do inglês, *Percent Defective Allowable* – PDA) pode variar de acordo com os requisitos de qualidade do projeto e da aplicação final.

2.2.3 Qualificação

Os testes de qualificação são executados para se garantir que nenhum mecanismo de falha relacionado ao desgaste do componente possa causar falhas prematuras fornecendo informações sobre a confiabilidade do projeto e da tecnologia empregada no PEM. Isto significa que os testes avaliam o comportamento do componente na transição das regiões 2 e 3 (mostradas na Figura 1), sendo que na prática o fabricante de componente plástico qualifica o componente para que ele opere em 55°C durante 10 anos onde as falhas por ruptura dielétrica dependente do tempo (do inglês, *time-dependent dielectric breakdown* – TDDB), polarização negativa em instabilidade térmica (do inglês, *negative-bias temperature instability* - NBTI), entre outras (JPL, 2012). Na especificação do componente destinado a aplicações espaciais deve-se verificar por meio de evidências comprobatórias de que esta afirmação é valida. E solicitar testes adicionais, como medidas adicionais em diferentes temperaturas.

A qualificação deve considerar ainda os efeitos da temperatura sobre o PEM, para tanto os testes de estresse altamente acelerado (do inglês, *Highly Accelerated Stress Testing* - HAST) destinado a evidenciar umidade e contaminação no componente juntamente com o teste de vida operacional em alta temperatura (do inglês, *High Temperature Operational Life* – HTOL) que acelera os defeitos relacionados ao *die*. Também é importante verificar a exposição a ciclagem de temperatura e a simulação a soldagem por refusão cujos resultados demonstram a susceptibilidade das partes ao estresse térmico. Sendo que durante a execução dos testes de temperatura deve-se observar a máxima temperatura de junção para não danificar o componente no teste.

A qualificação avalia a confiabilidade a longo prazo acelerando potenciais falhas que podem conduzir ao desgaste. A maioria destas falhas pode ser agrupada em:

- Falhas mecânicas;
- Contaminação;
- Desgaste;
- Efeitos da radiação.

Os testes de qualificação devem ser conduzidos em um lote de componentes que foram previamente submentidos aos testes de *screening*. Tipicamente o digrama de qualificação de PEM é conforme demonstrado a Figura 4.

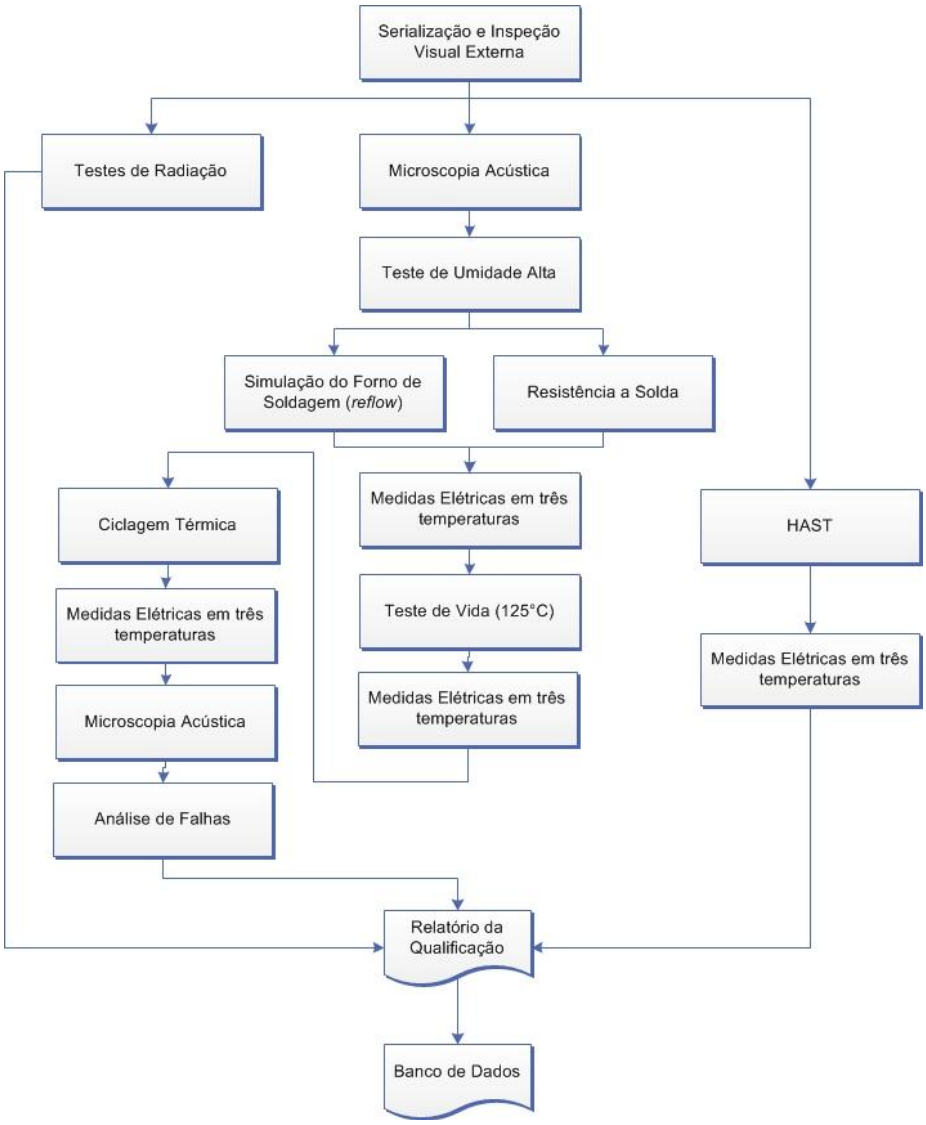

Figura 4 – Típico fluxograma para a qualificação de PEMs.

Fonte: PEM-INST-001: Instructions for Plastic Encapsulated Microcircuit (PEM) Selection, Screening, and Qualification, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt MD (2003)

Pode-se observar que nesta sequência existe a inspeção por microscopia acústica, que serve para avaliar a deformação mecânica e delaminação devido ao estresse térmico. A comparação das imagens obtidas antes e após os testes de temperatura fornecem um dos parâmetros para a avaliação da confiabilidade do PEM.

A inspeção por microscopia acústica serve para avaliar se houve alguma mudança na estrutura do PEM depois de submetido aos diversos tipos de estresses térmicos. A integridade do encapsulamento previne uma série de defeitos, posto que a movimentação do encapsulamento em relação ao *die* pode, por exemplo, danificar a sua superfície ou causar mal contato nas conexões internas. A microscopia acústica pode ainda revelar se o processo de adesão do *die* ao substrato foi bem executado, se existem vazios na resina, delaminação em alguma parte do componente.

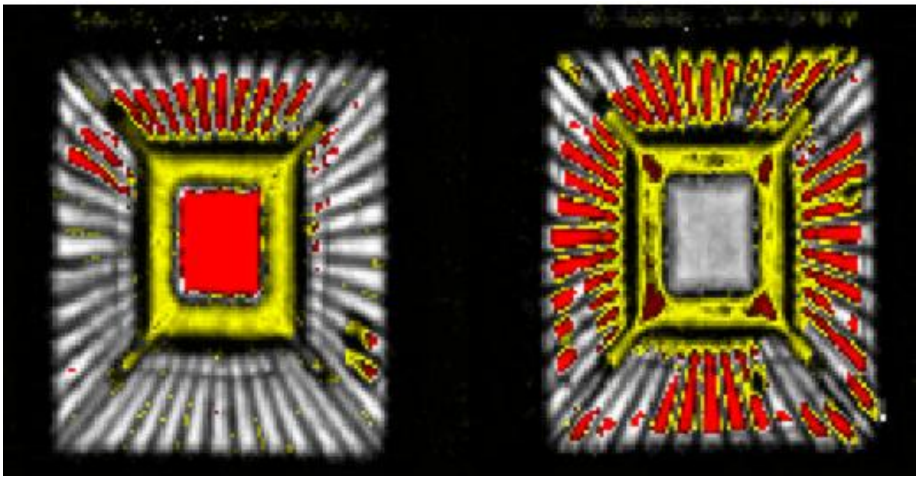

Figura 5 – Imagem de microscopia acústica, a direita pode-se visualizar delaminação sob o *die*, na direita o *die* está corretamente aderido ao substrato. Em ambos os casos existem delaminações (vermelho e amarelo).

Fonte: Acoustech – Analytical Service Laboratory, (2011). Endereço: http://www.acoustech-inc.com/pdfs/Acoustic%20Microimaging.pdf. Acessado em 24 de setembro de 2014, às 19:23.

3 MÉTODOS

3.1 Abordagem Escolhida

Esta fase do estudo é baseada em pesquisa e análise bibliográfica, abrangendo os documentos disponibilizados pelas agências espaciais e normas técnicas com a finalidade de encontrar uma forma de estruturar um procedimento que possa ser aplicado nos programas espaciais desenvolvidos no país.

O trabalho iniciou com a investigação das principais características construtivas dos circuitos integrados com encapsulamento plástico a fim de levantar quais os pontos fortes e os pontos fracos desta categoria de componente.

Grande parte do desenvolvimento é amparada pelas normas publicadas por agências espaciais como a *European Space Agency (ESA) e a* NASA que estabelecem critérios para o projeto, desempenho e qualificação de componentes. Bem como por meio de relatórios, notas técnicas e artigos que estas agências também publicam sobre o uso de PEM em aplicações espaciais.

3.2 Testes de *Screening* e Qualificação

Como apresentado no item 2 deste documento os resultados dos testes de *screening* e qualificação apresentam dados importantes sobre a qualidade do componente sob análise. O JPL (2012) apresenta uma sequência de testes, destrutivos e não destrutivos, a ser aplicadas a PEMs, a Tabela 1 mostra uma adaptação da sequência de testes proposta pelo JPL para portas lógicas NAND, que pode ser replicada a outros PEMs.

Tabela 1 – Adaptação da sequência de testes de *screening* e qualificação aplicada a portas NAND pelo JPL

Etapa	Teste	Requisito
1	Temperatura de transição vítrea (Tg)	Análise Termo-Mecânica (TMA)
2	Serialização	--
3	Medidas Elétricas (AC, DC, Funcional)	Conforme especificações da folha de dados do componente em três temperaturas: -40°C, 25°C e 85°C
4	*Burn-In* Dinâmico	MIL-STD-883, Método 1015 (125°C)
5	Medidas Elétricas (AC, DC, Funcional)	Conforme especificações da folha de dados do componente em três temperaturas: -40°C, 25°C e 85°C
6	Cálculo da Variação dos Parâmetros Elétricos (delta)	25°C
7	Cálculo da Porcentagem Aceitável de Defeitos no Lote (PDA)	A ser definido para o projeto.
8	*Stabilization Bake*	125°C, 24 horas
9	Precondicionamento	JEDEC 22A-113F
10	Ciclagem Térmica	MIL-STD-883, método 1010 condição B
11	Medidas Elétricas (AC, DC, Funcional)	Conforme especificações da folha de dados do componente em três temperaturas: -40°C, 25°C e 85°C
12	*High Temperature Operating Life* (HTOL)	MIL-STD-883, método 1005, 125°C
13	Medidas Elétricas (AC, DC, Funcional)	Conforme especificações da folha de dados do componente em três temperaturas: -40°C, 25°C e 85°C
14	Análise Física Destrutiva (DPA)	--
15	Radiação	Dose Total (TID) e *Single Event Effect* (SEE)

Fonte: JPL, 2012

Ao analisar a sequência de testes executada pelo JPL nas portas lógicas NAND, observou-se que não foram executadas as inspeções por microscopia acústica. E também o JPL preferiu executar o teste de vida operacional em alta temperatura (*High Temperature Operating Life* - HTOL) e não o estresse altamente acelerado (*Highly Accelerated Stress Testing* - HAST) que servem para estimular falhas latentes no componente sob teste.

Os testes de temperatura exercem um grande impacto no processo de avaliação dos PEMs. A opção pelo HTOL ou pelo HAST está ligada ao nível de conhecimento disponível sobre o componente ensaiado.

A principal finalidade da microscopia acústica é identificar delaminações na superfície do *die*, no adesivo entre o *die* e o substrato, na matriz de terminais do componente, por exemplo. Por esta óptica o teste é imprencindível para avaliar a qualidade do processo de fabricação e do PEM em si. Porém a norma J-STD-020D.1 - *Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices* estabelece que a delaminação não é por si só um critério de rejeição. Assim sendo, os resultados da microscopia acústica devem ser estudados em conjunto com os resultados dos demais testes e análises (LILANI, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A obsolescência e o custo são aspectos que direcionam as aplicações que exigem alta confiabilidade a buscar partes comerciais para se utilizar no desenvolvimento de novos produtos. No estudo desenvolvido até o presente neste artigo nota-se que é preciso realizar uma análise aprofundada das características construtivas do PEM e do seu processo de fabricação.

Mesmo com o desenvolvimento de novos materiais, a resina epóxi continua a absorver umidade, isto causa corrosão nas partes metálicas no interior do encapsulamento. Também é possível que a camada de passivação do *die*, normalmente de nitreto de silício, seja irregular e apresente furos e vazios. Estes defeitos na camada de passivação do *die* pode permitir que a umidade ataque o die e como consequência o componente pode degradar por contaminação iônica.

Nos documentos estudados pode-se verificar que o PEM pode operar bem fora da condições ambientais recomendadas pelo seu fabricante.

A maioria dos PEM pode funcionar além das suas condições de operação recomendadas. No entanto, é preciso ressaltar que um plano de teste para screening e qualificação, as Figuras 2 e 3 servem como referência, deve esr estabelecido para a avaliação do riscos inerentes ao componentes selecionado. Os efeitos da radiação também devem ser considerados e testes adicionais como: *total ionization dose* (TID), de *single event upset* (SEU), *latchup* para atender as exigências específicas da aplicação.

5 CONCLUSÃO

Com os dados apurados até este momento conclui-se que existe a possibilidade, dependendo o tipo de aplicação em que se deseja se utilizar um componente de encapsulamento plástico desde que uma série de precauções sejam adotadas: seleção de fabricantes e fornecedores, *screening* e qualificação do lote.

A primeira opção deve ser sempre pelos componentes formalmente qualificados para aplicação espacial, sendo que os demais devem ser selecionados apenas pela ausência de um componente de encapsulamento cerâmico ou metálico, que atenda aos requisitos técnicos do projeto. A decisão jamais deve ser baseada em custos, posto que o processo de *screening* do PEM adiciona gastos significativos ao custo do componente comercial, podendo até ser maior. Logo a decisão de incorporar PEMs em um sistema complexo de alta confiabilidade deve ser baseada em termos de técnica, qualidade, confiabilidade, prazo de entrega e custos.

REFERÊNCIAS

ACOUSTECH – Analytical Service Laboratory, (2011). Disponível em: <http://www.acoustech-inc.com/pdfs/Acoustic%20Microimaging.pdf>. Acesso em: 24 de setembro de 2014.

Association Connecting Electronics Industries - IPC/ JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL - JEDEC. Highly Accelerated Temperature And Humidity Stress Test (HAST). Arlington, VA, EUA, 2009. 8p. Disponível em: <http://www.jedec.org/sites/default/files/docs/22A110D.pdf >. Acesso em: 22 nov. 2010.

Association Connecting Electronics Industries - IPC/ JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL - JEDEC. Moisture/reflow sensitivity classification for nonhermetic solid state surface mount devices. Arlington, VA, EUA, 2008. 14 p. Disponível em: <http:// www.jedec.org/standards-documents/docs/j-std-020d1>. Acesso em: 25 set. 2014.

HEIDECKER, Jason. NAND flash screening and qualification guideline for space application. Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, CA, EUA. 2012. 19p. Disponível em: < http://trs-new.jpl.nasa.gov/dspace/bitstream/2014/41965/1/JPL%20Pub%2012-1.pdf>. Acesso em: 02.set.2014.

HONG, Xiao; LAI, Ping. The popcorn effect of lead and lead-free mixed assembly process in high density plastic packages. In: Advanced Packaging Materials (APM), 2011 International Symposium on. IEEE, 2011. p. 176-179.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL - JEDEC. JESD22-A118A Accelerated moisture resistance - Unbiased HAST. Arlington, VA, EUA, 2011. 6p. Disponível em: <http://www.jedec.org/sites/default/files/docs/22A118A.pdf>. Acesso em: 25 set. 2014.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL - JEDEC. JESD22-A113F

Preconditioning of Nonhermetic Surface Mount Devices Prior to Reliability Testing. Arlington, VA, EUA, 2008. 8p. Disponível em: <http://www.jedec.org/sites/default/files/docs/22a113f.pdf>. Acesso em: 25 set. 2014.

KITANO, Makoto et al. Analysis of package cracking during reflow soldering process. In: Reliability Physics Symposium 1988. 26th Annual Proceedings., International. IEEE, 1988. p. 90-95.

LILANI, Sultan A.. Chalanges of PEM (Plastic Encapsulated Microcircuit). 5th Annual NASA Electronic Parts And Packaging (NEPP) Program Electronic Technology Workshop (ETW), 2014, Greenbelt, MD, EUA. 2014. Disponível em: <http://nepp.nasa.gov/workshops/eeesmallmissions/talks/10%20-%20WED

PECHT, Michael G.; AGARWAL, Rakesh; QUEARRY, Dan. Plastic packaged microcircuits: Quality, reliability, and cost issues. Reliability, IEEE Transactions on, v. 42, n. 4, p. 513-517, 1993.

TEVEROVSKY, Alexander et al. PEM-INST-001: Instructions for Plastic Encapsulated Microcircuit (PEM) Selection, Screening, and Qualification. NASA/TP, 2003.

YANG, Shaohua; NING, Tao. Up-Screening and Qualification of Plastic Encapsulated Microcircuits in High Reliability Applications. Em: Electronic Packaging Technology (ICEPT), 2013 14th International Conference on. IEEE, 2013. p. 1122-1125.