

IDENTIFICAÇÃO DE DEFEITOS NA JUNTA SOLDADA DE COMPONENTES SMT POR MEIO DO ENSAIO CROSS-SECTION

Lays de Andrade Alencar^{1*}, José Costa de Macêdo Neto^{1**},

¹Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade do Estado do Amazonas - Escola Superior de Tecnologia, Manaus, Amazonas, Brasil. E-mail: lidaa.emt19@uea.edu.br

RESUMO. O ensaio de Cross-Section desempenha um papel crucial na análise de defeitos em componentes eletrônicos SMT, estando intrinsecamente vinculado aos padrões de qualidade que esses componentes devem atender. Neste trabalho, buscou-se avaliar, por meio de uma amostra de dez seções entre capacitores da junta soldada, a presença de defeitos. Foram realizados o ensaio de Cross-Section, empregando macroscópica, microscopia e raio-x, para identificar tais imperfeições e o ensaio de nanoindentação para analisar propriedades mecânicas. Como resultado, na seção 1 da junta, identificou-se a presença de dois vazios que juntos ocupam mais de 30% da área total da junta, sendo caracterizado como um defeito pela norma IPC-A-610. Além disso, observou-se pelo ensaio de nanoindentação, uma redução de aproximadamente 30% no módulo de elasticidade e 10% na dureza Vickers em juntas com vazios em comparação com as juntas sem vazios.

Palavras-chave: Cross-Section; SMT; vazios; junta soldada.

ABSTRACT. The Cross-Section test plays a crucial role in the analysis of defects in SMT electronic components, being intrinsically linked to the quality standards that these components must meet. In this work, we sought to evaluate, through a sample of ten sections between capacitors of the welded joint, the presence of defects. The Cross-Section test was carried out, using macroscopic, microscopy and x-ray, to identify such imperfections and the nanoindentation test to analyze mechanical properties. As a result, in section 1 of the joint, the presence of two voids was identified, which together occupy more than 30% of the total area of the joint, being characterized as a defect by the IPC-A-610 standard. Furthermore, the nanoindentation test showed a reduction of approximately 30% in the modulus of elasticity and 10% in Vickers hardness in joints with voids compared to joints without voids.

Keywords: Cross-Section; SMT; Voids; welded joint.

Introdução

Na década de 1950, foi iniciada a produção em escala comercial de um componente eletrônico descoberto poucos anos antes, o transistor. Construído em material semicondutor, o transistor revolucionou a eletrônica por permitir a realização de funções como a amplificação de sinais, anteriormente só realizada por válvulas. O campo da eletrônica

dedicado ao estudo e à fabricação de componentes miniaturizados, pois que as escalas de produção dos componentes semicondutores são micrométricas ou nanométricas, recebeu a denominação de microeletrônica. (MELO et al., 2001). A microeletrônica ajudou a impulsionar o desenvolvimento da tecnologia e moldar o

mundo como o conhecemos hoje. (CARLOS, 2023).

A microeletrônica tem crescido no mercado cerca de 16% anuais em média durante as suas 4 décadas de vida. Este alto crescimento, inigualável em qualquer outra área econômica, fez com que a eletrônica se tronasse hoje o maior mercado mundial, de valor total anual de aproximadamente 1 trilhão de dólares (maior que o da automobilística e de petróleo por exemplo) uma nova revolução na história humana, alterando profundamente todas as atividades humanas. (SWART, 2016). A relevância da microeletrônica de acordo com cada segmento varia desde 4% dos equipamentos eletrônicos em uso militar até mais de 30% em computação, em que Cis como microprocessadores, memória e outros são parte fundamental da performance e do custo final do equipamento (RIVERA et al., 2015).

A primeira fábrica de microeletrônica no Brasil data de 1975, uma unidade de montagem e testes de circuitos integrados da Philco. No entanto, somente nos anos 1980 o setor ganhou força, com técnicos do então Centro de Pesquisas e Desenvolvimento da Telebras (CPqD), enviados para os EUA para treinamento e desenvolvimento dos primeiros circuitos integrados projetados pelo Brasil, como processadores para telex, repetidores Pulse Code Modulation (PCM) e de comutação (GUTIERREZ et al., 2015).

Os métodos atuais de fabricação de montagens eletrônicas alcançaram

essencialmente seus limites em custo, peso, volume e confiabilidade. A tecnologia de montagem em superfície (SMT) torna possível produzir dispositivos mais confiáveis com peso, volume e custo reduzidos (PRASAD, 1997). Em contraste com a tecnologia antecedente de Through-Hole Technology - THT, que envolvia a inserção de componentes eletrônicos através de furos perfurados na placa, a SMT permite que os componentes sejam montados diretamente na superfície da placa de circuito impresso. (GOUVEA, 2023).

Para Marques-Costa (2016), por ser um processo difícil de identificação e prevenção de falhas no processo de soldagem de componentes eletrônicos, muitas empresas ignoram níveis de qualidade no processo de soldagem de componentes.

Durante o processo de montagem e soldagem de componentes SMT em placas de circuito impresso, diversos fatores podem ocasionar defeitos na junta soldada dos componentes eletrônicos. Os fatores que podem influenciar na qualidade da junta soldada são as ligas metálicas da solda, projeto da placa e dos componentes, interface solda-substrato, processos e condições de serviço (WONG et al., 1998).

O Cross-Section desempenha um papel central na análise de falhas na indústria de semicondutores. Em muitos casos, as informações derivadas do Cross Section são adequadas para determinar a causa raiz que levou à falha. (ODEGARD, 2001). É uma

análise microestrutural dos componentes, depois do componente eletrônico passar por todo o processo de preparação ele vai ser analisado microscopicamente, e detalhes como dimensões da solda, elementos químicos presentes, dimensões da camada intermetálica além da parte estrutural interna do circuito integrado é possível analisar (COSTA, 2023).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é identificar os defeitos de trincas, vazios, insuficiência de solda e determinar suas possíveis causas em componentes tecnologia de montagem em superfície (SMT) por meio do Ensaio de Cross-Section.

Materiais e Métodos

As placas com componentes eletrônicos por meio da técnica de SMT foram coletadas da Unidade Central de Processamento (CPU) descartadas no almoxarifado da Universidade do Estado do Amazonas – UEA.

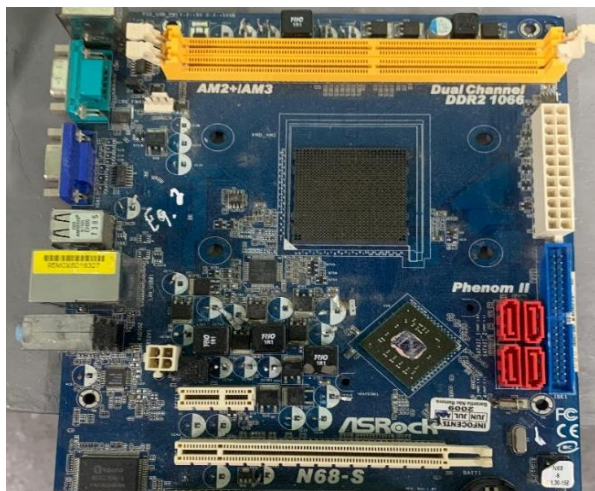


Figura 1 – Placa Mãe com componentes eletrônicos SMT.

A técnica realizada para avaliar a junta soldada da placa SMT é feita por meio do

ensaio de Cross-Section, todo o processo realizado está descrito na Figura 2.

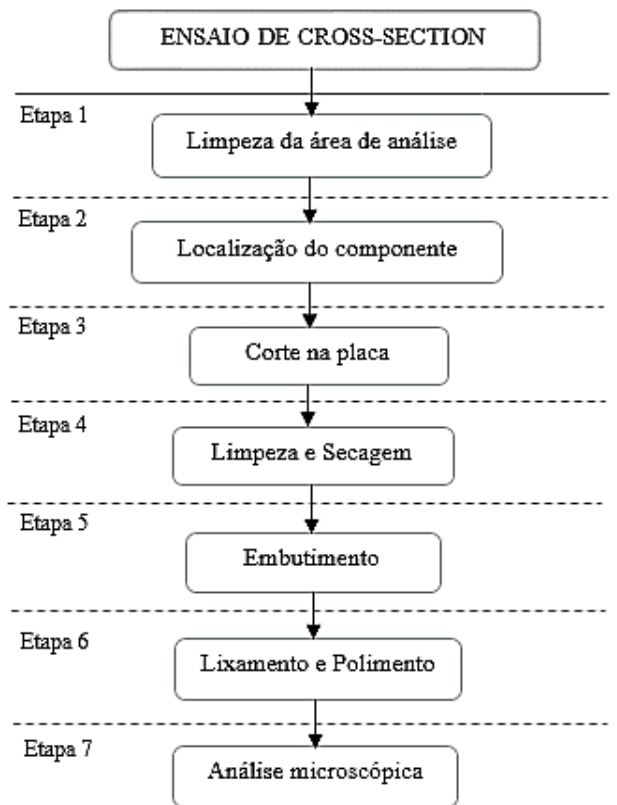


Figura 2 – Fluxograma mostrando as etapas do ensaio de Cross-Section.

No presente estudo, o ensaio foi realizado em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela norma IPC-TM-650. O Cross-Section teve início com a limpeza da área a ser analisada. A placa eletrônica foi fixada na morsa acoplada (QM16-160L, Daigo). Em seguida, uma pequena parte da amostra foi retirada e a micro retífica (130w, 230v, 50Hz, 8000–33000 rpm, DREMEL) foi utilizada.

Com a placa limpa, foi localizado e identificado o componente alvo e com um arco de serra (12”, 300mm, Heavy Duty, BOSCH), foi feito um corte na placa para separar o componente alvo (amostra) dos demais

componentes da placa. Um segundo corte preciso, manualmente executado com uma serra de precisão linear (Isomet 4000, Buehler), foi essencial para ajustar a placa às dimensões específicas do molde (silicone, 4mm de diâmetro).

O componente alvo passou por limpeza, utilizando lavagem com um equipamento de ultrassom (CBU – 100/3 LDG, PLANA), com um fluido apropriado para limpeza de placas e circuitos eletrônicos. A secagem foi efetuada por meio de um jato de ar, seguido por secagem na estufa a vácuo (SL 104, Solab), mantendo a temperatura a 50°C.

O embutimento a frio foi gerado pela combinação da resina epóxi (1504, EPOXIGLASS) e do endurecedor (1.655, EPOCURE), com a balança de precisão (ACCULAB, LA-200) para assegurar as quantidades adequadas. Um desmoldante em spray foi aplicado no molde de silicone. Posteriormente, a amostra embutida foi lixada e polida utilizando o equipamento de lixadeira e politriz (PFL, 125 a 600 rpm, Fortel). O resultado da amostra embutida está apresentado na Figura 3.

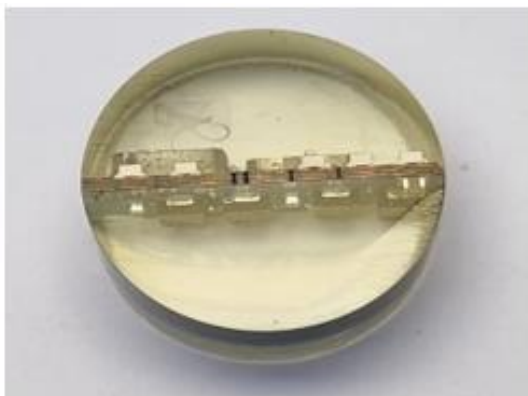


Figura 3 – Resultado da amostra embutida

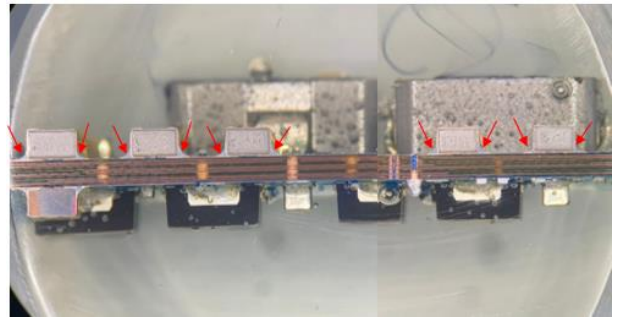


Figura 4 – Macrografia da superfície da junta. Setas indicam as seções entre capacitores que serão analisadas.

As análises das possíveis falhas foram conduzidas por meio de observação macroscópica com um microscópio estereoscópico (Kontrol, com câmera, software de medição, FORTEL), microscópica (Microscópio UIS2, OLYMPUS) e Raio-X com Tomografia Computadorizada (NIKON XT V 160).

O ensaio nanoindentação instrumentado na amostra foi realizada através do nanodurômetro (HM2000, FISCHERSCOPE).

Resultados e Discussão

A partir do embutimento da amostra foi feito uma análise de falhas na junta soldada entre capacitores. A confiabilidade das juntas soldadas depende da qualidade da pasta, que depende ainda do ambiente de armazenamento manuseio (Huang et al., 2011; Rahman et al., 2014).

Os resultados obtidos foram comparados com os padrões definidos na Norma IPC-A-610 (2010) que menciona a aceitabilidade de componentes eletrônicos. A medição e o cálculo dos parâmetros do material

no ensaio de indentação instrumentado são estabelecidos pela Norma DIN EN ISO 14577 (2015) e ASTM E 2546 (2015).

Inspeção Macroscópica

A etapa inicial da análise consiste em uma inspeção macroscópica para avaliar a condição da amostra, determinando se o polimento inicial é suficiente ou se é preciso realizar ajustes. No caso do corpo de prova examinado, após confirmar sua adequação, foi prontamente observada a presença de vazios (voids) na junta soldada. Posteriormente, uma verificação mais detalhada é conduzida por meio de um microscópio.

Segundo o IPC-A-610, os vazios (voids) de solda em placas de PCI são definidos como um defeito quando a área cumulativa projetada pelo vazio seja superior a 30% de ocupação

Uma soldagem inadequada compromete a confiabilidade do componente, podendo resultar em uma conexão fraca, falha no circuito e impactos no desempenho geral da placa.

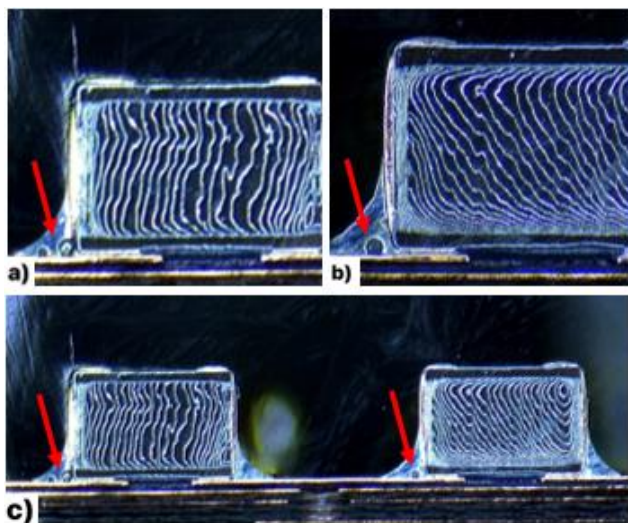


Figura 5 – Macrografia da superfície da junta soldada entre capacitores. As setas indicam a presença de vazios. a) Apresenta dois vazios, b) apresenta um vazio, c) apresenta os capacitores da imagem a e b.

Inspeção Microscópica

Os resultados obtidos na inspeção microscopia evidenciou a presença de vazios e trincas na amostra. Os vazios em juntas soldadas geralmente não geram preocupação agravante de confiabilidade, a menos que níveis atípicos e excessivos de vazios sejam identificados na placa. A produção em massa, como é necessária na indústria eletrônica, no entanto, pode resultar em algumas montagens com níveis elevados de vazios ou trincas.

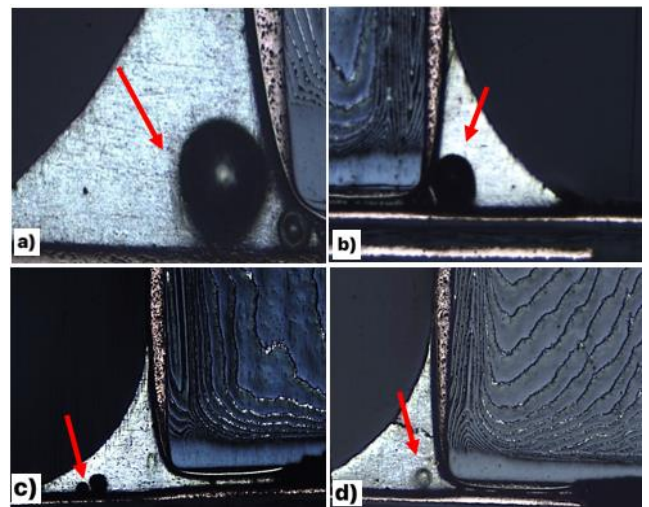


Figura 6 – Micrografia da superfície da junta soldada entre capacitores. As setas indicam a presença de vazios. a) Apresenta dois vazios, b) apresenta um vazio, c) apresenta dois vazios, d) apresenta um vazio. Aumento de 100X.

O vazio de solda é definido como um buraco ou volume fechado de espaço dentro da

junta de solda sem material de solda. Este espaço pode ser composto por uma combinação de gás, resíduos sólidos e materiais não metálicos líquidos ou possivelmente vácuo (LEWIS et al., 2012).

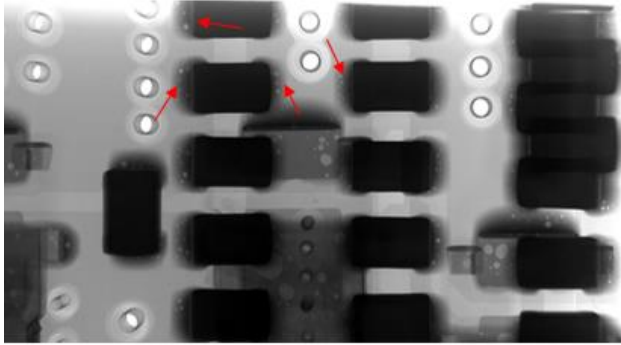


Figura 7 - Vazios visualizados de uma perspectiva superior, com a análise não destrutiva de Raio-X.

Os vazios podem ter origens diferentes, mas a maioria dos vazios macroscópicos visíveis na análise de raios X é causada pela evaporação dos ingredientes do fluxo de solda ou pela degradação térmica dos constituintes do fluxo durante o processo de refluxo. Durante a fase de resfriamento no processo de refluxo, quando a liga de solda se solidifica, a maioria dessas espécies gasosas se condensa e cobre as superfícies internas de um vazio como um filme orgânico (HOLLE et al., 2016).

Conforme Mokhtari (2019), uma das razões para a formação de vazios é devido à contração de volume durante a reação química. Isso acontece porque a formação de uma nova camada de ligação pode resultar em uma estrutura mais compacta e, em condições confinadas, pode levar a tensões de tração na junta. Se essas tensões ultrapassarem o limite de

deformação plástica, podem surgir vazios e trincas como uma forma de aliviar o estresse.

Na configuração específica da placa estudada, a solda utilizada é a SAC305, uma liga isenta de chumbo composta por 96,5% de estanho (Sn), 3% de prata (Ag) e 0,5% de cobre (Cu). Um aspecto crucial, destacado na análise de Bosco e Zok (2004), é que a falta adequada de estanho (Sn) é determinante para a formação de vazios.

Em um total de dez seções analisadas da amostra, cinco apresentaram vazios na junta soldada. Para avaliar se o vazio presente na amostra é significativo, seguindo a Norma IPC-A-610, com um microscópio devidamente calibrado foi realizado as medições em micrômetros na região da junta. Adicionalmente, foram efetuadas medições dos vazios para determinar se podem ser classificados como defeitos.

Na análise, foram consideradas dez seções distintas da junta entre os capacitores da placa, foram identificados vazios em cinco seções, apenas uma apresentou resultado significativo, os valores encontrados foram catalogados nas Figura 6.

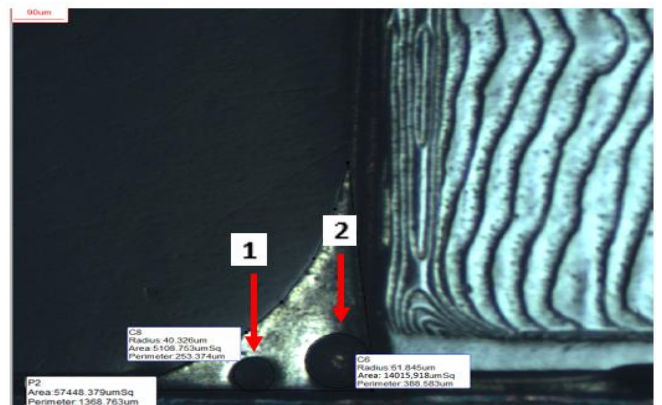


Figura 6 – Medições da área da junta e dos vazios 1 e 2.

Na figura 6, a área do vazio 1 equivale a $5.108,735\mu\text{m}$ e a área do vazio 2 equivale a $14.015,918\mu\text{m}$ a soma dos valores de vazio 1 e vazio 2 resulta em $19.124,653\mu\text{m}$. Essa soma, em relação à área da junta que mede $57.448,379\mu\text{m}$, equivale a cerca de 33,29015% obtida pela razão entre a somatória dos vazios e o valor da área, multiplicada por 100. Esse valor é significativo.

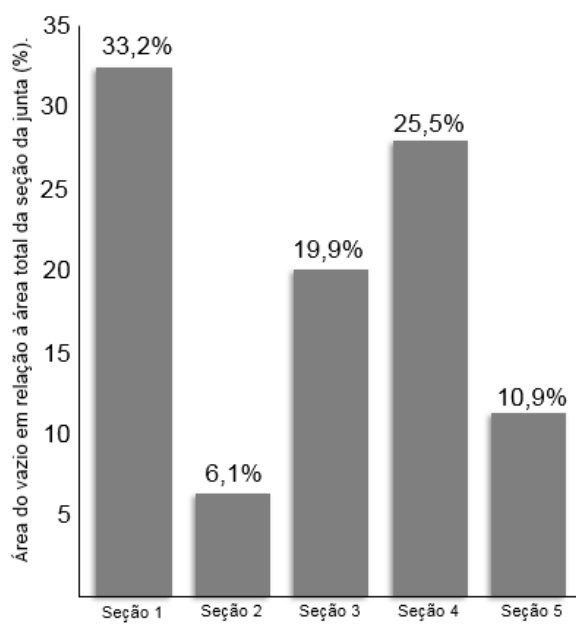


Figura 7 – Gráfico de barras representando a área de vazio em relação à área total de cada seção da junta soldada.

Nanoindentação

Para verificar se as propriedades mecânicas da amostra foram afetadas foi realizado a Nanodureza. A técnica de Nanoindentação é utilizada para medir propriedades mecânicas de materiais em escala nanométrica, aplicando uma força controlada e medindo a profundidade resultante da endentação. No ensaio de nanoindentação, em

conformidade com ASTM E 2546, foi utilizado o penetrador Vickers na junta soldada entre capacitores, com a carga de 300.000mN por 20 segundos, foram realizadas 5 medições. A nanoindentação foi realizada 3 seções da junta sem vazio e 2 seções da junta com vazio. Os resultados obtidos mostram a média dos valores encontrados. A Figura 8 exibe o resultado do ensaio.

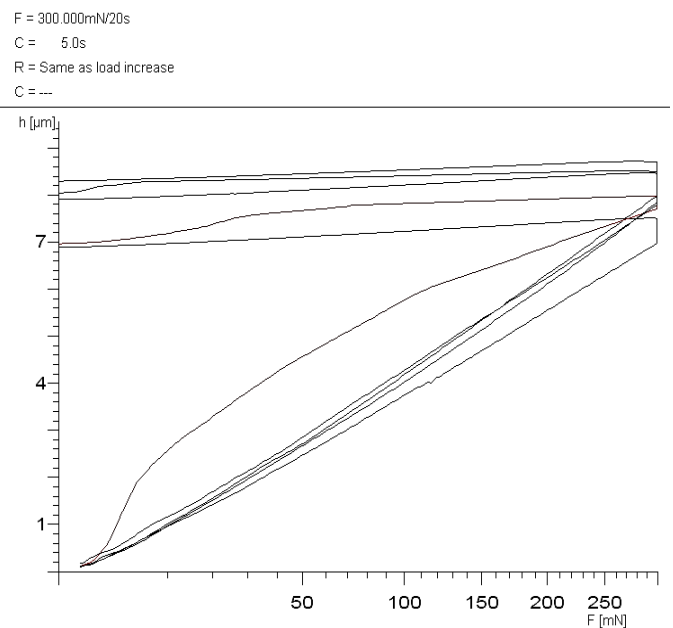


Figura 8 – Gráfico do Ensaio de Nanoindentação obtido pelo equipamento.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas da junta soldada avaliada no ensaio.

Amostra	Módulo de Young (GPa)	HV
Junta com vazio	16,8	$18,2 \pm 1,7$
Junta sem vazio	26,7	$16,2 \pm 1,1$
Padrão de Referência	26,3	$15,5 \pm 1,8$

Esse ensaio permite de avaliar propriedades mecânicas em áreas específicas de um material, proporcionando informações

detalhadas sobre heterogeneidades e é ideal para amostras pequenas ou regiões específicas de uma amostra maior, minimizando o desperdício de material. A medida de nanodureza está ligada à resistência de um material a deformações em escala nanométrica, após a aplicação de uma carga.

Dureza Vickers

A dureza Vickers é uma ferramenta crucial na análise da capacidade de um material em resistir a uma carga específica. Este método envolve um sistema composto por um mecanismo de aplicação de força, um penetrador de diamante em forma de pirâmide de base quadrada e um microscópio de alta ampliação com micrômetro integrado.

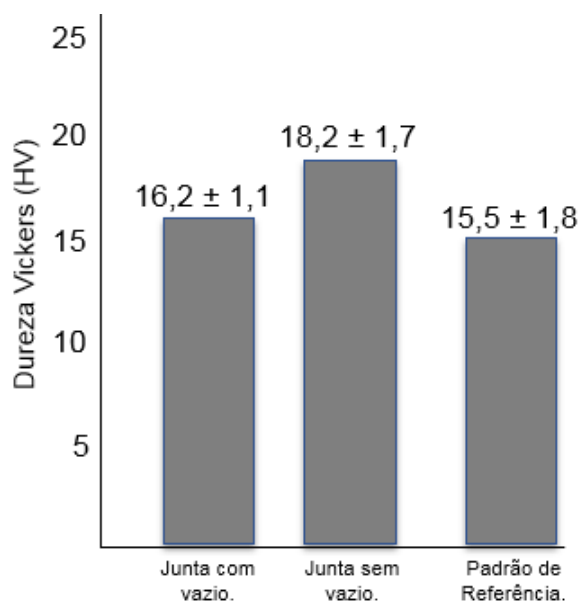


Figura 9 – Gráfico de barras representando a Dureza Vickers das juntas soldadas após o ensaio de nanoindentação.

Conforme a análise conduzida por Yahaya et al. (2017), o ensaio de

nanoindentação revelou que a dureza Vickers na junta da SAC 305, sem vazios, atinge 15,5 HV. Neste estudo, a média dos valores nas seções da junta soldada, tanto sem vazios quanto com vazios, permaneceu em torno desse valor. Entretanto, ao considerar a margem de erro calculada, observou-se uma redução na dureza Vickers na junta soldada com vazios.

Módulo de Young

Conforme apontado por Callister (2008), o módulo de Young (elasticidade) é a rigidez ou a resistência do material à deformação elástica. Quanto maior for este módulo mais rígido será o material e menor será a deformação elástica resultante de uma tensão.

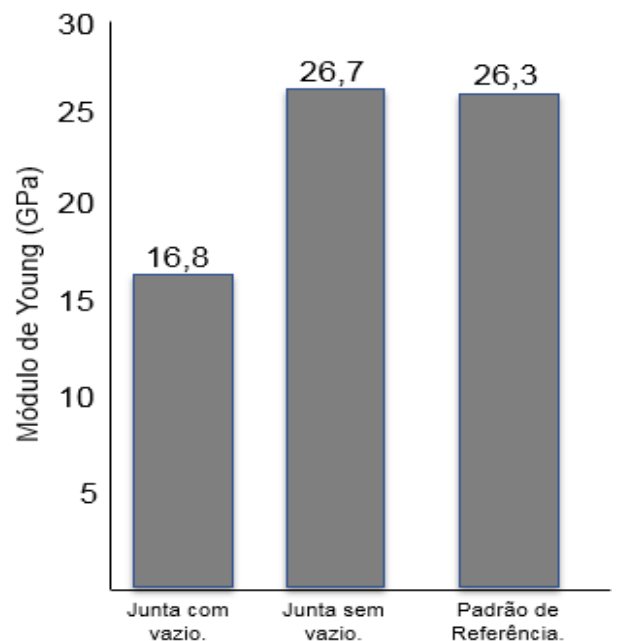


Figura 10 – Gráfico de barras representando o Módulo de Young das juntas soldadas após o ensaio de nanoindentação.

Na análise de Song et al. (2009) o ensaio de nanoindentação indicou que o módulo de

elasticidade da junta da SAC 305 sem vazio tem o valor de 26,3 GPa. No presente estudo, a média dos valores obtidos das seções da junta soldada sem vazio manteve aproximadamente esse valor, enquanto a junta soldada com vazio apresentou uma redução, indicando que a junta com vazio suporta por menos tempo a tensão de uma carga sem deformar plasticamente.

Conclusão

A partir das análises realizadas na junta soldada da amostra, é possível extrair algumas conclusões:

A presença de vazios na junta soldada é significativo na seção 1, onde a área ocupada pelos vazios excede 30%, isto indica que esses vazios podem ser considerados como defeitos.

No módulo de elasticidade da junta com vazio, houve uma redução de aproximadamente 36% em relação ao padrão de referência de uma junta sem vazio. Isto indica a presença de uma fragilidade maior, quanto menor o módulo de elasticidade, menor é a capacidade de um material retornar ao estado padrão após ação de uma carga.

A dureza Vickers na junta, tanto com vazio quanto sem vazio, permaneceu próxima ao padrão de referência. Ao comparar as duas condições obtidas pelo ensaio, observou-se uma redução de aproximadamente 10% na junta com vazio em relação à junta sem vazio. Isso sugere que uma menor dureza na junta com vazio indica uma menor capacidade de resistir

à tensão de uma carga aplicada pelo indentador do ensaio no material.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, ao meu pai, que já se foi, mas permanece como minha maior inspiração. A minha mãe, minha família, meu namorado e meus amigos pelo apoio e paciência nesta caminhada. E a todos os professores, com destaque para o Professor Costa, que foi meu orientador.

Referências

- IPC - Association Connecting Electronics Industries. **IPC-A-610**: Acceptability of Electronic Assemblies.
- IPC - Association Connecting Electronics Industries. **IPC-TM-650**: Test Methods Manual.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. **ASTM E 2546**: Standard Practice for Instrumented Indentation Testing.
- STRAUSS, R. **SMT Soldering Handbook**. Oxford: Oxford, 1998.
- JONH LAU, C. P WONG, JONH L. PRINCE, W. N. **Electronic packaging: dising, materials, process and reliability**. 1th. ed. New York: McGraw-Hill, 1998.
- MARQUES-COSTA, R. et al. **Analysis of the quality of the welding process in the exchange of component of BGA technology**. Revista Facultad de Ingenieria, v. 2016, n. 78, p. 55–61, 2016.
- PRASAD, R. Y. **Surface Mount Technology: Principles and practice**. 2nd. ed. Massachusetts: Eletronic Services, 1997.
- ROSA, D. G. et al. **Analysis of ball soldering parameters on the properties of a BGA packaged**

semiconductor. Materials Research, v. 20, p. 858-862, 2017.

Lead-free Electronics, 2004 Edition, Sanka Ganesan; Michael Pecht, Calce Press.

BOSCO, FW Zok, **Critical interlayer thickness for transient liquid phase bonding in the Cu–Sn system**, Acta Mater. 52 (2004)

MOKHTARI, O. **A review: Formation of voids in solder joint during the transient liquid phase bonding process - Causes and solutions.** Microelectronics Reliability, v. 98, p. 95–105, jul. 2019.

YAHAYA, M. Z., **Hardness testing of lead-free solders: A review.** Soldering and Surface Mount Technology 29(4):00-00, July 2017.

LIN, L.-W. et al. **Alloying modification of Sn–Ag–Cu solders by manganese and titanium.** Microelectronics Reliability, v. 49, n. 3, p. 235–241, mar. 2009.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia dos materiais: Uma introdução.** [S.I.]. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 2008.

GUTIERREZ, Regina Maria Vinhais; MENDES, Lilian Ribeiro. **Complexo eletrônico: o projeto em microeletrônica no Brasil.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 30, p. 157-209, set. 2009.

Evolução de Microeletrônica a Micro-Sistemas, UNICAMP. Disponível em: <https://www.ccs.unicamp.br/cursos/ee941/download/cap01.pdf> Acesso: 28 de jul. de 2023.

História dos semicondutores, UNICAMP. Disponível em: https://sites.ifi.unicamp.br/brum/files/2014/01/FL_JAB_1s2012_P1_Ch2_Historia.pdf. Acesso: 28 de jul. 2023.

THEVES, Nelson. **A importância da validação para a qualidade de produtos eletroeletrônicos.**

Disponível em: <https://www.altus.com.br/post/262/a-importancia-da-validacao-para-a-qualidade-de-produtos-eletronicos>. Acesso em: 07 de ago. de 2023.

GOUVEA, Marcelo. **O que são normas IPC?** Disponível em: <https://produza.ind.br/tecnologia/o-que-sao-normas-ipc/> Acesso em: 07 de ago. de 2023.

PRASAD, Ray. **Voids in Ball Grid Array, BGA in SMT Assemblies: SMT Article.** Disponível em: <https://www.rayprasad.com/voids-in-bgas-in-smt-assemblies-smt-article>>. Acesso em: 27 de dez. 2023.

What does the term voiding mean? Disponível em: <https://www.surfacemountprocess.com/what-does-the-term-voiding-mean.html>>. Acesso em: 27 de dez. 2023.

MCL. **Voids in Solder Joints | Prevent Voids in Solder Joints.** Disponível em: <https://www.mclpcb.com/blog/solder-joint/>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

GOUVEA, M. **Conheça as etapas para a fabricação em SMT.** Disponível em: <https://produza.ind.br/tecnologia/fabricacao-em-smt/amp/>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

Teste automatizado de nanoindentação - FISCHERSCOPE HM2000. Disponível em: <https://www.helmut-fischer.com/pt/produtos/fischerscope-hm2000>>. Acesso em: 18 jan. 2024.

Dureza Vickers (HV): saiba o que é e como funciona. Disponível em: <https://www.sulcromo.com.br/blog/dureza-vickers-hv-saiba-o-que-e-e-como-funciona/>>. Acesso em: 4 fev. 2024.