

Levantamento E Análise Das Alterações Do Manual MIL HDBK 217 F E Suas Notes Para A Melhoria Dos Processos De Confiabilidade

Roberta de Cássia Ferreira Porto; Marcelo Lopes de Oliveira e Souza
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

RESUMO

Cada vez mais, as organizações estão a desenvolver sistemas de alta complexidade, cujos serviços necessitam de grande confiança para atender a um conjunto de especificações que são cada vez mais exigentes como controlar um satélite, um avião, etc. Para atender a essas novas necessidades e expectativas, progressivamente vem crescendo a necessidade de prever falhas nos componentes utilizados. Essas falhas são previstas e analisadas com auxílio de um fator que mensura a probabilidade de suas ocorrências no componente: a confiabilidade. Esta é definida como a probabilidade de um componente desempenhar a função desejada, sem falhas, por um período de tempo determinado e em condições preestabelecidas. Condições como complexidade e a alta integração dos sistemas evidenciam a necessidade de se obter altos níveis de confiabilidade. Para atingir tais índices existe uma diversidade de abordagens e processos, e é necessário que os processos de análises e tomadas de decisões sejam melhorados progressivamente, utilizando-se as experiências acumuladas em várias abordagens e comunidades tecnológicas para propor possíveis modificações nos processos locais. Essas experiências se refletem na proposição e aperfeiçoamento das várias Séries de Manuais/Normas de Confiabilidade por várias abordagens e comunidades tecnológicas. Este trabalho apresenta uma análise e levantamento das alterações do manual MIL HDBK 217 F e suas notes objetivando analisar os possíveis impactos dessas mudanças. Para isto este trabalho: 1) Resume os métodos, ferramentas, etc., aplicáveis do manual MIL-HDBK-217NF2; 2) Faz o levantamento de todas as mudanças entre a versão F e suas notes; 3) Classifica as alterações de forma qualitativa, com base no impacto final na taxa de falha do componente e quanto aos tipos de alterações (alterações na modelagem para a taxa de falha; modificações e/ou inclusões de fatores, condições ou componentes; etc.). Este trabalho resultou em uma análise que destaca os componentes mais afetados pelas mudanças da versão F, recomendações sobre o uso da versão e notes analisadas do manual MIL-HDBK-217 para os programas de satélites brasileiros e algumas sugestões/medidas para melhorias de estimativas de confiabilidade de equipamentos eletrônicos espaciais.

OBJETIVOS DO TRABALHO

Os Padrões e Manuais de Confiabilidade utilizados cumprem um papel fundamental para estabelecimento dos processos de engenharia de sistemas para o ciclo de vida do produto e crescente aperfeiçoamento, como na Série MIL-HDBK 217 que vem sofrendo vários aperfeiçoamentos através das várias versões: A, B, C, D, E, F, F Notice 1 e F Notice 2. Com base em levantamento bibliográfico e nos manuais da série MIL-HDBK-217, este trabalho pretende mostrar um levantamento e análise das alterações do manual MIL HDBK 217 F e suas notes para a melhoria dos processos de confiabilidade. O objetivo deste trabalho é descrever estas alterações, as mudanças ocorridas entre as atualizações e mostrar alguns dos impactos destas alterações.

APRESENTAÇÃO DO MANUAL MIL HDBK 217

O manual MIL-HDBK-217 tem como base uma coletânea de dados reais de desempenho em campo para equipamentos eletrônicos e fornece um apoio comum de comparação e avaliação das previsões de confiabilidade durante os programas de aquisição de sistemas eletrônicos e equipamentos militares. Este manual é uma ferramenta para aumentar a confiabilidade de um equipamento que está em fase inicial de projeto e é fundamentado na distribuição exponencial.

De acordo com Felix (2006), a MIL HDBK 217 propõem uma predição de confiabilidade para componentes eletrônicos sem a necessidade do uso de análises experimentais, baseando-se na definição dos componentes e do fluxo de informação entre eles durante a operação do sistema.

O manual MIL HDBK-217 foi publicado inicialmente em 1965 e, foi revisado, atualmente está na

versão F N2 (A, B, C, D, E, F, FN1 e FN2), atualizações que garantem progressivas melhoras da Série MIL-HDBK-217. Embora contemple uma base de dados que não acompanha a evolução tecnológica, ainda é o mais utilizado.

O manual MIL-HDBK-217 fornece dois métodos de predição de confiabilidade: um chamado **Contagem de Partes (“Parts Count”)** e outro denominado de **Análise de Esforços ou Estresse de Componentes (“Parts Stress”)**.

O Método de **Contagem de Partes** é uma abordagem mais simples para usar durante a fase inicial do projeto, quando não foram definidos todos os componentes. Esta técnica assume níveis médios de solicitações (exigência de carga) como um meio de proporcionar uma estimativa inicial das taxas de falhas. Este método exige um número menor de informações a serem inseridas, por exemplo, qualidade, quantidade, ambiente, pois supõe condições normais de funcionamento. O método utiliza a somatória das taxas de falhas e considera o sistema em série. A taxa de falhas sob as condições de referência pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$\lambda_{p,i} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_{ref} \cdot \pi_Q)_i \quad (1)$$

Onde:

$\lambda_{p,i} \rightarrow \lambda$ predito. Estimativa da Taxa básica de Falhas total do equipamento;

$b \rightarrow$ Se refere a básico;

$\lambda_{ref} \rightarrow$ Taxa de Falhas nas condições de referência para cada tipo de componente;

$i \rightarrow$ Número de falhas;

$N_i \rightarrow$ Quantidade de partes;

$\pi_Q \rightarrow$ Fator de qualidade por categoria.

Para as partes que não podem operar nas condições de referência, quando operadas pelas condições reais resultarão em taxas de falhas ou insucessos que não condizem com os valores encontrados pelo Método de Contagem de Partes, sendo necessária uma análise mais específica para evitar a degradação da confiabilidade do sistema. Para esses casos, o método requer uma análise mais complexa, optando-se pela Análise de Esforços ou Estresse.

O método **Análise de Esforços**, de acordo com McLeish (2010), reconhece quatorze (14) diferentes condições generalizadas de ambientes de stress. Este é mais complexo e requer informações detalhadas sobre condições de temperatura e esforços elétricos, ressalta aplicações e fatores ambientais. Este método é usado normalmente quando os circuitos e os hardwares vigentes estão sendo projetados, não devem ser utilizados para uma predição até que o programa tenha amadurecido, de tal forma que esses estresses possam ser quantificados pelo uso de ferramentas de simulação. Essa metodologia se baseia na combinação lógica das taxas de falhas de cada componente do sistema.

O procedimento para calcular o nível da taxa de falhas para o sistema, usando **Análise de Esforços**, é a soma das taxas de falhas de cada componente calculadas em condições específicas. De forma genérica a modelagem matemática usada no manual MIL HDBK 217 para cada componente é uma multiplicação. Esta multiplicação consiste em utilizar a taxa de falhas nas condições de referência e aplicar fatores de correções usuais como de qualidade, stress e ambiente. Porém, esses fatores podem variar, dependendo da sensibilidade do componente ou do ambiente de atuação. Por exemplo, o modelo da taxa de falhas de transistores de baixa frequência bipolar pode ser calculado pela HDBK 217 F da seguinte forma:

$$\lambda_{p,i} = \sum_{i=1}^n (\lambda_{ref} \cdot \pi_s \cdot \pi_T \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot \pi_A \cdot \pi_R)_i \quad (2)$$

Onde:

$\lambda_{p,i}$ - Estimativa da Taxa básica de Falhas total do equipamento;

λ_{ref} - Taxa de Falhas nas condições de referência para cada tipo de componente, neste caso é um transistor de baixa frequência bipolar, λ_{ref} é tabelada de acordo com o tipo de transistor NPN ou PNP;

π_s - Fator de Solicitação (Consistência de Stress e estresse), esse fator em função das tensões;

π_T - Fator de Temperatura, esse fator é em função da temperatura de junção;

π_E - Fator Ambiental, tabelada de acordo com a severidade de ambiente;

π_Q - Fator de Qualidade, tabelada de acordo com o nível de qualidade especificada;

π_A - Fator de Ajuste ou aplicação, também tabelada de acordo com a aplicação do transistor;

π_R - Fator de Potência, esse fator é em função da potência.

Segundo McLeish (2010), esses dois métodos são utilizados para estimar a vida de equipamentos eletrônicos em termos de Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), que utiliza o inverso da taxa de falhas λ .

Apresentação da versão HDBK 217 F

A versão HDBK-217F é a revisão da versão E. Foi elaborada e lançada em 2 de Dezembro de 1991 pelo RAC (*Reliability Analysis Center*). Nesta versão um novo modelo de predição de confiabilidade é providenciado para as nove principais classes de microcircuitos, as alterações são baseadas nos estudos concluídos. As nove classes de microcircuitos são:

- *Monolithic Bipolar Digital e Linear Gate/Logic Array Devices*
- *Monolithic MOS Digital e Linear Gate/Logic Array Devices*
- *Monolithic Bipolar e MOS Digital Microprocessador Devices*
- *Monolithic Bipolar e MOS Memory Devices*
- *Monolithic GaAs Digital Devices*
- *Monolithic GaAs MMIC Devices*
- *Hybrid Microcircuits*
- *Magnetic Bubble Memories*
- *Surface Acoustic Wave Devices*

De acordo com MIL-HDBK-217F (1991), essa revisão fornece novos modelos de predição para microcircuitos bipolar e MOS com contagem de portas superiores a 60.000, microcircuitos lineares com mais de 3.000 transistores, microprocessador bipolar e digital MOS e coprocessador até 32 bits, dispositivos de memórias com mais de um milhão de bits, circuitos micro-ondas monolíticos GAAs integrados (MMICs) com mais de 1.000 elementos ativos.

O fator C_1 foi revisado para refletir a nova tecnologia, resultando em dispositivos com melhor confiabilidade. A energia de ativação que representa a sensibilidade da temperatura (π_T), esse fator sofreu alterações para dispositivos MOS e memórias. O fator C_2 permanece inalterado com relação a versão anterior, mas inclui os empacotamentos “*pin grid array – PGA*” e os de montagem superficial usando o mesmo modelo, hermético, com empacotamento “*dual-in-line*” com selagem a solda. Novos valores foram incluídos para o fator de qualidade (π_Q), para o fator de aprendizagem (π_L) e o fator ambiental (π_E).

O modelo para microcircuitos híbridos foi revisado para torná-los mais simples de usar, para eliminar a dependência de temperatura de vedação, interligar as contribuições de taxas de falhas e para fornecer um método de calcular a temperatura de junção do chip.

Resumidamente podemos ressaltar para essa versão:

- Um novo modelo para circuitos integrados de alta velocidade (VHSIC/VHSIC Like) e uma integração de larga escala de dispositivos (VLSI) – (com contagem de gates superior a 60.000);
- A reformatação de todo o manual para torna-lo mais fácil de usar;
- A redução do número de fatores de meio ambiente (π_E), de 27 fatores para 14;
- Uma revisão no modelo de taxa de falhas para Resistores;
- Modelos revisados para TWTs e Klystrons baseado em dados fornecidos pela “*Electronic Industries Association Microwave Tube Division*”.

Apresentação da versão HDBK 217 F Notice 1

Esta versão foi elaborada pelo RAC (*Reliability Analysis Center*) e lançada em 10 de Julho de 1992, sete meses após a versão F, foi emitida para corrigir erros tipográficos ocorridos na versão básica, MIL HDBK 217 F. A essência dessa versão permanece a mesma da versão anterior, com algumas correções.

Apresentação da versão HDBK 217 F Notice 2

Com base em novos estudos efetuados surge HDBK 217 F Notice 2. Foi elaborada pelo RAC (*Reliability Analysis Center*) e lançada em 28 de Fevereiro de 1995, fornece as seguintes mudanças, segundo MIL HDBK 217 F Notice 2 (1995):

- Modelos de resistores e capacitores revisados, incluindo novos modelos para abordar dispositivos com chips;
- Modelos de taxa de falhas atualizados para transformadores, bobinas, motores, relés, interruptores, disjuntores, conectores, placas de circuito impresso (empregando ou não a tecnologia de montagem em superfície) e conexões.
- Um novo modelo para endereçar conexões de solda, tecnologia superfície montada.
- Uma revisão no modelo “*Traveling Wave Tube*” baseado em dados fornecidos pela “*Electronic Industries Association Microwave Tube Division*”. Isso reduz ainda mais as taxas de falhas calculadas além das modificações feitas no documento base (HDBK 217 F).
- Uma revisão em recuperação rápida de energia do retificador com taxas básicas de falhas descendentes baseadas numa reavaliação das referências.

RESULTADOS OBTIDOS

Levantamento das alterações entre as versões da família F do manual MIL-HDBK-217

As atualizações da série MIL-HDBK-217 ocorreram de forma gradativa com o objetivo de atualizar os dados de acordo com as tecnologias eletrônicas, não intencionava produzir uma nova abordagem de predição. Os modelos foram revisados e algumas das versões (notes) sofreram modificações e foram analisadas. A análise se refere às 60 seções da versão F que passaram por alterações. **A Figura 1** apresenta e classifica as alterações das 60 seções da versão F que foram classificadas em “não significativas”, “pouco significativas”, “significativas” e “muito significativas”. É claro que, não é possível classificar uma mudança sem analisar os impactos causados por ela. Esta classificação objetiva apenas dar uma visualização das mudanças de uma forma geral, podendo descrever o tipo de alteração que ocorreu na seção, mais adiante essa classificação é refinada. Para tal classificação foi utilizado um parâmetro qualitativo:

1 – mudanças não significativas – O valor 1 refere-se as mudanças entre as versões F e N1 (mudanças tipográficas) e a análise destas mudanças sugere que não causam impacto significantes na taxa final de falhas;

2 – mudanças pouco significativas – O valor 2 se refere a mudanças entre F/FN1 e FN2, mudanças mais brandas como correções de alguns valores de tabelas (alterações que não causam grandes impactos na taxa de falhas). As mudanças classificadas aqui não envolvem modelagem matemática.

3 – mudanças significativas – O valor 3 se refere a mudanças entre F/FN1 e FN2. As mudanças classificadas aqui são consideradas significativas com várias alterações de valores de tabelas e referências, mas não incluem alterações na modelagem.

4 – mudanças muito significativas – O valor 4 se refere a mudanças entre F/FN1 e FN2. Essas alterações são consideradas muito significativas, pois envolvem além de alterações de referências e valores tabelados possui mudanças na modelagem matemática da taxa de falhas. Nesta classificação estão os componentes mais afetados pelas alterações do manual.

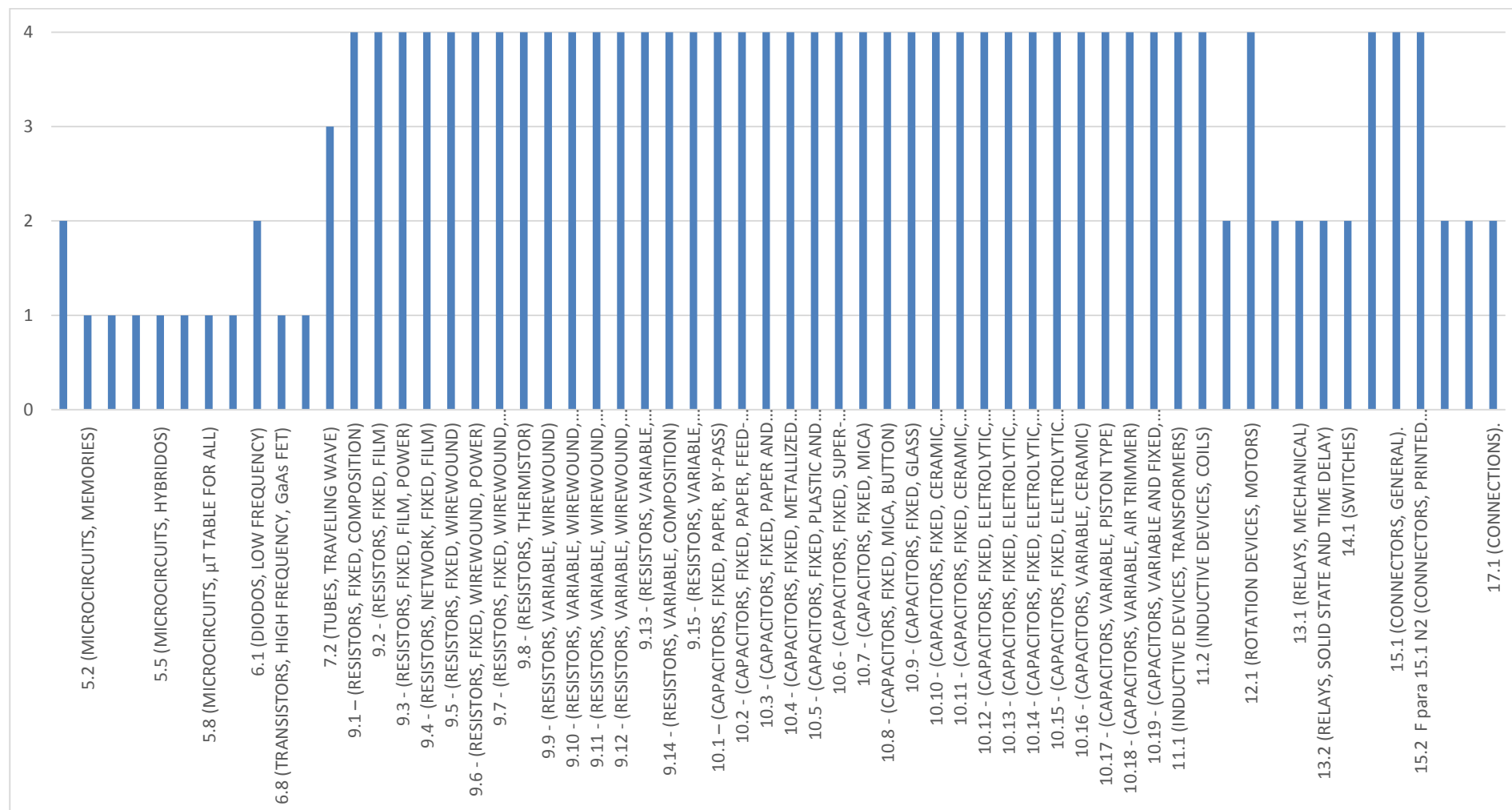


Figura 1 – Abrange as seções da versão F do manual MIL HDBK 217, que passou por ao menos uma alteração com a atualização.

Após o levantamento das alterações do manual, foi feita uma classificação das mudanças levantadas com o objetivo de resumir e visualizar o tipo de alteração que cada seção do manual MIL HDBK 217 F sofreu e, para algumas seções, o impacto causado pelas mudanças relatadas foi mencionado. A análise das mudanças abordando impactos não é apresentada por completo neste trabalho, apenas alguns exemplos, mas podem ser visualizadas em Porto (2014).

Para a realização da análise das alterações do manual, as mudanças foram classificadas em:

- A. Alteração da abrangência de componentes.
- B. Mudança de localização no documento.
- C. Inclusão de um novo componente.
- D. Alteração no fator ambiental.
 - a) Alterações de valores tabelados.
 - b) Inclusão de novo ambiente.
- E. Alterações de valores da taxa de falhas.
 - a) Alteração de fórmula de modelagem.
 - b) Alterações de valores tabelados para a taxa básica.
 - c) Inclusão de nova especificação / alteração na taxa básica.
- F. Alteração no nível de qualidade.
 - a) Alterações de valores tabelados.
 - b) Inclusão de novos níveis de qualidade.
- G. Alteração de fórmula de modelagem.
- H. Exclusão ou modificação de condições.

A Tabela 1 apresenta a classificação das alterações das 60 seções levantadas. parte destas alterações são comentadas a fim de facilitar ao leitor a compreensão do que foi alterado e no impacto que estas alterações podem ocasionar.

Tabela 1 – Classificação das mudanças entre as versões F, FN1 e FN2, seções 5.1 a seção 10.14.

Seções da versão F	A	B	C	D		E			F		G	H
				a	b	a	b	c	a	b		
Seção 5.1 (Microcircuits, gate/logic arrays and microprocessors);	x	x										x
Seção 5.2 (Microcircuits, memories);		x									x	x
Seção 5.3 (Microcircuits, vhsic/vhsic-like and vlsi cmos);												
Seção 5.4 (Microcircuits, gaas mmic and digital devices);		x						x				x
Seção 5.5 (Microcircuits, híbridos);		x										
Seção 5.7 (Microcircuits, magnetic bubble memories);	x											
Seção 5.8 (Microcircuits, ut table for all);		x										x
Seção 5.12 (Microcircuits, tj detrmination, (for hybrids);											x	
Seção 6.1 (Diodos, low frequency);							x					
Seção 6.8 (Transistors, high frequency, GaAs FET);				x								
Seção 7.1 (Tubes, all types except twt and magnetron);						x						
Seção 7.2 (Tubes, traveling wave);	x			x		x						
Seção 9.1 (Resistors, fixed, composition);				x		x			x	x		
Seção 9.2 (Resistors, fixed, film);				x		x			x	x		
Seção 9.3 (Resistors, fixed, film, power);				x		x			x	x		
Seção 9.4 (Resistors, network, fixed, film);				x		x			x	x		
Seção 9.5 (Resistors, fixed, wirewound);				x		x			x	x		
Seção 9.6 (Resistors, fixed, wirewound, power);				x		x			x	x		
Seção 9.7 (Resistors, fixed, wirewound, power, chassis mounted);				x		x			x	x		
Seção 9.8 (Resistors, thermistor);				x		x			x	x		
Seção 9.9 (Resistors, variable, wirewound);				x		x			x	x		
Seção 9.10 (Resistors, variable, wirewound, precision);				x		x			x	x		
Seção 9.11 (Resistors, variable, wirewound, semiprecision);				x		x			x	x		
Seção 9.12 (Resistors, variable, wirewound, power);				x		x			x	x		
Seção 9.13 (Resistors, variable, nonwirewound);				x		x			x	x		
Seção 9.14 (Resistors, variable, composition);				x		x			x	x		
Seção 9.15 (Resistors, variable, nonwirewound, film and precision);				x		x			x	x		
Seção 10.1 (Capacitors, fixed, paper, by-pass);				x		x			x	x		
Seção 10.2 (Capacitors, fixed, paper, feed-through);				x		x			x	x		
Seção 10.3 (Capacitors, fixed, paper and plastic film);				x		x			x	x		
Seção 10.4 (Capacitors, fixed, metallized paper, paper-plastic and plastic);				x		x			x	x		

Seção 10.5 (Capacitors, fixed, plastic and metallized plastic);				X		X			X	X		
Seção 10.6 (Capacitors, fixed, super-metallized plastic);				X		X			X	X		
Seção 10.7 (Capacitors, fixed, mica);				X		X			X	X		
Seção 10.8 (Capacitors, fixed, mica, button);				X		X			X	X		
Seção 10.9 (Capacitors, fixed, glass);				X		X			X	X		
Seção 10.10 - (Capacitors, fixed, ceramic, general purpose);				X		X			X	X		
Seção 10.11 (Capacitors, fixed, ceramic, temperature compensating and chip);				X		X			X	X		
Seção 10.12 (Capacitors, fixed, eletrolytic, tantalum, solid);				X		X			X	X		
Seção 10.13 (Capacitors, fixed, eletrolytic, tantalum, non-solid);				X		X			X	X		
Seção 10.14 (Capacitors, fixed, eletrolytic, aluminum);				X		X			X	X		
Seção 10.15 (Capacitors, fixed, eletrolytic (dry), aluminum);				X		X			X	X		
Seção 10.16 (Capacitors, variable, ceramic);				X		X			X	X		
Seção 10.17 (Capacitors, variable, piston type);				X		X			X	X		
Seção 10.18 (Capacitors, variable, air trimmer);				X		X			X	X		
Seção 10.19 (Capacitors, variable and fixed, gas or vacuum);				X		X			X	X		
Seção 11.1 (Inductive devices, transformers);						X			X			
Seção 11.2 (Inductive devices, coils);				X		X			X	X		
Seção 11.3 (Inductive devices, determination of hot spot temperature);												X
Seção 12.1 (Rotation devices, Motors);						X	X	X				X
Seção 12.2 (Rotation devices, synchros and resolvers);	X											
Seção 13.1 (Relays, mechanical);				X		X	X	X	X	X		
Seção 13.2 (Relays, solid state and time delay);							X			X		
Seção 14.1 (Switches);						X						X
Seção 14.2 (Switches, basic sensitive (F) = Switches, Circuit Breakers (FN2));				X		X				X		
Seção 15.1 (Connectors, general),						X		X				X
Seção 15.2 F / 15.1 FN2 (Connectors, printed circuit board);				X		X		X				X
Seção 16.1 (Interconnection assemblies with plated through holes);								X				X
Seção 16.2 (Interconnection assemblies, surface mount technology);	Seção incorporada em FN2											
Seção 17.1 (Connections).						X	X	X				

Análise e impactos das alterações entre as versões da família F do manual MIL-HDBK-217

A seção 5.1 (“*MICROCIRCUITS, GATE/LOGIC ARRAYS AND MICROPROCESSORS*”) não sofre impacto algum para os componentes até 1000 *gates*, a alteração afeta os componentes de 1001 a 2000 *gates*, não existe classificação de valores para este intervalo na versão F e FN2, existe apenas na N1. Essa seção possui uma dependência de outra seção, a seção 5.8, por isso também sofre uma mudança de localização no documento (b) e exclusão de condições (h), essa dependência também ocorre com a seção 5.4, com a dependência da seção 5.8 a taxa de falhas dessas seções podem aumentar com a alteração se a referência para π_T dos componentes for do tipo ALSTTL e STTL, ver os resultados apresentados da seção 5.8.

A seção 5.2 (“*MICROCIRCUITS, MEMORIES*”) tem consequências para sistemas EEPROM com uma expectativa de vida diferente de 10 000 horas de operação, pois nesse caso os fatores A1 e A2 são multiplicados por um valor que passou a ser o inverso na versão FN2, se o tempo de vida útil for menor que 10 000 horas de operação resultará em FN2 um valor de λ_{CYC} menor que na versão F, caso seja um tempo de vida útil superior a essa referência irá aumentar o λ_{CYC} . Essa seção também possui dependência da seção 5.8.

A seção 5.3 (“*MICROCIRCUITS, VHSIC/VHSIC-LIKE AND VLSI CMOS*”) passou por alterações de valores da taxa básica de falhas (e), com a inclusão de um novo tipo de componentes (c) acrescentando memórias, não houve nenhum impacto nos componentes já existentes.

A seção 5.5 (“*MICROCIRCUITS, HYBRIDOS*”) faz referência a seção 5.12 para microcircuitos, para os demais componentes não existe nenhum impacto. A seção 5.12 sofreu uma alteração na equação para estimar TJ (temperatura de junção), essa alteração resultará em valores de TJ maiores em FN1.

A seção 5.7 (“*MICROCIRCUITS, MAGNETIC BUBBLE MEMORIES*”) sofre uma alteração de abrangência de componentes para o cálculo do fator π_w , essa alteração deixa de contemplar os componentes para $0,03 < D < 0,3$. (Lembrando que $D = \text{Avg. Device Data Rate} / \text{Mfg. Max. Rated Data Rate}$).

A seção 5.8 (“*MICROCIRCUITS, π_T TABLE FOR ALL*”) é referenciada em várias outras seções que se incorporam microcircuitos e sofre uma alteração do tipo b (mudança de localização no documento) e h (exclusão de condições). As alterações ocorrem na tabela: “*Temperature Factor for all microcircuits π_T* ”, foi excluído a coluna de 0,45 eV e os dispositivos dessa coluna foram alocados e ou excluídos. O impacto dessas alterações reflete no fator π_T , componentes do tipo ALSTTL e STTL com a alteração passam a ter valores superiores para o fator π_T , o que resulta em um aumento na taxa de falha do componente.

A seção 6.1 (“*DIODOS, LOW FREQUENCY*”) possui alteração de valores da taxa básica de falhas (e), os valores tabelados para “*Power Rectifier, Fast Recovery*” passou de 0,069 em F para 0,025, afetando diretamente a taxa de falhas final do componente. A redução de 36,23% de λ_b , afeta a taxa de falhas final na mesma redução.

A seção 6.8 (“*TRANSISTORS, HIGH FREQUENCY, GaAs FET*”) sofreu alteração de valor no ambiente M_F , houve um acréscimo no valor tabelado de 20%, aumentando diretamente a taxa de falhas final em 20%.

A seção 7.1 (“*TUBES, ALL TYPES EXCEPT TWT AND MAGNETRON*”) sofreu com alteração da modelagem para o cálculo da taxa de falhas, com a alteração os componentes calculados por N1 terão taxas de falhas superiores aos calculados em F.

Muitas alterações ocorreram na seção 7.2 (“*TUBES, TRAVELING WAVE*”), redução dos valores tabelados para o fator ambiental, a redução chega a 50% para vários ambientes, isso resulta em uma redução direta na taxa de falhas, houve também mudança na modelagem matemática da taxa básica e alteração na abrangência de condições. Com as três alterações, é necessária uma análise mais detalhada para verificar o impacto na taxa de falhas.

As seções 9.1 até a seção 9.10 que se referem a resistores passaram por mudanças na modelagem da taxa de falhas, houve uma unificação de todas essas seções em F para apenas uma seção em FN2. A fórmula utilizada para o cálculo da taxa de falhas dos resistores em FN2 é a mesma para todos os tipos de resistores e considera: Fator de temperatura (π_T), Fator de Potência (π_P), Fator de Estresse de Potência (π_S), Fator Qualidade (π_Q) e Fator Ambiental (π_E). Para calcular a taxa de falhas de resistores utilizando a versão FN2 examinará a seção 9.1, ao empregar a versão F terá 15 seções disponíveis e deverá consultar uma dessas seções de acordo com o tipo, características e especificações do resistor em questão. Os resistores declarados na versão F, com exceção do resistor descrito na seção 9.8, todos têm suas taxas básica de falhas calculada a partir da temperatura do ambiente e pelo estresse (s – relação entre a potência de operação e a potência aplicada), já na versão FN2 esse valor foi tabelado de acordo com o tipo e especificação do resistor. A Tabela 2 mostra todas as seções que foram incorporadas em FN2 e as mudanças na equação para a taxa de falhas. Os valores tabelados para as severidades de ambientes também foram alterados, de forma geral os valores em FN2 sofreram acréscimos, os ambientes que sofreram poucas alterações são os G_B e S_F . Níveis de qualidade foram acrescentados nestas seções.

Tabela 2 – Apresenta a unificação das seções destinadas a resistores em FN2 com a modelagem matemática.

matemática.

SEÇÃO	RESISTORES	TAXA DE FALHAS VERSÃO F	TAXA DE FALHAS VERSÃO FN2
9.1	RESISTORS, FIXED, COMPOSITION	$\lambda_p=\lambda_b*\pi_R*\pi_Q*\pi_E$	$\lambda_p=\lambda_b*\pi_T*\pi_P*\pi_S*\pi_Q*\pi_E$
9.2	RESISTORS, FIXED, FILM		
9.3	RESISTORS, FIXED, FILM, POWER		
9.5	RESISTORS, FIXED, WIREWOUND		
9.6	RESISTORS, FIXED, WIREWOUND, POWER		
9.7	RESISTORS, FIXED, WIREWOUND, POWER, CHASSIS MOUNTED		
9.4	RESISTORS, NETWORK, FIXED, FILM	$\lambda_p= 0,00006*\pi_T*\pi_{NR}*\pi_Q*\pi_E$	
9.8	RESISTORS, THERMISTOR	$\lambda_p=\lambda_b*\pi_Q*\pi_E$	
9.9	RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND	$\lambda_p=\lambda_b*\pi_{TAPS}*\pi_R*\pi_V*\pi_Q*\pi_E$	
9.11	RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, SEMPRECISION		
9.12	RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, POWER		
9.13	RESISTORS, VARIABLE, NONWIREWOUND		
9.14	RESISTORS, VARIABLE, COMPOSITION		
9.15	RESISTORS, VARIABLE, NONWIREWOUND, FILM AND PRECISION		
9.10	RESISTORS, VARIABLE, WIREWOUND, PRECISION	$\lambda_p=\lambda_b*\pi_{TAPS}*\pi_C*\pi_R*\pi_V*\pi_Q*\pi_E$	

As seções 10.1 a 10.19 da versão F, que se referem a capacitores, foram unificadas na seção 10.1 da versão FN2. Essas seções passaram por mudanças na modelagem da taxa de falhas, os valores tabelados para as severidades de ambientes também foram alterados, de forma geral os valores em FN2 foram aumentados e

novos níveis de qualidades foram incorporados, os níveis D, C, S, B, R, P M e L passaram a ser considerados para todos os tipos de capacitores além de confiabilidade não estabelecida, baixa qualidade e qualidade comercial.

A seção 11.1 (“*INDUCTIVE DEVICES, TRANSFORMERS*”) passou por mudança na modelagem da taxa de falhas, passou a ter um fator para considerar uma correção referente à temperatura de operação e houve mudanças de valores no nível de qualidade.

As mudanças declaradas na seção 11.2 (“*INDUCTIVE DEVICES, COILS*”) se referem à modelagem da taxa de falhas, incorporação de novos níveis de qualidades e mudanças de valores tabelados para “*lower*” e alterações nos valores tabelados do fator ambiental para os ambientes G_F , A_{IC} , A_{IF} , A_{UC} e A_{UF} . Todos esses ambientes sofreram acréscimos de uma unidade, com exceção do ambiente G_F que sofreu um aumento de duas unidades.

Com a atualização FN2, para ambientes espaciais uma análise térmica específica deverá ser realizada na seção 11.3 (“*INDUCTIVE DEVICES, DETERMINATION OF HOT SPOT TEMPERATURE*”), como não realizamos essa análise não foi possível verificar o impacto da mudança.

A seção 12.1 (“*ROTATION DEVICES, MOTORS*”) passou por alterações na modelagem matemática da taxa de falhas e foi inserida uma tabela de referência de fatores de acordo com o tipo de motor, fez a exclusão de temperaturas ambientais negativas.

Uma mudança discreta ocorreu na seção 12.2 (“*ROTATION DEVICES, SYNCHROS AND RESOLVERS*”), ocorreu uma alteração da abrangência de componentes para o fator π_N e afeta os “*number of brusshe*s” inferiores a 2, que na versão F não eram tratados.

A seção 13.1 (“*RELAYS, MECHANICAL*”) passou por mudanças na modelagem da taxa básica de falhas para temperaturas de 85°C e 125°C, o fator ambiental deixou de ser tabelado de acordo com a qualidade e, o fator qualidade passou por mudanças na qualidade “*Non-Est Rel*” e acrescentou a qualidade “*MIL SPEC*” e “*commercial*”, as demais não se alteraram.

Mudanças nos valores tabelados para a taxa básica de falhas, todos os valores sofreram decréscimos na seção 13.2 (“*RELAYS, SOLID STATE AND TIME DELAY*”) resultando numa diminuição direta na taxa básica de falhas e o fator qualidade passou por uma troca, não se considera a qualidade “*Lower*” e passou a considerar a qualidade “*commercial*”. A taxa de falhas desses componentes com as mudanças realizadas na versão FN2 provavelmente resultará em valores inferiores que as taxas calculadas pela versão F.

A seção 14.1 (“*SWITCHES*”) teve a modelagem da taxa de falhas alterada com a versão FN2, mudou todos os valores tabelados para o fator π_C , acrescentando uma modelagem para encontrar o valor do fator em função do número de contatos.

A seção 14.2 na versão F era chamada de “interruptores básicos e sensíveis” (*Switches, Basic Sensitive*) foi substituída em FN2 por “Interruptores, disjuntores” (*Switches, Circuit Breakers*). A fórmula básica para o cálculo da taxa de falhas foi alterada, retirando o fator de ciclagem (π_{CYC}) e o fator carga de estresse (π_L) e acrescentando três fatores: fator de qualidade (π_Q), fator de utilidade (π_U) e o fator de configuração (π_C). A especificação dos componentes foi trocada, assim como toda a tabela para a taxa básica de falhas. Nesta seção foram incorporadas novas especificações substituindo a especificação antiga e, os valores do fator ambiental sofreram decréscimo para vários ambientes (G_F , G_M , N_U , A_{IC} , A_{IF} , A_{UC} , A_{UF} , M_L e C_L). O resumo destas alterações é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Mudança na seção 14.2. S/M significa sem modificações. (*switches, basic sensitive* (F) = *switches, circuit breakers* (FN2)).

	F	FN1	F NOTICE 2
Seção 14.2	SWITCHES, BASIC SENSITIVE (F) = SWITCHES, CIRCUIT BREAKERS (FN2)		
MUDANÇA F para FN2	Mudança na eq. de λ_p , foi retirado o fator π_{CYC} e π_L , acrescentado o fator π_Q , π_U e π_C . Mudança na tabela "Base Failure Rate λ_b ". Mudança em alguns valores do fator π_E . Novas especificações.		
Equação λ_p	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_{CYC} * \pi_L * \pi_E$	S/M	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_C * \pi_U * \pi_Q * \pi_E$
Tabela: Fator Ambiental (π_E)	$G_F = 3$	S/M	$G_F = 2$
	$G_M = 18$	S/M	$G_M = 15$
	$N_U = 29$	S/M	$N_U = 27$
	$A_{IC} = 10$	S/M	$A_{IC} = 7$
	$A_{IF} = 18$	S/M	$A_{IF} = 9$
	$A_{UC} = 13$	S/M	$A_{UC} = 11$
	$A_{UF} = 22$	S/M	$A_{UF} = 12$
	$M_L = 67$	S/M	$M_L = 66$
	$C_L = 1200$	S/M	$C_L = N/A$
Especificações	MIL -S - 8805	S/M	MIL-C-13516/ MIL-C-55629/ MIL-C-83383/ MIL-C-39019/ W-C-375

Muitas alterações ocorreram em conectores, como mostra a Tabela 4. A seção 15.1 aborda conectores em geral, mas exclui placa de circuito impresso abordada na seção 15.2, as seções 15.1 e 15.2 da versão F foram aglomeradas na seção 15.1 da FN2. A versão FN2 aborda conectores em geral na seção 15.1, sem excluir placa de circuito impresso, as mudanças neste componente são abordadas na tabela 5. A seção 15.2 de FN2 é equivalente a seção 15.3 de F, sobre conectores do tipo soquete de circuitos. A fórmula utilizada para o cálculo da taxa de falhas para conectores em geral foi alterada em N2, na versão F é considerado o fator de pinos ativos (π_p) que em FN2 foi excluído e passou a considerar os fatores de qualidade (π_Q) e temperatura (π_T). A não consideração do número de pinos ativos resultou em taxas de falhas constantes para qualquer que fosse o número de pinos ativos do conector, causando grandes impactos. Com a atualização FN2 foi retirado e acrescentado novas especificações para conectores retangulares, conector de borda, coaxial, hexagonal, além de incluir especificações para tipos de conectores já cobertos pela versão F. A taxa básica de falhas para FN2 passou a ser em função das especificações e não em função da temperatura como na versão F. O fator ambiental em F é dividido em duas escalas de valores, uma para qualidade “MIL-SPEC” e outra para “Lower” (baixa qualidade), na versão FN2 deixou de diferenciar entre essas duas categorias e passou a levar em conta os valores da qualidade “MIL-SPEC”.

Tabela 4 – Mudança ocorrida na seção 15.1 (*connectors, general*).

	F	FN1	F NOTICE 2
Seção 15.1 F - 15.1 FN2	CONNECTORS, GENERAL		
MUDANÇA F para FN2	Na F, exclui conectores "Printed circuit board", na FN2 não há exceções. Mudança na equação de λ_p . Na F, temos a especificação de quais padrões podem ser calculados e fornece o valor de λ_b em função da temperatura e "insert material determination", já na F N2 o λ_b é dado de acordo com a descrição e especificação		
Equação λ_p	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_K * \pi_P * \pi_E$	S/M	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_K * \pi_Q * \pi_E$
Tabela: Taxa básica de falhas		S/M	A taxa básica de falhas é tabelada de acordo com o tipo de conector e especificação. Em FN2 acrescentou especificações de conectores e tipos.
Tabela: Determinação da elevação da temperature padrão (ΔT°)		S/M	Na FN2 acrescentou número de contato VER "contact gauge" de 30, acrescentou também algumas fórmulas para obter ΔT (inserir aumento de temperatura), usado para o cálculo de π_T .
Tabela: Fator Ambiental (π_E)	Na F diferenciava “MIL-SPEC” e “LOWER Quality”	S/M	Na FN2 não existe distinção e os fatores passaram a ter os valores de “MIL-SPEC”
Acrescentou/Retirou		S/M	Na FN2 acrescentou Tabelas para determinar os fatores: π_T , π_Q . Retirou o π_p , não considerando mais o número de pinos de contato.
Especificação de conectores		S/M	Na versão FN2 foi acrescentado várias especificações, além de incluir Placa de circuito impresso, passou a contemplar outras descrições de conectores.

A seção 15.2 (“CONNECTORS, PRINTED CIRCUIT BOARD”) teve também os valores tabelados para o fator ambiental alterado, de forma geral os valores foram aumentados, com exceção dos ambientes S_F e G_B que permaneceram inalterados. A seção 15.3 (“CONNECTORS, INTEGRATED CIRCUIT SOCKETS”) teve as mudanças similares a seção 15.1 e 15.2.

A seção 16.1 (“NECTION ASSEMBLIES WITH PLATED THROUGH HOLES”) teve os valores da taxa básica de falhas alteradas, foram diminuídos afetando diretamente a taxa de falhas para um valor em FN2 inferior ao valor calculado em F e, alterações no fator de complexidade, fazendo uma alteração da abrangência dos componentes, considerando um número maior de circuitos (aproximadamente 18 circuitos).

A seção 16.2 (“INTERCONNECTION ASSEMBLIES, SURFACE MOUNT TECHNOLOGY”) foi elaborada na versão FN2 e não consta na versão F.

A seção 17.1 (“CONNECTIONS”) passou por mudanças como a alteração da modelagem da taxa de falhas e alteração dos valores tabelados para a taxa básica de falhas, incorporando dois novos tipos, os tipos alterados foram: “Hand Solder”, “w/o Wrapping”, “Hand Solder”, “w/Wrapping”, “Weld” e “Solderless Wrap”.

Tabela 5 – Mudança ocorrida em “connectors, printed circuit board” seção 15.2 F para 15.1 FN2..

	F	F N1	F NOTICE 2	
Seção 15.2 F com 15.1 N2	CONNECTORS, PRINTED CIRCUIT BOARD			
MUDANÇA F para FN2	Mudança na equação de λ_p . Em F o valor de λ_b é em função da temperatura de operação de contato interno, já em FN2 o λ_b é dado de acordo com a descrição e especificação. Mudanças no fator ambiental			
Equação λ_p	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_K * \pi_P * \pi_E$	S/M	$\lambda_p = \lambda_b * \pi_T * \pi_K * \pi_Q * \pi_E$	
Tabela: Taxa básica de falhas		S/M	Muitas mudanças nessa tabela, em FN2 é de acordo com especificações de conectores, em F é em função da temperatura, alterando muito o valor λ_b .	
Tabela: Determinação da elevação da temperature padrão (ΔT°)		S/M	A tabela "Default Insert Temperature Rise (ΔT°) Determination" foi totalmente modificada.	
Tabela: Fator Ambiental (π_E)	Na F diferenciava “MIL-SPEC” e “LOWER Quality”	S/M	Na FN2 não existe distinção e os valores passaram a ser:	
	MIL-SPEC	LOWER	S/M	*****
	$G_B = 1.0$	2.0	S/M	$G_B = 1.0$
	$G_F = 3.0$	7.0	S/M	$G_F = 1.0$
	$G_M = 8.0$	17.0	S/M	$G_M = 8.0$
	$N_S = 5.0$	10.0	S/M	$N_S = 5.0$
	$N_U = 13.0$	26.0	S/M	$N_U = 13.0$
	$A_{IC} = 6.0$	14.0	S/M	$A_{IC} = 3.0$
	$A_{IF} = 11.0$	22.0	S/M	$A_{IF} = 5.0$
	$A_{UC} = 6.0$	14.0	S/M	$A_{UC} = 8.0$
	$A_{UF} = 11.0$	22.0	S/M	$A_{UF} = 12.0$
	$A_{RW} = 19.0$	37.0	S/M	$A_{RW} = 19.0$
	$S_F = 0.5$	0.8	S/M	$S_F = 0.5$
	$M_F = 10.0$	20.0	S/M	$M_F = 10.0$
$M_L = 27.0$	54.0	S/M	$M_L = 27.0$	
$C_L = 490.0$	970.0	S/M	$C_L = 490.0$	
Acrescentou/Retirou		S/M	Na FN2 acrescentou Tabelas para determinar os fatores: π_T , π_Q . Retirou o π_P , não considerando mais o número de pinos de contato.	

Considerações e recomendações

É possível afirmar de forma geral que a atualização HDBK F NOTICE 2 passou a considerar um número maior de informações técnicas na composição de fatores de correção, tornando assim mais assertiva que as demais versões para alguns componentes, como por exemplo, resistores e capacitores, mas para alguns outros componentes como os conectores é aconselhável avaliar a aplicação para mais de uma versão (F e FN2).

Conector é um componente com alta complexidade, e a mudança de metodologia entre as versões produziu grandes impactos nas taxas de falhas dos componentes e, consequentemente na confiabilidade de um suposto sistema. É também o componente que mais sofreu impacto com as alterações. A análise das taxas de falhas deste componente através da aplicação do manual (F e FN2) mostra um nivelamento da taxa de falha, cada tipo de conector foi nivelado por uma quantidade de pinos ativos diferentes. Como por exemplo, o conector do tipo “Power” para a classe de materiais B em MIL HDBK 217 F (Dialilftalato, Melamina, Fluorosilicone, Borracha de Silicone, Polissulfona, Resina epoxi) foi nivelado para uma quantidade de pinos igual a 175. Como mostra Figura 2. O que causa grande impacto na taxa de falhas para um sistema que utiliza um conector “Power” com 25 pinos ativos, por exemplo.

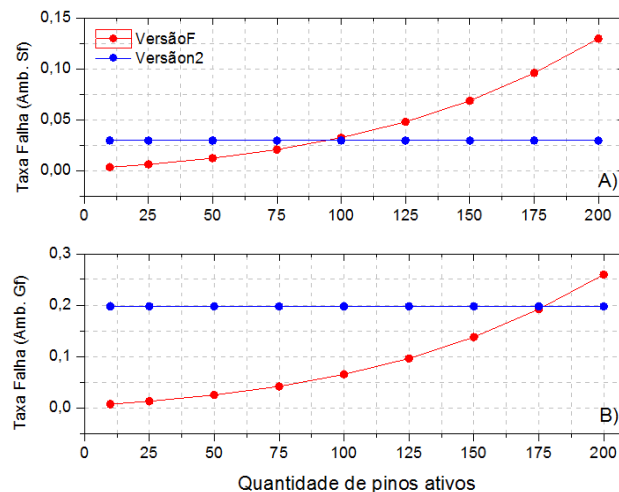


Figura 2 - Comparação das taxas de falhas para conectores, versão FN1 com FN2 A) Conector "Rack and Panel", ambiente S_F B) Conector "Power" Tipo B, Ambiente G_F. Unidades: Número de pinos ativos x Taxa de falha em falhas/10⁶ horas.

A análise das taxas de falhas pode apoiar o design de sistemas espaciais em tomadas de decisões gerenciais e técnicas de sistemas espaciais. No caso de conectores, por exemplo, o nivelamento para o manual em FN2 em valores mais altos (conector “Power”, “Circular”) pode auxiliar nas tomadas de decisões técnicas avaliando a necessidade de redundância de pinos ativos em pontos críticos sem alterar a taxa de falhas calculada sem redundância. A análise do manual também dá apoio técnico em relação a seleção de componentes visando o cumprimento dos requisitos de manutenibilidade (tratando a modularidade, intercambiabilidade, montagem, acesso, etc.) e disponibilidade; visando sempre atender requisitos de cronograma e custo. A análise também auxilia nas tomadas de decisões visando reduzir as não conformidades e aumentar a eficiência operacional. No setor espacial, o satélite não possui manutenção na fase de operação (exceto software e seguimento solo), no entanto a análise do manual auxilia no tratamento da manutenibilidade durante as fases do ciclo de vida do projeto espacial.

O manual MIL HDBK 217 é alvo de críticas a respeito de sua atualização tecnológica, sendo considerado por alguns como obsoleto e incapaz de modelar alguns componentes eletrônicos atuais e possuir limitações em fornecer informações sobre os mecanismos de falha física. Mas, apesar disso, algumas fontes como Bechtold (2011) afirmam que MIL HDBK 217 ainda é considerado uma referência mundial e continua a ser amplamente utilizado na indústria. As organizações utilizam o manual MIL HDBK 217 e querem continuar a utilizá-lo, no entanto esperam uma atualização que se adapte com a realidade tecnológica. Existe um processo de atualização do manual com uma versão intitulada HDBK 217 G. Esta atualização tem por objetivo um método comum e consistente para estimar a confiabilidade de um projeto maduro durante a aquisição com incorporação de falhas físicas sem mudanças drásticas na modelagem. Esta versão pretende adotar modelos que são utilizados por outros padrões como a 217PlusTM e a PRISM@. (BECHTOLD, 2012; GIPPER, 2012)

COMENTÁRIOS FINAIS

O levantamento e análise das alterações entre as versões F, FN1 e FN2, conclui que o manual

permanece consistente sem alterações para semicondutores, mantendo a mesma modelagem e interpretação de condições técnicas. Com exceção para diodos aplicados a “retificadores de potência de rápida recuperação”, este passou por uma mudança na taxa básica de falhas. Esta mudança resulta em uma redução de 36,23 % na taxa de falhas da versão F/FN1 para a versão FN2. Esta consistência para semicondutores nos faz concluir que o manual apresenta uma abordagem sólida para semicondutores desde a versão F, e que talvez esta abordagem não sofra grandes alterações com a futura atualização G, mas incorpore a modernização tecnológica, para eliminar a obsolescência de componentes eletrônicos e a incorporação de outros. No entanto, o plano para a versão G, inclui muitos fatores.

De forma geral, todos os semicondutores são sensíveis a temperatura de junção, produzindo taxas de falhas crescentes de acordo com a elevação da temperatura. Alguns apresentam dependência da potência de dissipação, que é proporcional a temperatura, dependência da tensão de operação, que pode modificar o índice de estresse, da frequência e muitos da aplicação e construção do componente.

A versão FN2 possui especificações de níveis de qualidades mais refinados que as versões anteriores, possibilitando a utilização de componentes de maior qualidade. Com isso, o fator de correção para qualidade do componente (π_Q) possui valores inferiores aos das versões F e FN1. Para alguns componentes fica evidente o quanto esse fator colabora para a elevação da discrepância entre as versões, como por exemplo, para capacitores, resistores, entre outros componentes eletrônicos. Apesar da versão FN2 estabelecer melhores níveis de qualidade em relação às outras versões, a indústria dispõe de alguns componentes com níveis ainda mais refinados que não são constituídos na versão FN2, a versão não estabelece níveis atuais para alguns componentes, como por exemplo, transistores e diodos.

O fator ambiental (π_E) e o fator qualidade (π_Q) são os fatores que exercem maior influência na discrepância das taxas de falhas entre FN1 e FN2, todos os componentes têm taxas de falhas proporcionais a severidade do ambiente de operação. Com a atualização das versões, esse fator sofreu muitas mudanças para vários componentes. Generalizando, na maioria das vezes em versão HDBK 217 F N2 preferiu ser mais conservadora em relação a esse fator, estabelecendo superiores aos já estabelecidos.

A tecnologia chip é abordada por todas as versões, no entanto a versão FN2 aborda de forma mais ampla e completa. É a única que apresenta modelo de taxas de falha para resistor com essa tecnologia, e para capacitores apresenta mais de uma modelagem.

As alterações da norma entre as versões F, FN1 e FN2 foram mais significativas para os seguintes componentes: capacitores, resistores e conectores. As modificações não refletiram apenas na tecnologia, mas também na modelagem.

Em relação a conectores, a versão F, considera a temperatura e a qualidade do componente, mesmo não estabelecendo um fator específico para essa informação. A qualidade é considerada junto com o fator ambiental, e a temperatura é utilizada para compor a taxa básica de falhas. A versão F faz o uso de uma informação diferentes da FN2, que é a consideração do tipo de material utilizado na fabricação do conector, instituindo quatro tipos de grupos de materiais diferentes e para cada grupo o manual estabelece uma função que depende da temperatura de operação. Essa informação é utilizada para compor a taxa básica de falhas, no entanto, conectores com configurações diferentes, mas do mesmo grupo de material e mesmo valor de temperatura máxima de operação podem ter a mesma taxa básica. Isso não acontece em FN2, pois a taxa básica é tabelada de acordo com o tipo de conector.

A versão F e FN1 consideram o número de pinos ativos de um conector, ou seja, quanto maior o número de pinos ativos, maior é a taxa de falhas, isso ocorre para todos os tipos de conectores analisados. A versão FN2, não faz o uso dessa informação, ocasionando em uma taxa fixa (nivelamento) para qualquer que seja o número de pinos ativos.

A não consideração do número de pinos ativos em FN2, resultou em um nivelamento para os conectores. Como por exemplo, para o conector “*Rack and Panel*” incidiu em um nível de 90 pinos ativos. Isso pode ser prejudicial, pois ao calcular a taxa de falhas de um conector, nas mesmas condições aqui adotadas, com 10 ou 200 pinos ativos usando a versão FN2 terá a mesma taxa de falhas de um conector com 90 pinos ativos. Para o conector “*Power*” esse nível é ainda maior, 175 pinos ativos. O conector do tipo “*Circular*” obteve um nível extremamente baixo, com 10 pinos ativos. Condições que devem ser avaliadas com muita cautela.

REFERÊNCIAS

DEPARTMENT OF DEFENSE, Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F, Washington DC, 1991. 205p.

DEPARTMENT OF DEFENSE, Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F (Notice 1). Washington DC, 1992. 37p.

DEPARTMENT OF DEFENSE, Military Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment MIL-HDBK-217F (Notice 2), Washington DC, 1995. 80p.

FELIX, E. P. Análise de confiabilidade de sistemas eletrônicos complexos baseada em ensaios acelerados de vida. 2006. Dissertação (Mestrado em engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

MCLEISH, J. G. Enhancing MIL-HDBK-217 Reliability Predictions with Physics of Failure, In: RELIABILITY AND MAINTAINABILITY SYMPOSIUM (RAMS), San Jose, CA, 2010. Proceedings.... 2010. p.1-6.

MCLEISH, J. G. Transitioning to Physics of Failure Reliability Assessments for Electronics. In: ISSAT INTERNATIONAL CONFERENCE ON RELIABILITY AND QUALITY IN DESIGN, 16., Washington, DC, 2010. Proceedings..., 2010. p.1-5.

PORTO, R. C. F. Análise e comparação dos manuais da família MIL-HDBK-217F e proposta de melhoria de processos de confiabilidade de equipamentos eletrônicos espaciais. 2014. 437 p. IBI: <8JMKD3MGP3W/3HF47K5>. (sid.inpe.br/plutao/2014/11.24.15.05-TDI). Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W/3HF47K5>>.

BECHTOLD, L. Reliability predictions to support a design for reliability program. Seattle, WA: Boeing Research & Technology, 2011.

BECHTOLD, L. VITA 51 overview. Seattle, WA: Boeing Research & Technology, 2012.

GIPPER, J. VITA 51 and the Reliability Community ease reliability prediction challenges. Vita Technologies, dec., 2012.