

APLICAÇÃO DOS METODOS DFMA E FMEA EM UM LAPTOP INFANTIL

Giuliano Cesar Breda de Souza (UP)

giuliano.breda@gmail.com

Nailyn Andrade Moco (UP)

nailyn_andrade@hotmail.com

Jessica Bruna Perussi (UP)

jessicabrunaperussi@hotmail.com

RAFAEL MACHADO GUIMARAES (UP)

rafael.mg@outlook.com.br



Para manutenção da competitividade frente aos concorrentes, as empresas precisam desenvolver produtos otimizados e com custos cada vez menores, porém, mantendo a mesma qualidade ou até mesmo elevando-a. Para tanto, a aplicação de ferramentas que auxiliem na identificação de pontos de melhoria em um produto são fundamentais. Neste trabalho, são apresentadas a utilização do DFMA e da FMEA em um laptop infantil e seus efeitos na redução de custos pela diminuição do número de componentes e simplificação do processo de montagem, além do aumento de robustez do produto. Com a aplicação do DFMA foi possível a redução de aproximadamente 18% no número de componentes, e por meio do FMEA a proposição para eliminação de ocorrência de falhas no produto durante seu uso. Não obstante, o sucesso na aplicação das ferramentas permitiu manter as mesmas características do produto original.

Palavras-chave: DFMA, FMEA, Desenvolvimento de Produto

1. Introdução

Atualmente, as empresas se encontram em um cenário de grande competitividade, demandando constantes alterações tanto de processos, quanto de produtos, visando manter-se competitivas frente aos concorrentes. Porém, somente a otimização dos meios de produção não são suficientes para conquistar espaço no mercado. Assim, se faz necessário avaliar os custos envolvidos neste processo, sendo que, se passados inteiramente ao consumidor, podem afetar significativamente o volume de vendas e, conseqüentemente, os resultados da empresa.

De acordo com Pahl e Beitz (1999), há uma forte influência entre as decisões relacionadas à design com os tempos, custos e qualidade do produto. Portanto, é essencial o estudo e análise das características que serão atribuídas ao produto, para que sua produção seja viabilizada no tocante a materiais e processos de fabricação. Tal preocupação se dá pelo fato de que as alterações não devem impactar no aumento de custos, redução da qualidade e perda de confiabilidade.

Para esse estudo foram utilizados o DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*) que para Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), é uma aplicação combinada das ferramentas DFA (*Design for Assembly*) e DFM (*Design for Manufacturing*), sendo utilizado principalmente para otimizar os processos e auxiliar no controle de custos e a FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), que segundo Sakurada (2001), tem por objetivo a redução das falhas de produtos ou processos existentes através da análise dos potenciais falhas e da criação de propostas de ações de melhoria.

A proposta do presente trabalho é analisar os componentes e os níveis de montagem utilizados na construção de um produto comercial, tendo como foco a redução de custos, sem inviabilizar sua fabricação ou mesmo alterando suas características originais.

2. DFMA

De acordo com Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), no ano de 1963, Geoff Boothroyd deu início a uma pesquisa a respeito de montagens automatizadas, sendo que ao longo da pesquisa o tema resultou no desenvolvimento da ferramenta conhecida como DFMA. O estudo desenvolvido por Boothroyd também desencadeou no surgimento da metodologia DFA que, quando combinada ao DFM, resulta no DFMA. Autores como Bralla (1986), por exemplo, recomendam o uso conjunto das duas ferramentas por elas serem complementares em alguns

processos. Aplicada na fase inicial de um projeto, o DFMA é voltado para a redução de componentes do produto, que facilitem sua fabricação e montagem, resultando, conseqüentemente, na redução de custos de material, tempos consumidos com a produção, montagem e processos de fabricação. Segundo Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), o DFMA também pode ser utilizado como uma ferramenta de estudo de produtos concorrentes, com foco voltado em competitividade e inovação. De acordo com autores como Bralla (1996) e Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), o DFMA apresenta diversos princípios, como por exemplo: para minimizar ou eliminar os componentes que formam o produto. Para isso é necessária uma análise baseada em três perguntas fundamentais:

- a) Quando o produto é utilizado, a parte se move em relação às outras peças em que está encaixada?
- b) Os outros componentes do produto são feitos de outro material?
- c) Se as partes do produto forem combinadas, a montagem do produto seria difícil ou inviável?

No caso de alguma resposta para as perguntas acima ser positiva, o componente não pode ser eliminado.

Outros princípios envolvem:

- a) Padronização dos componentes;
- b) Modularização dos componentes;
- c) Uso de materiais de fácil manufatura;
- d) Ajustes do projeto às características de processos e sistemas de manufatura disponíveis;
- e) Projetar o produto de forma a viabilizar sua fabricação e os processos envolvidos;
- f) Produzir apenas a quantidade necessária do produto, entre outros.

Edwards (2002) cita que, ao aplicar a metodologia no desenvolvimento de produtos, os usos dos processos de fabricação são maximizados e o número de componentes de montagem ou que configuram a constituição do produto são eliminados. Conseqüentemente, há redução de custos com ferramentas, mão de obra, máquinas, aliado à integração dos colaboradores envolvidos na aplicação da ferramenta (BRALLA, 1996).

2.1. DFM

De acordo com Bralla (1986), antes mesmo do termo DFM tornar-se mundialmente conhecido, Eli Whitney, há aproximadamente 200 anos, ficou responsável pela produção de mosquetes de uma fábrica nos EUA. Nessa época a produção de mosquetes era totalmente artesanal e não havia controles ou normas que padronizassem as medidas ou a qualidade do produto. Em meio a isso, Whitney desenvolveu um sistema de fabricação de mosquetes com peças intercambiáveis, estabeleceu tolerâncias de medidas e criou máquinas e medidores para o controle das tolerâncias e produção de componentes semelhantes. Henry Ford também desenvolveu alguns conceitos base da ferramenta DFM durante a produção do Ford T. O engenheiro procurou simplificar processos e operações, reduzir custos com matéria-prima, sem perda de qualidade, padronizar peças e automatizar algumas máquinas ao longo do processo de fabricação.

Ainda de acordo com Bralla (1986), a designação DFM tem início na década de 60, com o uso dos termos “produtibilidade” e “manufatura”, que indicam a facilidade de fabricar um componente ou produto. Com o desuso do termo “produtibilidade”, difundindo-se “manufatura”, que dá origem ao uso DFM. Como já citado, a ferramenta DFM aborda dois aspectos principais: análise do produto como um todo, com o propósito de simplificar sua estrutura, e análise de cada componente individualmente, para maximizar sua produção. As análises são feitas de acordo com conceitos e regras que auxiliam o desenvolvimento do produto e convergindo: redução de custos de fabricação, sem perda de qualidade do produto.

2.2. DFA

Conforme Bralla (1986), assim como o DFM, o DFA também se trata de uma ferramenta com definições recentes, porém sua metodologia vem sendo aplicada por diversas organizações ao longo de muitos anos.

De acordo com Boothroyd, Dewhurst e Knight (2011), o DFA surge da mesma pesquisa iniciada por Geoffrey Boothroyd, que visava o estudo de meios para automatizar as montagens de diversos produtos, e que também resultou no desenvolvimento da ferramenta DFMA. O estudo desenvolvido por Boothroyd e sua equipe, tem grande relevância na fundamentação e disseminação dos princípios e conceitos do DFA, uma vez que, foi comprovado que a escolha do material a ser utilizado na fabricação do produto é mais importante que o uso de máquinas automatizadas, e se tratando de redução de custos.

O DFA, segundo Rozenfeld *et al* (2006), tem como principais objetivos simplificar a estrutura do produto, tendo em vista a redução dos custos com a montagem do mesmo. Isso é feito através da análise separada das funções de cada componente, buscando otimizar cada vez mais os processos de montagem envolvidos na fabricação do produto. Além disso, a ferramenta consiste em obter informações sobre as várias alternativas de projeto ponderando-se características, tais como: o número total de componentes, a dificuldade de manipulação e o tempo de montagem.

3. FMEA

De acordo com Sakurada (2001), a FMEA teve suas origens no ano de 1949, com uso de caráter militar e era denominado - FMECA (*Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), ou MIL-P-1629 (*Military Procedure*), e era utilizado como regra para avaliação da confiabilidade e para se identificar falhas em sistemas e em equipamentos, sendo estas falhas classificadas de acordo com os efeitos que causariam nas missões.

No entanto, outros autores como por exemplo Bertsche (2008), afirma que a FMEA surgiu durante os anos 60, nos Estados Unidos, quando a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) utilizou o conceito durante o projeto da Apollo.

Apesar de suas origens não serem um consenso, os autores Sakurada (2001) e Bertsche (2008), concordam que o uso da FMEA foi intensificado por volta de 1988, quando Chrysler, Ford e General Motors (conhecidos como “*The Big Three*” – Os três grandes), criaram a QS 9000 (*Quality System Requirements*), similar à ISO 9000. De acordo com Silva *et al* (1997), a QS 9000 foi criada com intuito de padronizar as exigências de qualidade e requisitos básicos das três empresas. Esta norma era complementada por diversos manuais de referência como *Production Part Approval Process* (PPAP), *Advanced Product Quality Planning and Control Plan* (APQP) e a FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), sendo este último utilizado com caráter preventivo e de melhoramento contínuo.

A FMEA tem como objetivo principal o aumento da confiabilidade de um sistema/produto e deve ser feito, preferencialmente, na fase de projeto ou de processo. Através da FMEA busca-se assegurar que os modos potenciais de falhas existentes em um produto ou processo sejam identificados e sejam considerados na tomada de decisão, permitindo a redução destas e, também, a redução da probabilidade de que venham a acontecer.

Segundo Slack (2009), para cada causa de possível falha, devem-se fazer três perguntas. Essas perguntas ajudarão a avaliar quais as prioridades de atuação, baseado em uma avaliação quantitativa destas:

- Qual a probabilidade de ocorrer a falha?

Essa pergunta gera o índice de Ocorrência (O);

- Qual seria a consequência da falha?

Essa pergunta gera o índice de Severidade (S);

- Com qual probabilidade essa falha é detectada antes que afete o cliente?

Essa pergunta gera o índice de Detecção (D).

Os valores para cada uma dessas perguntas variam de 1 a 10 e as definições dos níveis são dadas por tabelas, de forma a se manter um padrão para a avaliação. Esses valores são então multiplicados, formando o NPR (Número de Prioridade de Risco) possibilitando, desta forma, identificar quais ações devem ser priorizadas.

4. Descrição do produto

Para a aplicação das ferramentas DFMA e FMEA foi utilizado um laptop (*Trilingual Laptop*, da Gemini), apresentado na Figura 1 voltado ao público infantil com três idiomas disponíveis para suas funções (português, inglês e espanhol), com intuito de promover o aprendizado da criança de forma interativa. Este produto foi escolhido, pois notou-se a possibilidade da aplicação das ferramentas para a proposição de redução no número de peças após a sua análise.

Figura 1 – Trilingual Laptop



Fonte: Autoria própria

5. Metodologia

As mudanças realizadas no produto são resultado da aplicação das ferramentas: DFMA e FMEA. Em um primeiro momento foram utilizados os conceitos e definições do DFMA para a redução de custos com montagem e fabricação do produto e, em um segundo momento, utilizado o FMEA para uma análise das falhas e riscos do produto, visando ao aumento de sua confiabilidade e qualidade.

A metodologia partiu da desmontagem do produto para análise dos componentes. Inicialmente, houve a identificação de uma possível redução no número de parafusos para fixar a carcaça (composta de tampas inferior e superior da base), sem prejudicar a estrutura interna ou externa do produto. Com base em testes preliminares de montagem e manipulação, foi possível estimar uma quantidade de parafusos que permitiria ao brinquedo manter a mesma segurança durante uso, sem que houvesse qualquer perda de função. Desta forma, foi proposta a redução de 50% no número de fixações por parafusos no processo de montagem da carcaça do laptop. Desta forma o produto passaria a contar com 6 (seis), dos 12 (doze), parafusos originais. A posição dos parafusos que foram reduzidos é apresentada na Figura 2.

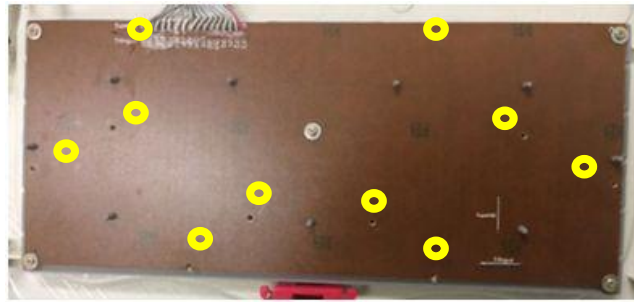
Figura 2 - Localização dos parafusos eliminados



Fonte: Autoria própria

No interior do produto, há uma placa de circuito elétrico responsável pelo funcionamento do teclado. Esta placa é parafusada à base do brinquedo, através de 15 (quinze) parafusos. Uma análise preliminar possibilitou identificar quais deles exerciam papel de menor necessidade à fixação da placa. Após a análise, a tampa da base foi recolocada, porém, com a eliminação de 10 parafusos considerados como excedentes. Mesmo com a eliminação, o produto manteve o mesmo funcionamento, e a placa manteve-se firmemente fixada à base. Tal redução apresenta reflexo direto no tempo de montagem do componente. A Figura 3 apresenta a posição dos parafusos que foram reduzidos.

Figura 3 – Localização dos parafusos eliminados



Fonte: Autoria própria

Ainda na verificação de possíveis otimizações, foram analisados dois suportes plásticos que fixavam o alto-falante do sistema de som do brinquedo, conforme apresentado na Figura 4. Um dos suportes foi retirado, e após testes de manuseio, o alto-falante permaneceu fixo e funcionando corretamente, resultando na redução de 2 (dois) parafusos e 1 (um) suporte plástico, refletindo diretamente na redução de componentes e tempo de montagem do produto.

Figura 4 – Suportes do alto-falante



Fonte: Autoria própria

Na sequência, foi possível identificar 2 (dois) componentes plásticos utilizados para limitar o movimento de abertura da tampa - onde se localiza a tela - do brinquedo. Foi possível verificar que o projeto original da tampa já possuía um delimitador de abertura da tela, e que os 2 (dois) componentes analisados possuíam papel redundante neste processo de delimitação de abertura, como mostrado na Figura 5. Testes permitiram verificar que sua eliminação não traria prejuízos ao funcionamento adequado do brinquedo. Assim, além da redução dos dois componentes plásticos, mais 2 (dois) parafusos utilizados na fixação destes foram eliminados.

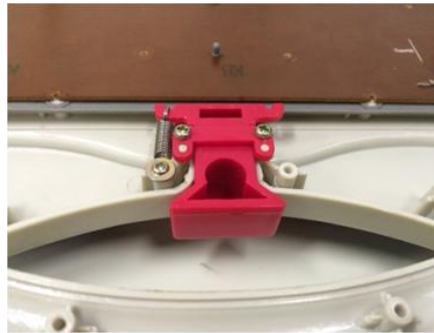
Figura 5 – Limitadores de tela



Fonte: Autoria própria

A última proposição de melhoria advinda da aplicação da ferramenta DFMA, foi na trava da tampa superior do produto, que utilizava duas molas para seu funcionamento. Para avaliação, foi retirada uma das molas e foi verificado que o produto não perdeu a funcionalidade. Além da eliminação de uma das molas, também foi possível eliminar o seu parafuso de fixação. A alteração pode ser observada na Figura 6.

Figura 6 – Trava da Tampa



Fonte: Autoria própria

A Tabela 1 apresenta a redução de componentes após a aplicação do DFMA.

Tabela 1 - Peças eliminadas do produto

Componentes	Quantidade
Parafusos cabeça de panela 2,5x8,0 mm	2
Parafusos cabeça de panela 3,0x8,0 mm	6
Parafusos com arruela embutida 1,5x6,0 mm	10
Parafusos cabeça de panela 2,0x6,0 mm	2
Parafuso com arruela embutida 2,0x6,0 mm	1
Hastes de limitação plásticas	2
Suporte para o áudio do produto	1
Mola	1
TOTAL	25

Fonte: Autoria própria

Após a aplicação do DFMA, o produto foi submetido a análise de FMEA para avaliar as possíveis falhas que poderiam ocorrer.

A Tabela 2 apresenta a análise do FMEA realizado no produto.

Tabela 2 – FMEA

FMEA DE PROJETO														
Subsistema	Componente ou Processo	Falhas Possíveis			Controle da falha	Índices antes da ação				Ação tomada	Índices depois da ação			
		Modo	Efeito	Causa		O	S	D	NPR		O	S	D	NPR
Elétrica	Fio do mouse	Dificuldade de recolher o fio	Danificar parte elétrica do laptop	Força exercida pelo fio do mouse sob os demais durante o recolhimento deste	Visual	2	9	8	144	Utilizar adesivo termocolante aplicado com pistola no fio para impedir que este entre em contato com os demais	1	9	8	72
Mecânica	Suporte de fixação do mouse	Quebra do suporte	Má fixação do mouse	Má localização do ponto de fixação do suporte	Visual	6	5	4	120	Utilização de um parafuso extra para fixação do suporte	1	5	4	20

Fonte: Autoria própria

A análise dos componentes pelo FMEA possibilitou verificar que o fio do *mouse* é confeccionado de um material pouco flexível e não existe uma delimitação de sua passagem no interior do brinquedo. Assim, quando o fio é recolhido para que o brinquedo seja guardado, este pode exercer uma interferência sob a fixação do teclado, danificando e possivelmente impedindo o funcionamento ideal do produto. A Figura 7 apresenta o posicionamento do fio do *mouse* quando este é recolhido no equipamento.

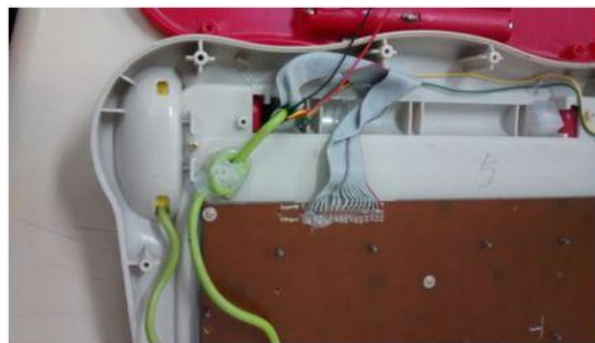
Figura 7 – Fio do mouse em contato com parte elétrica



Fonte: Autoria própria

Para evitar que esta possível falha aconteça, foi proposta a utilização de um adesivo termocolante aplicado com pistola para impedir que o fio do *mouse* entre em contato com o cabo elétrico do teclado. A escolha da utilização deste material foi baseada no fato de que o mesmo processo já é utilizado em outros pontos do *laptop*. A aplicação da proposição pode ser verificada na Figura 8.

Figura 8 – Fio fixo através do uso de adesivo termocolante aplicado com pistola



Fonte: Autoria própria

Já a possível falha do suporte para o *mouse* pode ocorrer devido ao excesso de força aplicada em um único ponto da peça. A força exercida sobre o componente é concentrada no seu ponto de fixação, através do uso de um parafuso, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Suporte do mouse



Fonte: Autoria própria

A proposta para evitar a ocorrência desta falha, seria a utilização de um parafuso extra para fixar o suporte. Desta forma, a força aplicada sobre o suporte seria distribuída, evitando o acúmulo de tensões e consequente dano à peça.

Figura 10 – Protótipo do novo suporte do *mouse*, em escala de 1:3



Fonte: Autoria própria

6. Conclusão

Este trabalho descreve a aplicação das ferramentas DFMA e FMEA em um *laptop* infantil, tendo por objetivo analisar o produto, visando à redução de custos e aumento da robustez e qualidade do produto, sem inviabilizar sua fabricação ou perda das características originais.

Apesar de se tratar de um produto com processo de montagem e fabricação bastante otimizado, com a aplicação de alguns princípios do DFMA, tais como a modularização e a aplicação de peças auto fixadoras, foi possível eliminar um total de 25 componentes, dos quais 21 são parafusos de diversos tamanhos, gerando uma redução de aproximadamente 18% do total de componentes.

Já na aplicação do FMEA, foi possível identificar duas possíveis falhas potenciais: uma de origem elétrica e outra mecânica. Embora simples, ambas podem ser tratadas com ações eficazes, imprimindo maior confiabilidade ao produto durante seu uso. Para facilitar a compreensão e visualização da solução proposta para a falha mecânica, foi desenvolvido um protótipo com o intuito de fomentar a discussão – em grupo - sobre a aplicação da solução no produto.

Assim, com a realização do estudo foi possível verificar a eficácia na aplicação do DFMA - na redução de componentes - obtendo desta forma redução nos custos de montagem, fabricação e matéria-prima e; por sua vez, a aplicação do FMEA de projeto, possibilitou aumentar a confiabilidade e qualidade do produto.

Vale ressaltar, ainda, que o produto não teve perda de funções e características originais.

REFERÊNCIAS

BERTSCHE, B. **Reliability in Automotive and Mechanical Engineering: Determination of Component and System Reliability**, Berlin: Springer, 2008.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT W. **Product design for manufacture and assembly**. Manufacturing Engineering, 3ª ed., 2011.

BRALLA, J. G. **Handbook of product design for manufacturing**, McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA, 1986.

BRALLA, J. G. **Design for excellence**, McGraw-Hill, Inc., New York, NY, USA, 1996.

EDWARDS, K.L. **Towards more strategic product design for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering**, Materials & Design, 2002.

PAHL, G., BEITZ W. **Engineering Design: A Systematic Approach**, The Design Council, London, 1999.

ROZENFELD, H. ET AL. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos - Uma Referência para a Melhoria do Processo**, Saraiva, São Paulo, 1ª ed., 2006.

SAKURADA, EDUARDO YUJI. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SILVA, Carlos Eduardo Sanches da; TIN, Jorge Vitor; OLIVEIRA, Vanderlei C. de. **Uma Análise da Aplicação da FMEA nas Normas de: Sistema de Gestão pela Qualidade (ISO9000 e QS9000), Sistema de Gestão Ambiental (ISO14000) e Sistema de Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho (BS8800 - futura ISO18000)**. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1997. 8p.

SLACK, NIGEL ET AL. **Administração da Produção**, São Paulo, Atlas, 3ª ed., 2009.