

Implementação dos conceitos de engenharia robusta no projeto de parâmetros na eng.^a de produto de uma indústria automobilística buscando projetar certo da primeira vez

Marco Fábio Borges (UFMG) mborges9@ford.com
Marta Afonso Freitas (UFMG) marta@dep.ufmg.br

Resumo

Após o salto de qualidade conseguido nos processos de fabricação dos produtos nas décadas de 80 e 90, o grande diferencial competitivo para as empresas no ambiente empresarial do início do segundo milênio está na etapa de planejamento da qualidade: na capacidade de produzir produtos robustos de alta qualidade a baixo custo e no menor tempo possível.

O foco da pesquisa é a etapa de projeto de novos produtos, mais especificamente a definição de parâmetros, no âmbito da área de projeto de motopropulsores (motor+transmissão) da Engenharia de Produto de uma montadora de automóveis multinacional instalada no Brasil.

Pretendemos demonstrar que é possível reduzir significativamente o número de problemas e mudanças de projeto e, conseqüentemente os esforços nas etapas finais do desenvolvimento de produto, conforme Wu e Hamada (2000), devemos buscar obter a melhor configuração na definição das especificações através dos experimentos exploratórios antecipados, conforme os arranjos ortogonais, medindo a função básica do sistema e testando ao mesmo tempo todas as características críticas sujeitas à simulação da variabilidade dos fatores de ruído, projetando produtos de baixa variabilidade funcional, buscando “fazer a coisa certa da primeira vez” (YANG & El-HAIK, 2003).

Palavras chave: Desenvolvimento, Robustez, Variabilidade.

1. Introdução

Tem sido observado nas empresas ocidentais que o esforço despendido nas etapas iniciais do desenvolvimento de novos produtos é reduzido, implicando também em um custo de desenvolvimento baixo. Entretanto nas etapas finais, próximo ao lançamento comercial do produto, observa-se um drástico aumento dos esforços de engenharia. Estes esforços têm como resultado muitas mudanças no projeto original para solucionar vários problemas que surgem nesta etapa. Uma consequência desta prática é o aumento dos custos totais de desenvolvimento. Por outro lado, em algumas empresas japonesas observa-se exatamente o contrário. Há uma maior concentração de esforços e conseqüentemente dos custos nas fases iniciais do desenvolvimento e poucos problemas e mudanças de projeto nas etapas finais. O resultado é uma redução significativa de esforços de engenharia e custos totais (JURAN, 1992).

2. O Problema e seu contexto

A empresa na qual este trabalho foi desenvolvido, teve na sua história recente um papel de "Braço Operacional" da matriz, segundo tipologia de Fleury (2000). Assim, como pólo principalmente produtivo criou uma cultura reativa e sempre focada no curto prazo onde só se justifica uma intervenção quando se percebe uma perda de performance do sistema em

questão. A performance anterior deve então ser sempre restabelecida em um curto espaço de tempo, sem uma preocupação efetiva com as consequências em longo prazo.

Esta cultura reativa pode ser percebida também na engenharia do produto, devido principalmente à grande importância e influência que a área de produção tem na empresa, levando então, a desenvolvimento de produtos com níveis de confiabilidade inferiores aos dos *benchmarks* mundiais.

O foco desta pesquisa será na etapa de projeto de novos produtos, mais especificamente no projeto de parâmetros, na engenharia de projeto de Transmissões, Embreagens e Sistemas de Admissão e Descarga de uma empresa multinacional instalada no Brasil, fornecedora de motopropulsores (motor + transmissão) da cadeia de suprimento de montadoras de automóveis.

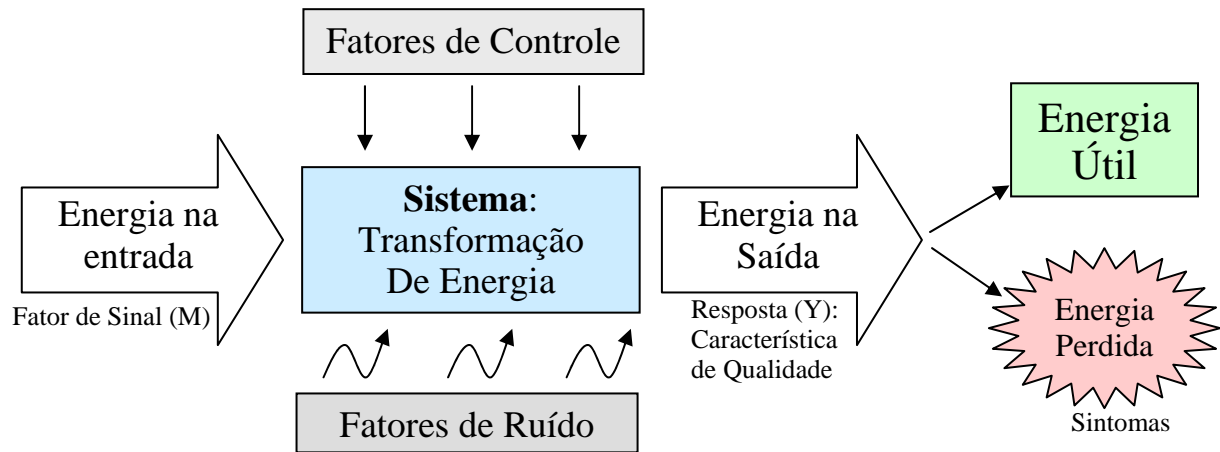
3. Objetivo da pesquisa

O objetivo é a aplicação dos conceitos de robustez, que serão apresentados na revisão bibliográfica, na etapa de projeto de parâmetros no desenvolvimento de novos produtos. A hipótese básica é que é possível reduzir significativamente o número de problemas e mudanças de projeto e conseqüentemente os esforços nas etapas finais do desenvolvimento de produto, conforme Wu e Hamada (2000), devemos buscar obter a melhor configuração na definição das especificações através de experimentos exploratórios antecipados, planejados estatisticamente conforme arranjos ortogonais, medindo a função do sistema e testando ao mesmo tempo todas as características críticas sujeitas à variabilidade dos fatores de ruído. Espera-se obter um ganho de qualidade, reduzindo ao mínimo os problemas e conseqüentemente as alterações de projeto na fase final de desenvolvimento do novo produto.

4. Quadro teórico e revisão bibliográfica

Conforme esquematizado pelo diagrama da figura 1, conhecido por "P-Diagram", qualquer produto é um sistema de engenharia que visa a transformação de energia para cumprir determinada função que atenda a uma necessidade de um usuário, atendendo assim a sua expectativa. Este sistema possui várias características que podem ser controladas durante sua produção. Estas características são denominadas **fatores de controle**. Existem outros fatores que estão presentes tanto no processo produtivo quanto no ambiente de uso, que influenciam na funcionalidade deste sistema, e sobre os quais não temos controle ou seu controle tem alto impacto sobre o custo. Estes são denominados **fatores de ruído**. Como sabemos que energia não se cria e não se destrói, quando alguma parte da energia recebida não é utilizada para cumprir a função para a qual o sistema foi concebido, se transforma em alguma outra forma de energia indesejável gerando assim os **sintomas** ou problemas que tanto tentamos resolver. Como exemplos podemos citar, vibrações, ruídos, trincas, desgaste, etc.

Portanto, quando melhoramos um produto aumentando a relação entre a energia que entra no sistema e a energia útil gerada e reduzimos a variabilidade funcional, menos energia sobrarão para ser perdida em sintomas, resolvendo desta forma, vários problemas ao mesmo tempo. Isto pode ser conseguido através da realização de experimentos estatisticamente planejados segundo arranjos ortogonais, medindo-se a **função básica** do sistema (PHADKE, 1989).



Fonte: Adaptado de Fowlkes e Creveling (1995) - P. 148 a 152

Figura 1 - P. Diagram: Diagrama de um produto/processo

5. Metodologia de intervenção na empresa

A metodologia de pesquisa será a pesquisa-ação, que é um tipo de pesquisa social com base empírica concebida e realizada em estreita associação a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLLENT, 1997).

6. Aplicação: Ruído no novo cabo comando embreagem

Situação

Neste estudo estaremos abordando o desenvolvimento de um novo Cabo Comando de Embreagem para substituir o cabo que era utilizado em um veículo que estava sendo comercializado. O cabo normal de produção que estava equipando este veículo estava tendo um histórico de reclamações junto à rede assistencial, devido a um problema de ruptura. Ou seja, muitos clientes estavam tendo de levar seus veículos às concessionárias para substituição deste cabo, devido a sua ruptura. O que tornava este problema mais grave era que com o rompimento deste cabo o cliente tinha seu veículo imobilizado, acarretando um grande transtorno, já que o mesmo tinha que providenciar um reboque para o deslocamento de seu veículo para uma concessionária. Este problema passou a apresentar um índice de ocorrências que justificou a empresa decidir pelo desenvolvimento de um novo cabo comando de embreagem que resolvesse este problema. Assim nasceu o **programa de desenvolvimento deste novo cabo comando de embreagem**.

Na etapa final de desenvolvimento deste cabo, quando o projeto já estava congelado e todos os testes de verificação e durabilidade em bancada e em veículo já estavam concluídos com o cabo sendo aprovados, faltava apenas o teste de "Quality Profile", teste onde um piloto de teste da empresa testava o comportamento em veículo com o novo cabo em vias públicas, tanto em trânsito urbano quanto em rodovia, realizando uma avaliação subjetiva com ótica cliente final. Esta avaliação é realizada conforme uma escala subjetiva SAE (Society of Automotive Engineers), que vai de 01 a 10 e quanto maior a nota melhor a performance do produto quanto ao quesito avaliado. A nota mínima para aprovação é 6 (seis).

Nesta avaliação subjetiva o piloto identificou um problema que se tratava de um ruído perceptível ao motorista no interior do veículo, quando se efetuava mudança de marchas.

O problema identificado

O problema identificado era um ruído baixo acompanhado de aspereza (vibração) que ocorria durante o desacoplamento da embreagem através da liberação do pedal da embreagem, após trocas de marchas. Este ruído era mais perceptível durante o desacoplamento da embreagem em troca de 4º marcha para 3º marcha em altas rotações. Foi percebido que este ruído era devido a transferência de vibração do motor para a posição do motorista no interior do veículo através do cabo de embreagem.

Podemos observar na tabela 1 o resultado da avaliação realizada pelo piloto de teste. Nesta tabela são evidenciados todos os problemas percebidos durante o teste. Podemos verificar nesta tabela o problema mencionado com nota 4 para o veículo com o novo cabo, enquanto que os 03 veículos normais de produção apresentavam-se com uma nota 6. Portanto o novo cabo de embreagem proposto apresentava-se com um nível de qualidade, neste requisito, **menor** que o que ele estava por substituir.

	Novo Cabo	Novo Cabo	Novo Cabo	Normal Produção	
Característica	Chassi				Observações
	2041327	2041328	2041329	2041333	
Operação do Pedal de Embreagem	*6	7	7	7	*Carga
Cabo Embreagem - Vibração	5	5	5	6	
Cabo Embreagem – Aspereza / Ruído	4*	4*	4*	6	*Aspereza / Ruído

Tabela 1 – Resultado da Prova Ótica Cliente

Podemos então verificar aqui um caso típico de problema somente identificado na fase final de desenvolvimento do novo produto.

Objetivo da aplicação de engenharia robusta

O objetivo desta aplicação de engenharia robusta é eliminar a aspereza e o ruído transmitidos para dentro do veículo pelo novo cabo comando da embreagem durante o desacionamento do pedal após uma mudança de marcha em altas rotações do motor. O objetivo era uma nota SAE igual ou superior a 6 na prova de Quality Profile.

Função básica do sistema

A função básica do sistema em estudo é transmitir a força realizada sobre o pedal pelo motorista para a alavanca da embreagem com a finalidade de desacoplar o platô do disco de embreagem, possibilitando as trocas de marchas.

Variável resposta tipo característica dinâmica(Y)

A variável resposta definida será a força de acionamento aplicada na alavanca da embreagem (Kgf), ou seja, a força que chega no final do cabo para acionamento da embreagem. Na bancada esta força foi medida através da célula de carga que se encontra entre o final do cabo e a mola que simula a carga do platô da embreagem.

Sinal medido (M)

O sinal medido será a força aplicada pelo motorista no pedal de embreagem (Kgf). Na bancada esta força foi medida através da célula de carga que se encontra no entre o início do cabo e o pistão pneumático de acionamento.

Função ideal

A função ideal para o sistema em estudo será: toda força aplicada pelo motorista no pedal de embreagem para o desacoplamento da embreagem deveria ser transmitida para a alavanca de acionamento da embreagem, sem perdas.

Fatores de controle e seus níveis (X)

Através de reuniões realizadas com o fornecedor foram identificados os fatores de controle relevantes e seus níveis. Devido aos números de fatores de controle e seus respectivos níveis, foi decidido realizar os experimentos utilizando o arranjo ortogonal L8. Podemos identificar os fatores de controle a serem testados e seus níveis na tabela 2.

FATOR DE CONTROLE	NÍVEL 1	NÍVEL 2
Fornecedor da "Boccola"	A	B
Fornecedor do "Tasselo"	A	B
Terminal	Com Ângulo	Reto
Lay Out	Atual	Modificado
Tubo	Não passante	Passante
Material do "Tubetto"	Poliacetel	Polietileno
Massa "Smorzante"	Sem	Com

Tabela 2 – Os Fatores de Controle e seus Níveis

Fatores de ruído e seus níveis (N)

Nas mesmas reuniões realizadas com o fornecedor foram identificados também os fatores de ruído e seus respectivos níveis, como podemos observar na tabela 3.

FATOR DE RUÍDO	N1: Diminui Y	N2: Aumenta Y
Quantidade de Graxa no Tubetto	2,0 gramas	Sem graxa
Temperatura	30 °C	60 °C

Tabela 3 – Os Fatores de Ruído e seus Níveis

Fatores de sinal (M)

Como o resultado da medição foi uma curva com força compreendida entre 0 e 103 (kgf), foi necessário escolher alguns pontos que seriam utilizados para a análise utilizando o MINITAB®13.31. As forças definidas para a realização das análises foram: 15/30/45/60 (kgf)

Definição e construção das amostras (protótipos)

Conforme as combinações definidas pelo arranjo ortogonal escolhido, os protótipos a serem produzidos tiveram que ter as configurações de acordo com a tabela 4. Estes protótipos foram construídos na linha produtiva do fornecedor, sendo necessário 01 dia para a construção de todos eles. Foram produzidos 02 protótipos de cada configuração, pois seria um testado na condição N1 do fator de ruído e o outro testado na condição N2. Portanto, foi produzido o total de 16 protótipos.

Amostra	Boccola	Tubetto	Tasselo	Material Tubetto	Terminal	Massa Smorzante	Lay Out
1	A	NãoPassante	A	Poliacetel	ComÂngulo	Sem	Atual
2	A	NãoPassante	A	Polietileno	Reto	Com	Modificada
3	A	Passante	B	Poliacetel	ComÂngulo	Com	Modificada
4	A	Passante	B	Polietileno	Reto	Sem	Atual
5	B	NãoPassante	B	Poliacetel	Reto	Sem	Modificada
6	B	NãoPassante	B	Polietileno	ComÂngulo	Com	Atual
7	B	Passante	A	Poliacetel	Reto	Com	Atual
8	B	Passante	A	Polietileno	ComÂngulo	Sem	Modificada

Tabela 4 – Configuração das amostras a serem produzidas e testadas

Análise dos dados e geração de conhecimento

Depois de realizadas todas as medições os dados foram processados utilizando o MINITAB®13.31 sendo calculados os valores de relação sinal/ruído e média para cada nível de fator de ruído medido. Na figura 2 estão representados graficamente os valores de relação sinal / ruído. Aqui fica fácil visualizarmos qual a combinação ótima, ou seja, qual é o melhor nível de cada fator de controle estudado.

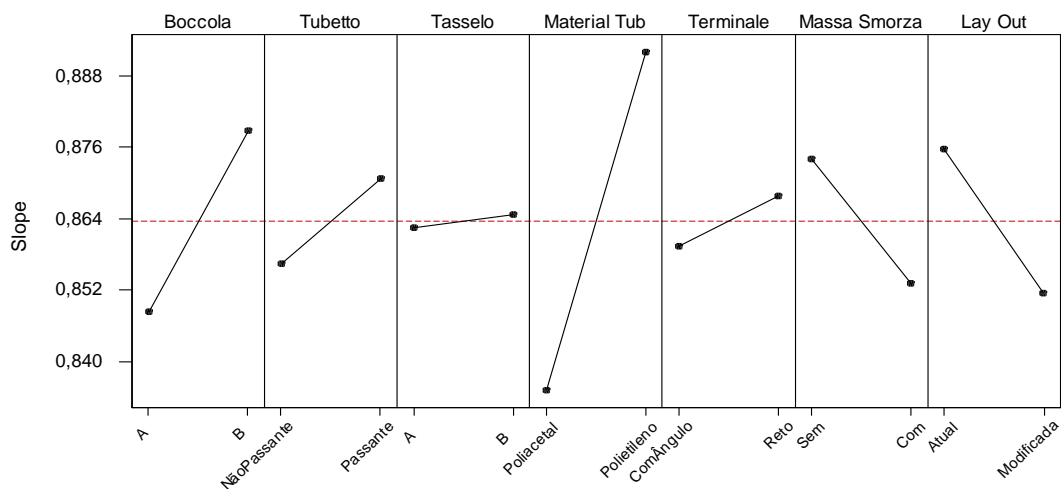


Figura 2 - Gráfico da relação sinal / ruído dos efeitos principais

Analisando o gráfico da figura 2 podemos notar que o melhor nível do fator de controle "Boccola" é o fornecedor B, no caso do fator de controle "Tubetto" o melhor nível é passante. Para o fator "Tasselo" o melhor nível é o fornecedor B, porém é o que tem a menor inclinação da reta, ou seja, apresenta a menor influência, dentre dos fatores de controle estudados, na variável resposta. No caso do "Material do Tubetto" o melhor nível apresentado foi o "Polietileno", podemos verificar também, pela inclinação da reta que é o fator que mais influencia na variável resposta. Para o "Terminale" temos o melhor nível o com ângulo, para o fator "Massa Smorzante" o melhor nível é sem a massa e finalmente o melhor "Lay Out" é o

atual. Desta forma, considerando a variável relação sinal/ruído esta é a combinação ótima para este sistema.

Apesar do componente "Bocolla" do fornecedor B ter apresentado melhores resultados, foi decidido manter o fornecedor A, pois já era o fornecedor deste componente e a mudança de fornecedor acarretaria um atraso muito grande no lançamento deste produto.

Experimento Confirmatório.

Foi montado um cabo com a configuração ótima definida, realizando as mudanças de projeto necessárias e este cabo foi testado na mesma bancada de teste onde foram realizados os experimentos. Verificamos então, conforme a tabela 5, um ganho de rendimento de 11% e um aumento na relação sinal/ruído de 12,85dB, que significa uma redução significativa de variabilidade funcional do sistema.

	Previsão		Confirmação	
	S/N	β	S/N	β
Projeto Original	-7,77	0,83	-7,77	0,82
Projeto Otimizado	5,22	0,93	5,08	0,93
Ganho	12,99	0,10	12,85	0,11

Tabela 5 – Ganho conseguido com a adoção da configuração ótima

Avaliação do novo projeto do Cabo Comando Embreagem na solução do problema observado.

Para validar o Cabo Comando Embreagem re-projetado com a configuração ótima, foi montado um veículo para a realização da mesma prova que detectou o problema, a prova de QUALITY PROFILE. A prova foi realizada pelo mesmo motorista, porém o mesmo não sabia que o veículo se encontrava com um cabo de embreagem re-projetado. Após a realização do teste foi gerada a tabela 6 com os resultados da avaliação subjetiva, nota SAE.

				Projeto Modificado
Característica				Chassi
				2038697
Operação do Pedal de Embreagem				7
Cabo Embreagem – Aspereza / Ruído				6

Tabela 6 – Resultado da Prova Ótica Cliente após a Adoção da Configuração

Pudemos então constatar, que o novo cabo re-projetado era capaz de solucionar o ruído reclamado, uma vez que a nota dada para o atributo ruído/aspereza do comando embreagem foi 6 atendendo ao objetivo imposto para esta prova e ficando com a mesma nota do comando de embreagem a ser substituído.

7. Considerações finais

Com o re-projeto do novo cabo de embreagem melhorando significativamente a qualidade do mesmo, podemos constatar que o projeto inicial apresentava falhas de projeto que vieram a comprometer o lançamento deste produto no mercado, implicando em mudanças muito próximas a data de lançamento.

Portanto, fica caracterizado a necessidade de uma exploração planejada dos parâmetros de controle chaves do produto no início de seu desenvolvimento, buscando evitar modificações próximas ao lançamento, para que sua data não seja comprometida e os custos para a empresa não sejam maiores que os previstos. Além disso, estas atividades não previstas sobrecarregam os profissionais da empresa, podendo comprometer outras atividade importantes.

Modificações de projeto como estas, mobilizam muitos recursos da empresa, tais como: área de experimentação, qualidade, pessoal de documentação técnica, pessoal de CAD para mudança do desenho do produto, a alta administração, pessoal de custo do produto, engenharia do produto principalmente, fornecedor, além de muitos outros. Recursos estes que não estavam previstos para serem gastos nesta etapa do desenvolvimento do produto.

Se este trabalho de engenharia robusta tivesse sido realizado na etapa inicial de projeto do produto, em vez de adotar as características do produto de referência sem uma exploração das possibilidades de projeto, todo este trabalho e mudanças de projeto, teriam sido evitados, além de uma menor utilização de recursos de desenvolvimento.

E o mais importante, teríamos projetado certo da primeira vez um produto robusto, ou seja, insensível às variáveis de produção e de uso.

Referências

- FLEURY, A. & FLEURY, M.T.L. (2000) – *Estratégias Empresariais e Formação de Competências – Um quebra-cabeça caleidoscópico da Indústria Brasileira*. Editora Atlas. São Paulo.
- JURAN, J.M. (1992) – *A Qualidade Desde o Projeto*. Livraria Pioneira Editora. São Paulo
- MINITAB®13.31 – Minitab Inc - Making Data Alalysis Easier
- PHADKE, M.S. (1989) – *Quality Engineering Using Robust Design*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- THIOLLENT, MICHEL (1997) - *Pesquisa-Ação nas Organizações*. Editora: Atlas.
- YANG, K. & EL-HAIK, B.S. (2003) - *Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development*. McGraw-Hill Professional, New York.
- WU, C.F.J & HAMADA, M. (2000) – *Experiments: Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization*. John Wiley & Sons. New York
- FOWLKES, W.Y e CREVELING, C. M. (1995) - *Engineering Methods for Robust Product Design - Using Taguchi Methods in Technology and Product Development*. Editora: Prentice Hall PTR; 1st edition