

MÉTODOS TAGUCHI

A "EXPERIÊNCIA" TAGUCHI

O objectivo principal dos métodos de Taguchi é o de melhorar as características dum processo ou de um produto através da identificação e ajuste dos seus factores controláveis, que irão minimizar a variação do produto final em relação ao seu objectivo. Ao ajustar os factores no seu nível óptimo, os produtos podem ser fabricados de maneira a que se tornem mais robustos a toda e qualquer mudança que possa ocorrer e que seja incontrolável (condições ambientais, variação dimensional, tempos de acondicionamento, etc..).

A definição de qualidade dada pelo Dr. Taguchi, visa fundamentalmente o cliente final. A qualidade é definida duma maneira negativa:

"Qualidade é a perda imposta á actividade a partir do momento em que o produto é expedido"



Dr. Genichi Taguchi

Esta perda inclui os custos da insatisfação dos clientes, que por sua vez conduzem a custos de reputação da empresa. Esta definição é bastante diferente da definição tradicional orientada para o produto, que incluía os custos de trabalho, sucata, garantia e custos de serviços para medir a qualidade. O cliente é a parte mais importante do fluxo deste processo, uma vez que produtos e serviços com qualidade vão garantir o retorno dos clientes, melhorando a reputação e aumentando a cota de mercado.

É do conhecimento geral que a grande qualidade dum produto ou serviço associada à satisfação dos clientes são a chave para a sobrevivência de qualquer empresa. Também é conhecido o facto que as experiências pré-produtivas correctamente projectadas, depois de analisadas vão contribuir significativamente na melhoria da qualidade dum produto. O método mais tradicional de melhoria da qualidade dum produto, consiste em ajustar um factor de cada vez durante essas experiências pré-produtivas. Neste método, o Engenheiro observa o resultado duma experiência, após ter mudado somente 1 factor (parâmetro). Tal metodologia tem como grandes desvantagens os custos elevados de preparação de cada experiência e o tempo necessário para realizar todas as combinações possíveis. Se estivermos a falar dum processo em que hajam 10 factores (parâmetros) diferentes e em que cada um deles tenha 2 graus de liberdade (ou seja, 3 níveis de trabalho ex: parâmetro 1 - vel. de rotação do torno, 1º nível 1000rpm; 2º nível 1100rpm; 3º nível 1200 rpm), o número de experiências necessárias para cobrir todas as hipóteses possíveis seria de $3^{10}=59,049$ (irreal).

Os Japoneses foram os primeiros a perceber o potencial de outro método o DOE (Design of experiments). Contrariamente ao método tradicional, este executa a

mudança sistemática de vários factores simultaneamente, garantido o estado independente de todos os factores do produto.

Na indústria, uma das áreas actualmente em desenvolvimento está relacionada com aplicação das modernas técnicas de controlo de qualidade off-line nos produtos processos. A maioria das ideias para estas técnicas de controlo de qualidade foram desenvolvidas por W.E. Deming tais ideias foram posteriormente desenvolvidas pelo Dr. Genichi Taguchi. Enquanto que a volta principal de Deming foi o de ter convencido as empresas a usar o controlo estatístico nos processos produtivos, Taguchi vai um passo atrás e recua da produção para a concepção reajustando produtos robustos contra a variação tanto dos sistemas produtivos como das condições finais em que vai ser utilizado pelo consumidor.

Os 4 pontos principais da filosofia da qualidade de Taguchi são:

1. Num mercado competitivo, a melhoria contínua da qualidade e a redução de custos são necessárias para que as empresas sobrevivam.
2. Uma medida importante da qualidade de um determinado artigo produzido é o custo total que esse artigo infringe na sociedade.
3. A perda de um consumidor devido a má qualidade é aproximadamente igual ao quadrado do desvio da sua característica de performance em relação ao seu objectivo ou valor nominal.
4. A variação da performance de um produto onde um serviço pode ser reduzido, se observarmos os efeitos não lineares que os factores (parâmetros) têm nas características de performance. Qualquer pequeno desvio do valor objectivo, conduz a uma qualidade.

Taguchi dá um grande ênfase na aproximação entre a engenharia e a qualidade. Afirma que, produzindo com determinados objectivos ou requisitos de maneira a minimizar a variação da performance de um determinado produto, vai-se aumentar a qualidade e a satisfação dos clientes. A essa variação ele chama **ruído**.

Taguchi identifica 3 tipos distintos de ruído.

1. Ruído externo: Variáveis ambientais ou condições de uso que, perturbam as funções do produto (temperatura, humidade, poeira, etc.).
2. Ruído interno: mudanças que sucedem como resultado de um desgaste.
3. Ruído peça – a – peça: Diferenças entre produtos que, são fabricados de acordo com as mesmas especificações.



Em 1999 o FORD TAURUS incorporou exemplos de Engenharia Robusta, um conceito desenvolvido pelo by Dr. Genichi Taguchi of Japan, no controlo de ruídos produzidos pelo sistema de transmissão.

O objectivo é de minimizar o ruído através de actividades de qualidade on-line, e off-line. Taguchi propõe o uso de técnicas e teorias de optimização, juntamente com o projecto de experiências, com o objectivo final

de minimizar as perdas para a sociedade.

PROJECTO DE QUALIDADE DE TAGUCHI

O projecto de qualidade de Taguchi , incide fundamentalmente em 3 áreas distintas:

Projecto do sistema

É o processo de aplicação de conhecimentos de engenharia e científicos de maneira a produzir um projecto básico dum protótipo funcional. O projecto inicial pode ser funcional mas poderá estar muito longe dos termos óptimos de qualidade e de custo.

Projecto de parâmetros

Meios de reduzir custos e melhorar as performances sem remover as causas da variação. O projecto de parâmetros requer sempre uma experiência para a avaliação dos efeitos dos factores de ruído nas características da performance de um determinado produto. O objectivo desta experiência é o de seleccionar os níveis óptimos dos parâmetros do projecto, de maneira que o sistema seja funcional, que tenha um alto nível de performance independentemente das condições de uso, e que seja robusto aos factores de ruído.

Tradicionalmente ,fazer experiências com as variáveis de projecto, mudando uma de cada vez ou por tentativa erro, torna-se um processo muito demorado e muito caro, até encontrar a combinação óptima de parâmetros do projecto. Em muitos casos, devido ás pressões existentes do mercado , o resultado (devido á falta de tempo), é um produto que está longe de ser considerado óptimo. Como exemplo, se um projectista estiver a estudar 13 parâmetros de controle, e cada um tiver 3 níveis, variando 1 factor de cada vez, significaria estudar 1.594.323 configurações experimentais (3^{13}) . É obvio que o tempo e os custos envolvidos na condução de um estudo tão detalhado são proibitivos.

Em contraste, o projecto robusto de Taguchi dá-nos um sistema eficiente na condução de experiências com o intuito de determinar o conjunto óptimo de parâmetros de projecto tanto a nível de performance como de custos. Este método usa matrizes ortogonais, baseado na teoria do projecto de experiências. Usando estas matrizes ortogonais, vamos reduzir significativamente o numero de experiências, em que a quantidade de colunas nessas matrizes, representa o numero máximo de factores que podem ser estudados.



Usando os métodos de Taguchi, John Elter do departamento de desenvolvimento da Xerox desenvolveu uma nova copiadora que alcançou 70% da cota de mercado

Projecto de tolerâncias

Meios de reduzir a variação controlando as causas , mas com aumento de custo.

É o processo de determinação de tolerâncias á volta dos valores nominais seleccionados na fase do projecto de parâmetros. O projecto de tolerâncias é necessário se o projecto robusto não conseguir produzir a performance desejada sem o uso de componentes especiais muito dispendiosos ou processos de grande precisão.

O projecto de parâmetros e o projecto de tolerâncias , têm como base a optimização da rácio Custo/Performance , utilizando a tecnologia do projecto/planeamento de experiências.

TIPOS DE FUNÇÕES QUALIDADE - CUSTO

1. Nominal-é-melhor:

$$L(y) = \frac{A_0}{\Delta_0^2} \times (y - m)^2$$

O custo de qualidade é sempre indesejável em qualquer dos lados do valor objectivo.

Exemplos de tipos de problemas Nominal-é-melhor.

- Controlo do fluxo de aerossol numa lata de spray
- Tornear o cilindro dum motor para atingir um determinado diâmetro
- Controlar o diâmetro dum filamento numa lâmpada
- Controlar a viscosidade dum óleo automóvel
- Controlar o diâmetro dum pneu

A função-custo Nominal-é-melhor, pode ser somente aplicada a uma peça ou produto, como também ao custo médio associado a mais do que uma unidade.

O conceito de custo médio é essencial para a interpretação do conceito do rácio S/N.

Consequentemente, vale a pena verificar como este custo se vai decompor em duas partes distintas: A contribuição devida ao valor médio estar fora do objectivo, e a contribuição devida à variância.

$$K = \frac{A_0}{\Delta_0^2}$$
Sendo $\frac{A_0}{\Delta_0^2}$, a minha função custo final para n unidades produzidas vai ser:
$$L(y) = K[S^2 + (\bar{y} - m)^2]$$

Para reduzir custos, vou ter que minimizar a expressão $[S^2 + (\bar{y} - m)^2]$, e tal pode ser feito das duas seguintes maneiras:

- Reduzir a variação que está a causar a dispersão em volta do valor \bar{y} , ou seja, minimizar S^2 .
- Ajustar a resposta média \bar{y} , aproximando-a do valor objectivo m ,
 $(\bar{y} - m)^2 = 0$

2. Menor-é-melhor:

$$L(y) = K(y)^2$$

Algumas respostas nunca têm valores negativos, a sua resposta ideal é 0.

À medida que y se afasta de 0, a performance piora e o custo começa a aumentar.

Exemplos de tipos de problemas Menor-é-melhor.

- Fuga de radiações no microondas
- Quantidade de papel encravado na copiadora
- Defeitos numa imagem
- Poluição do sistema de exaustão dum automóvel
- Vibração na coluna de direcção
- Corrosão nos materiais

Tal como no exemplo anterior, a função Menor-é-melhor pode ser somente aplicada a uma peça ou produto, como também ao custo médio associado a mais do que uma unidade.

$$K = \frac{A_0}{\Delta_0^2}$$

sendo $K = \frac{A_0}{\Delta_0^2}$, a minha função custo final para n unidades produzidas vai ser:

$$L(y) = K \left[S^2 + (\bar{y})^2 \right]$$

Uma vez que o valor ideal é 0, \bar{y} é o desvio da média em relação a 0. A função ideal está focada no mínimo valor possível da resposta.

3. Maior-é-melhor:

$$L(y) = A_0 \Delta_0^2 \left(\frac{1}{(y)^2} \right)$$

Conceptualmente, nestes casos, à medida que o valor da performance se aproxima de infinito, o custo da qualidade aproximasse de 0. Esta função é simplesmente o inverso da Menor-é-melhor.

Exemplos de tipos de problemas Maior-é-melhor.

- Força de aderência
- Força duma junta soldada
- A capacidade de tracção dum pneu
- Numero de quilómetros feitos com 1L de gasolina
- Resistência à corrosão duma carroçaria

Tal como anteriormente, a função Maior-é-melhor pode ser somente aplicada a uma peça ou produto, como também ao custo médio associado a mais do que uma unidade.

sendo $K = A_0 \Delta_0^2$, a minha função custo final para n unidades produzidas vai ser:

$$L(y) = K \left(1 + \frac{3S^2}{\bar{y}^2} \right)$$

4. Nominal-é-melhor-assimétrico:

Há certas situações, em que a performance de uma determinada característica causa mais danos, se for desviada para direcções opostas do seu valor objectivo.

A função de custo assimétrica de custo toma então a seguinte forma:

$$L^+(y) = K^+(y - m)^2, y > m$$

$$L^-(y) = K^-(y - m)^2, y \leq m$$

Exemplos de tipos de problemas Nominal-é-melhor-assimétrico.

- A quantidade de toner que uma fotocopiadora usa para reproduzir uma imagem. Muito toner vai aumentar o custo do mesmo, que vai ser mais dispendioso, pouco toner, vai produzir imagens deficientes, que vai dar origem a uma rejeição imediata
- Variação da temperatura de um frigorífico. Estraga-se mais comida se a temperatura subir acima do seu valor nominal, do que se ela baixar

[Topo](#)

SINAL DE RUÍDO

A função de perda de Taguchi (perda para a sociedade), e os rácios de sinal - de - ruído (S/N) são elementos críticos deste procedimento de optimização.

O rácio S/N é uma medida de performance , que serve para escolher os níveis dos factores que melhor se comportam com o ruído. Este rácio depende da média e da variabilidade.

São definidas essencialmente 3 formas de funções de perda:

1. Quanto - menor - melhor: (níveis de impurezas , defeitos encontrados, etc.)
2. Quanto - maior - melhor: (eficiência de combustíveis , resistência á corrosão, etc.)
3. Quanto - nominal - melhor: (Diâmetro interior/exterior , nível de humidade, etc.)

Para cada uma destas 3 categorias de Sinal - de - ruído, cada transformação η é expressa em decibéis (dB), em vez de unidades observadas.

Menor é melhor

$$\eta = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Y_i^2 \right)$$

Maior é melhor

$$\eta = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \frac{1}{Y_i^2} \right)$$

Nominal é melhor

$$\eta = 10 \log_{10} \left(\frac{\bar{Y}^2}{s^2} \right), \text{ (só com valores positivos)}$$

onde ;

$$\bar{Y} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Y_i \quad \text{e} \quad s^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (Y_i - \bar{Y})^2$$

ou

$$\eta = -10 \log \left[\frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (Y_i - \bar{Y})^2 \right], \text{ (para valores positivos e negativos)}.$$

η = Transformação sinal - de - ruído, medido em decibéis (dB), e para todas as situações quanto maior melhor.

r = Numero de combinações de observações da matriz externa, usada em cada combinação da matriz interna.

Y_i = i-nésima resposta observada para cada combinação numa matriz interna

\bar{Y} = Média das respostas observadas para cada combinação numa matriz interna

s^2 = Variância das respostas observadas para cada combinação numa matriz interna

DESCRIÇÃO DAS ETAPAS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROJECTO DE EXPERIÊNCIAS

1. Estabelecer o problema a ser solucionado. É necessária uma compreensão clara do problema por todos que vão estar envolvidos com a experiência, para que o mesmo possa ser estruturado. A determinação do problema deve ser especificada, e se múltiplas respostas estiverem envolvidas, devemos considera-las.
2. Determinar o objectivo da experiência. Isto inclui a identificação das características de desempenho (de preferência mensuráveis, e o nível de desempenho exigido quando a experiência estiver concluída).
3. Determinar o(s) método(s) de medição. O sistema de medição pode exigir uma experiência em separado para melhorar a precisão das medições.
4. Identificar os factores que supomos que exercem influencia sobre as características de desempenho. Deve-se recorrer a um grupo de pessoas associadas ao produto ou ao processo. Brainstorming, fluxogramas e/ou diagramas de Ishikawa devem ser empregados afim de auxiliar na obtenção dos factores a serem investigados.
5. Divida os factores em factores de controlo e de ruído.
6. Determine o numero de níveis para todos os factores. Os graus de liberdade exigidos são uma função directa no número de níveis dos factores. Para uma experiência inicial de separação o numero de níveis deve manter-se baixo.

7. Identificar os factores de controle que possam interagir. Estas interacções também usam graus de liberdade e são determinantes para o tamanho da experiência. Como estratégia aceitável, podemos seleccionar o tamanho da experiência baseando-nos somente nos factores e, se ainda houver alguma coluna disponível vamos atribuí-las a interacções.
8. Trace o gráfico linear exigido para factores de controle e interacções. Os factores e interacções desejados podem exercer influência sobre a matriz ortogonal seleccionada.
9. Selecciona as matrizes ortogonais.
10. Atribua factores e interacções às colunas. O gráfico linear de uma matriz ortogonal deve sofrer modificações a fim de se ajustar à forma exigida. O número de níveis numa coluna também pode ser modificado nesta etapa. Ambas as matrizes, internas e externas, possuirão as mesmas condições de atribuição; no entanto, a matriz externa não deve ser tão complexa quanto a matriz interna, pois a externa é apenas ruído, que é controlado somente na experiência.
11. Execute a experiência. Estratégias de aleatorização devem ser consideradas no projecto do experiências.
12. Analise os dados. Diversos métodos foram apresentados para analisar os dados: método de observação, método de classificação, método dos efeitos da coluna, ANOVA, ANOVA S/R, gráficos da média, gráficos da interacção etc. Se a experiência sofreu desequilíbrio em decorrência de um erro, a análise dos dados deverá levar isto em consideração ou o ensaio deverá ser executado novamente, para que o erro seja reparado.
13. Interprete os resultados. Determine quais os factores que exercem influência e os que não exercem influência na característica principal de desempenho.
14. Selecciona os níveis óptimos dos factores de controle que mais influenciam e faça uma previsão dos resultados esperados. Os factores influentes são somente os que necessariamente possuem o nível determinado ou controlado. Os factores não influentes devem ser estabelecidos a um nível de custo mínimo.
15. Execute a experiência de confirmação. Isto demonstra que os factores e níveis seleccionados para os factores influentes realmente proporcionam os resultados desejados. Os factores não - influentes podem ser estabelecidos dentro de seu nível económico no decorrer do desenvolvimento da experiência de confirmação. se os resultados não correspondem às expectativas, conseqüentemente algum factor importante poderá ter sido omitido da experiência e será preciso efectuar novas experiências.
16. Retorne à etapa 4 se o objectivo da experiência não foi alcançado e uma optimização adicional for possível com factores confirmados.