

3 Conclusão: a polêmica e as diferenças

Segundo JTEC/WTEC (1995), grande parte da discordância que se tem hoje sobre os métodos de Taguchi deve-se aos aspectos estatísticos do procedimento, particularmente em relação à razão sinal-ruído. (Ressalte-se que é costume analisar a média e a variância separadamente, enquanto que Taguchi propõe a combinação desses dois parâmetros através da razão sinal-ruído.) No entanto, o aspecto realmente inovador que deve ser enfatizado é a estrutura conceitual da metodologia proposta por Taguchi. Para melhorar a qualidade e robustecer o produto ou o processo, há duas idéias básicas que se destacam:

- 1) a medida da qualidade deve ser feita observando-se o desvio em relação a um valor-alvo, ao invés de apenas se cuidar para manter a característica da qualidade dentro dos limites da tolerância.

Os métodos de Taguchi orientam os usuários para eliminarem as variações que interferem com a obtenção do valor nominal – o que é orientação diferente da estatística tradicional, que força a variável a se manter dentro dos limites da tolerância e utiliza esses limites para medir a qualidade do produto ou processo. Para Taguchi, a qualidade do produto ou processo é medida pelo afastamento do valor medido de seu valor-alvo, e não se consegue a redução de perdas apenas cumprindo os limites das especificações do projeto, como usualmente é feito: é necessário alcançar o valor-alvo. Dessa forma, é necessário também manter-se um processo contínuo de aperfeiçoamento da qualidade para não só reduzir a variação no desempenho, mas também para minimizar o custo total, tanto para a empresa como para a sociedade.

- 2) a qualidade precisa ser **construída** através de um projeto de produto ou processo apropriado.

Só dessa forma é possível otimizar as variáveis do processo, tornando-as insensíveis aos fatores de ruído. Para Taguchi, não se trata de detectar produtos com defeitos para rejeitá-los durante a manufatura ou depois de acabados, mas sim de tomar providências para evitar que isso aconteça: através do projeto adequado do sistema, o processo pode se tornar insensível às variações, evitando custos de rejeição e/ou de retrabalho. É por isso que Taguchi divide o ciclo do projeto nas três fases: projeto do sistema, projeto do parâmetro e projeto da tolerância, já comentadas anteriormente.

Na estatística tradicional, a otimização preocupa-se, primeiro, com a resposta média da variável de interesse e aplica testes de significância, para avaliar a importância relativa dessa variável. Já a modelação segundo Taguchi procura encontrar os níveis dos fatores que minimizam a variância enquanto a média é mantida no alvo. Utiliza testes de sensibilidade nos parâmetros, para avaliar a importância que têm no processo, mas não utiliza testes de significância sistematicamente.

A identificação das variáveis significativas, na prática de Taguchi, é feita na própria modelagem do trabalho, enquanto que a estatística tradicional separa claramente a fase do rastreamento da fase da modelagem.

Os métodos de Taguchi procuram modelar explicitamente os fatores de ruído e exigem minuciosa análise na escolha da característica da qualidade, cuja resposta é base para o cálculo da razão sinal-ruído. Já a estatística tradicional examina apenas os fatores de influência e suas possíveis inter-relações, sem se preocupar com os fatores de ruído.

Tanto o delineamento clássico como o delineamento robusto utilizam os princípios básicos do delineamento de experimentos. No entanto, os objetivos são encarados de forma diferente, como se se tratassem de problemas diferentes.

Enquanto que as condições experimentais geralmente se restringem à utilização inicial do fatorial fracionado, quase sempre em dois níveis –, os arranjos ortogonais e os gráficos lineares dão grande flexibilidade ao planejamento com muitos fatores.

Tentando explicitar ainda mais a diferença existente entre os métodos estatísticos tradicionais e os métodos de Taguchi, Lin, Sullivan & Taguchi (1990) resumem: os métodos estatísticos relatam **o que aconteceu** e os métodos de Taguchi informam sobre **como fazer acontecer** o que se deseja. Em outras palavras, agindo sobre o projeto do produto e do processo, essa nova metodologia procura se antecipar a problemas possíveis e prepara a empresa e as pessoas para enfrentá-los.

A verdade é que Taguchi e seus métodos vêm sendo “descobertos” paulatinamente pelos engenheiros, e estão despontando como instrumentos úteis e de aplicação relativamente fácil, com resultados animadores para redução de custos e para melhoria da qualidade.

Esses métodos vêm sendo atacados e defendidos, como costuma acontecer com propostas inovadoras – e isso, com segurança, pode-se afirmar sobre os métodos de Taguchi: são inovadores na sua operacionalidade e na facilidade com que produzem resultados práticos e úteis. Mesmo utilizando parte de instrumental retirado da estatística experimental tradicional – cuja origem remonta ao final dos anos 20 –, conseguem ser aplicados pelos engenheiros de forma nova e produtiva.

Os métodos de Taguchi são voltados para aplicações da Engenharia, e provêem os engenheiros com ferramentas simples para reduzir a variabilidade do produto ou processo desde o início da fase de pesquisa e de desenvolvimento até o final da linha de produção, incluindo o posterior acompanhamento do desempenho junto ao cliente ou consumidor. Quanto à divergência dos estatísticos em relação à recém-surgida metodologia, Bendell (1993) alerta para o fato de que os métodos de Taguchi foram desenvolvidos, divulgados e implementados por engenheiros. “Mantenham os estatísticos em seu lugar”, diz o autor (p. 18). Grove & Davis (1995) concordam com isso, atribuindo a pobreza de comunicação entre estatísticos e engenheiros – e também a particular situação do material didático disponível, salvo raras exceções – em parte ao fato de que a experimentação estatística tradicional foi desenvolvida para aplicações em agricultura, e não reconheceu algumas das características operacionais especiais em indústrias.

Além do benefício para a qualidade, que advém da aplicação da filosofia de Taguchi, há a vantagem de que esse modelo permite a engenheiros utilizarem-no de forma rotineira. Como outro aspecto positivo, tem-se também que os métodos de Taguchi estimulam

aplicações mais extensas dos métodos estatísticos existentes e, por outro lado, representam um excelente ponto de partida para novas pesquisas em métodos de melhoria da qualidade.

Tudo indica que o desenvolvimento de métodos estatísticos voltados para o aperfeiçoamento da qualidade do produto e do processo está apenas começando.

Referências bibliográficas comentadas

- 1 ANTHONY, J., KAYE, M. A methodology for Taguchi design of experiments for continuous quality improvement. *QW TS*, Sept. 1995. p. 98-102.

O trabalho apresenta uma metodologia genérica para auxiliar empresas a implementarem o delineamento de experimentos conforme proposto por Taguchi. Está incluída uma carta de fluxo com 10 passos seqüenciais, que vão desde a identificação do problema até a interpretação dos resultados obtidos da análise estatística. Segundo os autores, a metodologia resultante permite construir um sistema auxiliado por computador, que pode ser útil a empresas que desejam alcançar o estado de melhoria contínua da qualidade.

- 2 BARKER, Thomas B. *Engineering quality by design: interpreting the Taguchi approach*. New York: Marcel Dekker, 1990. (Inc.).

O livro apresenta a metodologia de Taguchi de maneira acessível, explorando a noção de ruído, a importância da razão sinal-ruído no projeto do produto ou processo, com exemplos freqüentes e bastante ilustrativos sobre a "construção da qualidade" apoiada no projeto dos parâmetros e no projeto da tolerância. Há problemas propostos ao final de cada tópico abordado.

- 3 BENDELL, A. Introduction to Taguchi methodology. In: *Annals of European Conference on Taguchi's Methods*. New York: ASME Press, 1993. p. 1-14.

Este trabalho, apresentado pelo autor na citada Conferência, descreve, com poucas palavras, o que é a metodologia de Taguchi, discute se essas ferramentas já não estão sendo aplicadas (com outro nome), responde "o que é" e "o que não é" essa nova filosofia para a qualidade, e conclui com bons augúrios para a proposta de Taguchi.

- 4 BENDELL, A. Taguchi methods in the United Kingdom. In: *Annals of European Conference on Taguchi's Methods*. New York: ASME Press, 1992. p. 15-16.

O autor relata, neste curto *paper*, como tem sido a aplicação da metodologia de Taguchi no Reino Unido, em 1990 e 1991. Em um rompante, escreve: *keeping statisticians in their place*, para ressaltar as vantagens da metodologia aplicada de Taguchi sobre a estatística experimental clássica.

- 5 CYMBALISTA, Melvin. *Qualidade no projeto: metodologia Taguchi*. São Paulo: MegaEvento, Atualização Profissional, 1992. 14 p. (Apostila).

O texto situa a Engenharia de Qualidade frente ao controle de qualidade *on-line* e *off-line*, caracterizando a função perda, conforme enunciada por Taguchi. Discute a relação sinal-ruído e introduz o delineamento de experimentos através de um arranjo ortogonal L8. Na matriz de cálculo, apresenta o tratamento estatístico para estudar simultaneamente a influência de fatores internos e externos.

- 6 COCHRAN, W. G., COX, G. M. *Experimental designs*. 2nd. ed. New York: John Wiley and Sons, 1992.

Com a primeira edição datada de 1950 e diversas reimpressões, é um livro básico para a estatística experimental, freqüentemente citado por pesquisadores da área. Traz os experimentos fatoriais, *confounding* e fatoriais fracionados, traz também quadrados latinos e os modelos clássicos da estatística experimental, passando pelo método da superfície de resposta e delineamento em blocos.

- 7 COLEMAN, D. E., MONTGOMERY, D. C. A systematic approach for a designed industrial experiment. *Technometrics*, n. 1, v. 35, Feb. 1993. p. 1-27.

O artigo sugere um conjunto de ferramentas da estatística clássica para serem utilizadas em experimentos industriais: são instrumentos para sistematizar o planejamento do processo e simultaneamente produzir uma documentação escrita organizada. Há um estudo de casos e, na seqüência do artigo, há também quatro textos de diferentes autores, discutindo a proposta inicialmente apresentada. Finalmente, há a resposta dos autores aos quatro textos de discussão.

- 8 COSTA NETO, P. L. de Oliveira. *Estatística*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

Livro didático para ensino da estatística clássica, contém tópicos de estatística descritiva, distribuições amostrais e estimação de parâmetros. Faz exposição bastante clara sobre os testes de hipóteses e sobre a comparação de médias. Contém grande número de exercícios resolvidos, exercícios propostos e solução para alguns problemas selecionados.

- 9 DIETER, G. E. *Engineering design: a materials and processing approach*. 2nd. ed. New York: McGraw-Hill, 1991.

Extenso e volumoso trabalho sobre o processo do projeto em engenharia. Aborda métodos de projeto (contendo tópicos como criatividade, projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado), otimização, seleção de materiais, interação entre materiais, projeto e processo e avaliação de custo. Dedicou um capítulo para a *engenharia da estatística* (onde aborda probabilidades, distribuições amostrais, testes de hipóteses, análise de variância, delineamento fatorial, metodologia da superfície de resposta) e um capítulo para a *engenharia da qualidade*, em que expõe a base da metodologia de Taguchi.

- 10 FERREIRA, A. B. *Produto total e projeto total: processo para a qualidade do projeto a partir da voz do cliente*. São Paulo, 1993. 160p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Dentro da linha "a qualidade do produto começa com o projeto", o autor propõe um modelo de Produto Total e Projeto Total, com o objetivo de diminuir o insucesso de produtos quando lançados no mercado. Focaliza as necessidades do consumidor durante o desenvolvimento do produto, buscando atender à demanda do mercado com baixo custo, alta qualidade e disponibilidade para pronta entrega. Aplica QFD e a metodologia de Taguchi, como parte das ferramentas de que necessita para seu trabalho.

- 11 GROVE, D. M., DAVIS, T. P. *Engineering, quality and experimental design*. England; Longman Group, 1995.

É um livro de delineamento de experimentos baseado nos Métodos de Taguchi. O autor começa o texto com explicações sobre "redução de variação" e prossegue com fatoriais fracionados, análise de variância, experimentos com dois e três níveis, regressão múltipla, até chegar ao projeto do parâmetro, razão sinal-ruído e variação transmitida. Ao final, aborda a razão sinal-ruído e contrastes ortogonais, ambos para sistemas dinâmicos. Apresenta muitos estudos de caso.

- 12 HAMADA, M. Using statistically designed experimented to improve reliability and to achieve robust reliability. *IEEE Transactions on Reliability*, v. 44, n. 2, 1995. p. 206-215.

O trabalho explica como deve ser o delineamento de experimentos estatísticos para aperfeiçoar a confiabilidade, utilizando a metodologia de Taguchi. Apresenta um tipo de planejamento experimental especificamente desenvolvido para se obter confiabilidade robusta. Tanto o planejamento experimental quanto os métodos de análise são ilustrados com três experimentos documentados, provindos de casos práticos examinados pelo autor.

- 13 HENDRIX, C. D. *What every technologist should know about experimental design*. New York: CHEMTECH, Mar. 1990. 28 p.

O trabalho consiste e num "roteiro" para orientar pesquisadores na elaboração do projeto experimental, visando à triagem de fatores potencialmente importantes para o experimento estudado e visando também ao entendimento de como essas variáveis afetam as propriedades do produto. Aborda os fatoriais fracionados e exemplifica com um estudo de 15 variáveis em 16 ensaios, caracterizando o chamado experimento fatorial fracionado saturado.

- 14 JTEC/WTEC - *Design of experiments, quality control and Taguchi methods*. Internet: Hyper-Librarian, <http://www.edrc.cmu.edu>, Aug. 1995. 3 p.

Apresentam-se, aqui, generalidades sobre a metodologia Taguchi, expostas de forma atrativa e fácil de entender. O artigo faz parte de uma série maior, contendo trabalhos colocados na Internet à disposição dos interessados no assunto.

- 15 KACKAR, R. N. Taguchi's quality philosophy: analysis and commentary. *Quality Progress*, Dec. 1986. p. 21-29.

Na data da publicação deste *paper*, a metodologia proposta por Taguchi ainda era pouco conhecida. Apesar disso, já aqui o autor aborda sete pontos considerados importantes para explicar a recém-chegada (na época) filosofia de qualidade de Taguchi. Entre esses pontos, destacam-se a perda imposta pelo produto à sociedade, a melhoria contínua da qualidade (apresentada como essencial para empresas, em qualquer economia competitiva), a necessidade de redução na variação das características de desempenho do produto e a idéia de que é possível reduzir essa variação de desempenho explorando os efeitos não-lineares dos parâmetros dos produtos ou processos sobre as características de desempenho.

- 16 KNOWLTON, J., KEPPINGER, R. The experimentation process: six steps to effectively design experiments. *Quality Progress*, Feb. 1993. p. 43-47.

Os autores definem o processo experimental como sendo necessariamente um esforço de grupo. Desse modo, elaboram sugestões em seis passos sobre como deve ser composta a equipe que vai participar do projeto, como deve ser estabelecida a missão da equipe, como deve ser desenvolvido o entendimento comum da missão, como a equipe deve proceder para selecionar os fatores – e seus respectivos níveis – a serem estudados, como deve ser montado o projeto experimental, como devem ser analisados os resultados e implementada a solução encontrada. Assim, entendem minimizar os esforços negativos e dispersos, concentrando-os no objetivo para o qual o processo experimental foi constituído.

- 17 LIN, Paul K. H., SULLIVAN, Lawrence P., TAGUCHI, G. Using Taguchi Methods in Quality Engineering. *Quality Progress*, v. 23, n. 9, Sept. 1990. p. 55-59.

Os autores defendem a inclusão da metodologia Taguchi nos programas de treinamento para a Engenharia de Qualidade. Explicam as diferenças básicas que, no seu entendimento, existem entre os métodos estatísticos e os métodos experimentais propostos por Taguchi, e dão grande ênfase à filosofia que necessariamente acompanha essas novas técnicas para melhoria da qualidade.

- 18 LOPES, F. G. *Off-line quality control: aplicação de QFD, FMEA e Taguchi no desenvolvimento de produtos injetados*. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1991. (Trabalho de formatura.).

O autor descreve sua atividade como estagiário e relata sua experiência com delineamento de experimentos e a metodologia de Taguchi na COFADE, uma empresa associada aos grupos COFAP e BASF. Utiliza também QFD para o estudo da melhoria do processo e de produtos no setor industrial ao qual estava vinculado. Demonstra que, no seu caso, apenas o controle estatístico do processo era claramente insuficiente para levar adiante os objetivos propostos, e a aplicação dos métodos de Taguchi se impôs. Explica com detalhes os passos de decisão tomados, sempre dentro da metodologia escolhida para trabalhar. O conteúdo do trabalho tem nível técnico admirável, e supera muito o que se espera de um trabalho de formatura.

- 19 MONTGOMERY, D.C. *Design and analysis of experiments*. 3rd. ed. New York: John Wiley & Sons, 1991.

Texto bem amplo sobre a Estatística Experimental, aborda desde análise de variância a fatoriais fracionados, passando pelos diferentes modelos de delineamento em blocos, inclusive quadrados latinos e contrastes ortogonais. Contém extenso estudo sobre o método da Superfície de Resposta. Parte do capítulo 12 é dedicado à contribuição que Taguchi trouxe para a Engenharia da Qualidade. Traz exercícios resolvidos ao longo do texto e propõe problemas ao final de cada capítulo.

- 20 MONTORO, E. R. *Estatística aplicada a processos críticos: ferramenta essencial para o sistema da qualidade*. São Luís (MA): ALCOA, 1993. Módulo 1, 68 p.

Baseado nas experiências profissionais e de ensino vivenciadas na ALUMAR (São Luís, MA), empresa do grupo Alcoa Alumínio S. A., o autor produziu um texto de fácil leitura sobre o tradicional delineamento de experimentos, incluindo análise de variância e testes para verificação da estabilidade da variância. Contém muitos exercícios propostos.

- 21 MOOD, A. M., GRAYBILL, F. A., BOES, D. C. *Introduction to the theory of statistics*. 3. ed. Tokyo: McGraw-Hill e Kogakusha, 1974.

Texto extenso sobre a estatística tradicional, aborda a teoria de probabilidades, variáveis aleatórias, distribuições de probabilidades, teoria da amostragem, teoria da estimação paramétrica, testes de hipóteses e métodos não-paramétricos. Contém detalhadas demonstrações de teoremas, com aplicações em problemas apresentados ao longo do texto. Faz-se acompanhar de um "manual do professor", com respostas aos problemas propostos.

- 22 MORETTIN, P. A., BUSSAB, W. O. *Estatística básica*. São Paulo: Atual, 1984.

Texto introdutório e bastante didático sobre análise exploratória de dados, teoria de probabilidades, iniciação à inferência estatística, com testes de hipóteses e rudimentos da estimação. Linguagem simples e de fácil entendimento, contém exemplos resolvidos e propostos.

- 23 PALADINI, E. P., STANGE, P., LOUREIRO, F. M., TURNES, O. *Qualidade segundo Taguchi: um método, uma filosofia*. Seminário apresentado na disciplina "Organização e administração de sistemas de qualidade". Florianópolis: Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, da UFSC, 1993. (Não publicado).

É um conjunto de textos de vários autores abordando a metodologia de Taguchi, reunidos para orientação de alunos na disciplina de especialização citada acima e para outra ("Tópicos especiais em gestão da qualidade I"), esta ministrada em nível de pós-graduação. Contém textos traduzidos, textos manuscritos, textos copiados e notas de aulas.

- 24 PHADKE, M. S. *Quality engineering using robust design*. New Jersey: Prentice-Hall e AT&T, 1989.

O autor escreve um livro sobre a metodologia de Taguchi apoiado em sua experiência profissional na AT&T Bell Laboratories, o que o coloca na categoria dos livros mais interessantes escritos sobre o assunto, principalmente devido aos estudos de caso incorporados. A abordagem é feita de maneira leve e muito prática (leitura *para engenheiros?*), embora o texto seja consistente e contenha os principais tópicos daquela metodologia. Entre outras coisas, descreve como deve ser o apoio computacional para projeto robusto e exemplifica, ainda, o projeto de sistemas dinâmicos, todos trabalhados com a sistemática de Taguchi.

- 25 PIMENTEL GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. 13. ed. São Paulo: Nobel, 1990.

Já em 13ª. edição, é um dos principais livros em português sobre Estatística Experimental, contendo os modelos tradicionais de delineamento de experimentos. O fatorial fracionado é apresentado com clareza, com até 4 níveis para cada fator. Apresenta exemplos resolvidos para quase todos os modelos e traz muitos casos práticos ilustrativos.

- 26 ROSS, P. J. *Aplicações das técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade*. Rio: Makron Books, 1991.

É um dos dois livros em português que trabalham didaticamente as técnicas de Taguchi. O texto apresenta a filosofia subjacente à metodologia de Taguchi e introduz a análise de variância, antes de apresentar os arranjos ortogonais e os projetos de parâmetros e de tolerâncias. Traz muitos exemplos numéricos e práticos. A desvantagem principal do livro está na grande quantidade de erros que contém: erros de português, erros de datilografia e, principalmente, erros de

tradução, o que torna a leitura penosa e, às vezes, ininteligível – remetendo o leitor de volta ao original em inglês.

- 27 RYAN, T. P. *Statistical methods for quality improvements*. Iowa: University of Iowa, 1988.

O autor apresenta a estatística experimental tradicional, em que se incluem cartas de controle, métodos estatísticos, delineamento de experimentos, análise de médias, etc. Dedicou o capítulo 14 à análise e avaliação dos métodos de Taguchi, e relaciona diversos aspectos desfavoráveis a essa metodologia. Termina por recomendar cautela aos usuários dessas novas técnicas, já que muitos aspectos ainda não foram demonstrados e precisam ser mais bem estudados.

- 28 SNEE, R. D. Creating robust work processes: a process must be not only effective and efficient, but robust. *Quality Progress*. Feb. 1993. p. 37-41.

O autor estuda o processo de trabalho como sendo atividade realizada por pessoas que transformam materiais e informações em saídas (respostas) para serem utilizadas por indivíduos ou por grupos. Nesse sentido, propõe medidas para robustecer esse processo, através da redução de variações: o processo e seus produtos são projetados para minimizar o efeito de fatores incontroláveis. No conjunto dessas medidas sugeridas, há uma seqüência de oito passos a serem seguidos para se progredir continuamente desde a identificação dos fatores não-controláveis até o estabelecimento de um processo produtivo comprovadamente robusto. Duas listas de exemplos imaginativos tornam o *paper* particularmente interessante: o primeiro é a lista de exemplos que têm – e que não têm – robustez, e o segundo é a lista que relaciona os aspectos visíveis da falta de robustez de um processo de trabalho.

- 29 STEPHENS, M. P. Comparison of robustness of Taguchi's methods with classical ANOVA under conditions of homogeneous variances. *Quality Engineering*, 7(1), 1995. p. 147-167.

O autor se propõe a esclarecer dúvidas quanto à discutida eficiência dos métodos de Taguchi e elaborou uma série de experimentos para comparar os resultados apresentados pelos testes estatísticos tradicionais com os testes feitos a partir da metodologia proposta por Taguchi. Utilizando simulação para gerar os dados de entrada, chegou a resultados amplamente desfavoráveis à utilização da relação sinal-ruído para tomada de decisão estatística. Termina o artigo recomendando que os pesquisadores se atenham à metodologia tradicional, para evitarem erros ingênuos e/ou grosseiros decorrentes da utilização da relação S/N, conforme proposta de Taguchi.

- 30 TAGUCHI, G. *Introduction to quality engineering: design quality into products and processes*. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1986.

É um dos primeiros livros de Taguchi traduzidos para o inglês. Muito didático ao expor os conceitos de sua metodologia, Taguchi sugere que esse texto sirva de guia para um curso de seis sessões sobre o assunto. O livro inclui todos os itens principais da abordagem de Taguchi, tais como função perda, projeto de tolerância, projeto de parâmetros, aborda os casos de projeto com características *menor-é-melhor*, *maior-é-melhor* e inclui estudo sobre projetos experimentais que enfocam características dinâmicas, tais como a controlabilidade de um automóvel, o desempenho de uma máquina-ferramenta, de um robô industrial ou de uma raquete de tênis, que variam com o passar do tempo. Ao final de cada capítulo, propõe um problema sobre o assunto abordado naquele capítulo e traz também uma sessão de discussão (professor *versus* aluno) referente ao tema.

- 31 TAGUCHI, G. *Systems of experimental design: engineering methods to optimize quality and minimize costs*. New York: UNIPUB / Kraus International Publications, 1987. v. 1 e 2.

Talvez estes sejam os dois volumes mais completos em relação à obra de Taguchi, com apresentação de grande quantidade de exemplos relacionados com a metodologia desenvolvida. Além de conter parte da estatística tradicional – sempre aplicada ao modelo de Taguchi –, aborda aspectos não muito usuais, como “obtenção de característica dinâmicas”, “delineamento de experimentos de produtos montados”, “testes de confiabilidade”, “métodos de análise de séries temporais” e outros assuntos.

- 32 _____. *Taguchi on robust technology development: bringing quality engineering*. New York: ASME Press, 1993.

Livro com conteúdo bastante didático sobre as diversas partes componentes da metodologia de Taguchi. Destacam-se: “métodos para avaliar a qualidade”, “métodos para especificar tolerâncias”, “gerência de qualidade para processos produtivos”, “projeto de parâmetros”. Apresenta exercícios resolvidos ao longo do texto, e exercícios propostos ao término de cada capítulo, com respostas no final do livro.

- 33 _____, ELSAYED, E. A., HSIANG, T. *Quality engineering in production systems*. New York: McGraw-Hill Book Co., 1989.

Explora didaticamente o problema da Engenharia e Valor da Qualidade, percorrendo todas as etapas da metodologia Taguchi: função perda, fixação de tolerâncias, controle de qualidade *on-line* e *off-line*, manutenção preventiva. Contém muitos exercícios resolvidos, problemas propostos e ampla bibliografia

ligada a cada um dos oito capítulos. Tem edição em português, também da McGraw-Hill, São Paulo, de 1990.

- 34 TAGUCHI, G., TSAI, Shih-Chung Quality engineering (Taguchi Methods) for the development of electronic circuit technology. *IEEE Transactions on Reliability*, v. 44, n. 2, June 1995.

Os autores sustentam que, para melhorar a qualidade, engenheiros precisam focalizar sua atenção no robustecimento da função básica de seu novo produto ou processo tecnológico, e aplicar métodos de projeto de parâmetros para tornar seu conjunto de funções básicas as funções ideais sob condições reais. Está incluído no *paper* o exemplo sobre desenvolvimento de um circuito eletrônico, cujos resultados reforçam a proposição dos autores.

- 35 TAYLOR, G. A. R. Fractional factorial experimental designs and orthogonal arrays. *Quality Assurance*, v. 15, n. 3, Sept., 1989. p. 117-123.

O autor descreve os princípios teóricos que deram origem ao trabalho de Taguchi, e interpreta exemplo hipotético para mostrar porque as técnicas de Taguchi não devem ser utilizadas. Recupera o depoimento de alguns autores renomados da área de estatística experimental, para colocar essas técnicas como "desnecessariamente complicadas e ineficientes, e algumas vezes ingênuas" (*sic*). Tem argumentação sólida e bem embasada.

- 36 TOLEDO, J. C., ALMEIDA, H. S. Método Taguchi: qualidade voltada para o projeto do produto e do processo. *Revista Administração*, São Paulo: USP, v. 24, n. 4, p. 62-68, out./dez. 1989.

Toledo & Almeida sintetizam diversos aspectos da metodologia de Taguchi, e esclarecem os principais termos utilizados nessa ferramenta estatística. Colocam suas objeções de forma leve, sem configurar discordância em relação aos resultados prometidos pela metodologia.

- 37 TRIBUS, M., SZONYI, G. An Alternative View of the Taguchi's Approach. *Quality Progress*, May 1989. p. 46-52.

Os autores fazem uma crítica bem estruturada contra os métodos de Taguchi. Demonstram falhas conceituais na elaboração dessa ferramenta, e relatam experimentos em que a metodologia falhou tantas vezes que não há como justificar sua utilização, em detrimento da experimentação estatística clássica.

- 38 VIEIRA, S. R. B. *Um sistema de gerenciamento de qualidade para fábricas montadoras, com ênfase no Método Taguchi e QFD*. Florianópolis, 1996. 233p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

O autor propõe-se a elaborar um sistema de gerenciamento da qualidade para fábricas montadoras, com enfoque no planejamento da Assistência Técnica. Aplica a metodologia de Taguchi para garantir ao usuário a melhor utilização do produto, durante a vida útil. Utilizou técnicas de QFD, também descritas. O estudo de casos foi feito na Agrale, empresa do pólo industrial de Caxias do Sul (RS).

- 39 VIEIRA, S., HOFFMANN, R. *Estatística experimental*. São Paulo: Atlas, 1989.

Texto sobre Estatística Experimental, explicado de forma muito didática. Aborda de maneira acessível e eficiente os casos clássicos de delineamentos ao acaso, em blocos, ensina a comparação de médias, passa pela experimentação fatorial 2x2, 3x3, 2x2x2 e outros modelos. Contém exercícios resolvidos e propostos, com soluções para estes últimos.

- 40 WILSON, G. B., CANNAN, E., CARTWRIGHT, G. J. Taguchi's Methods and the manufacture of car seat cushions. In: *Annals of European Conference on Taguchi's Methods*. New York: ASME Press, 1993. p. 127-141.

Há descrição breve do produto, da empresa e da qualidade procurada. Relatam a aplicação dos princípios de projeto propostos por Taguchi na manufatura de almofadas para assento de carros, com explicitação da função perda e otimização da razão sinal-ruído. O programa experimental aparece com detalhes, bem como a análise dos resultados obtidos. Foi utilizada análise de variância no final do experimento para identificar os dois parâmetros que estavam afetando significativamente a variabilidade do processo.

- 41 WONNACOTT, T. H.; WONNACOTT, R. J. *Introductory statistics for business and economics*. New York: John Wiley and Sons, 1972.

Texto de estatística clássica, aborda teoria de probabilidades, teoria da regressão, regressão múltipla, correlação parcial e múltipla, análise de variância, testes de hipóteses, estatística não-paramétrica, análise de séries temporais, sempre com demonstrações e exercícios resolvidos. Há problemas propostos ao final de cada capítulo, com soluções para alguns deles. Utiliza simbologia matemática de forma ampla, o que talvez não seja um fator de estímulo para a leitura didática.

Bibliografia não-referenciada comentada

ARAI, H. New phases of industrial design. *TECHNOJAPAN*, v. 27, n. 10. oct. 1994. p. 10-16.

O texto oferece um relato sucinto sobre a história do projeto do produto, no Japão, começando pelo período de 1945 a 1957, iniciado logo após o término da Segunda Guerra, visto como um período de pesquisa. Seguiram-se períodos de crescimento e de desenvolvimento, com a evolução simultânea da Teoria de Projeto. Menciona o projeto ergonômico, integrante da metodologia de projeto, e menciona também o projeto biônico, concluindo pela necessidade de aprofundar o estudo de alternativas para o projeto do produto.

BARKER, T. B. Quality engineering by design: Taguchi's philosophy: a look at an example of Taguchi's ideas put into action. *Quality Progress*, dec. 1986. p. 32-42.

Com boa seqüência de apresentação, esse artigo introduz a idéia da filosofia de Taguchi, mencionando a função perda, a razão sinal-ruído e sua relação com o coeficiente de variação, procurando prestar esclarecimentos sobre o projeto de parâmetros e o projeto de tolerâncias e sobre a matriz ortogonal com aplicação dos fatores internos e fatores externos. Há, ainda, um exemplo numérico completo resolvido com utilização da metodologia de Taguchi.

BENJAMIN, P. C., ERRAGUNTLA, M., MAYER, R. J. Using simulation for robust system design. *Simulation*, v. 65, n. 2. Aug. 1995. p. 116-128.

O *paper* descreve um modelo para projetar sistemas, e utiliza dados de experimentos simulados em computador. A característica do modelo é a utilização de estratégia que considera a robustez do sistema estudado como o mais

importante critério de projeto. Os autores entendem que esse trabalho tem potencial para influenciar futuros métodos de projetos de sistemas baseados em computador.

DEHNAD, K. *Quality control, robust design and the Taguchi Method*. California: Wadsworth & Brooks / Cole Advanced Books & Software. 1989.

O livro consiste em uma reunião de artigos relativos à metodologia Taguchi, e contém 3 seções distintas: visão geral, estudo de casos e metodologia. A primeira parte discute a filosofia de qualidade de Taguchi, o uso de funções quadráticas para obtenção de custos aproximados, o uso de experimentos planejados e seu potencial como ferramenta para aperfeiçoamento da qualidade. A segunda parte enriquece o livro com um estudo de caso ocorrido na AT&T Bell Laboratories, além de apresentar vários outros casos. A terceira e última parte descreve resultados de pesquisa que foram desenvolvidas nos Laboratórios Bell, um dos quais mostra que, na ausência de certas suposições, o uso da razão S/N não necessariamente conduz à minimização da perda esperada.

ESTERMAN, M., NEVAREZ, I. M. et alli. *Robust design for fatigue performance: shot peening*. The 1996 ASME Design Technical Conferences and Computers in Engineering Conference. Irvine, California, aug. 1996. *Proceedings*. (Também disponível na Internet, no endereço: <http://mml-mac-9.stanford.edu/MIMLWebDocs/research/papers/1996/esterman.asme.dfm.96.html>).

No trabalho, aplicam-se princípios do projeto robusto em diferentes métodos de avaliação de fadiga. Os autores procuram demonstrar, com simulação, que a variação em parâmetros de processamento na superfície de tratamento e propriedades de material afetam a previsão de fadiga de um componente. Para tanto, analisam alterações que ocorrem na característica de qualidade da fadiga, devidas a variações nos parâmetros do processo e nas propriedades do material. Os experimentos de simulação são planejados com parâmetros controláveis e parâmetros de ruído, e os resultados obtidos da simulação são avaliados em um arranjo ortogonal L16.

GHOSH, S. *Statistical design and analysis of industrial experiments*. New York: Marcel Dekker, 1990.

Ghosh é o editor de um livro construído em capítulos por vários autores, todos escrevendo sobre a metodologia de Taguchi (inclusive este é autor de um dos capítulos). O livro é organizado em duas partes: "aplicações" e "métodos", com 18 capítulos distribuídos por 533 páginas.

- GOH, T. N., ROY, S. K. Application of Taguchi's orthogonal array in a material screening experiment. *Quality Assurance*, v. 15, n. 1. March 1989. pp. 10-13.

Os autores descrevem um experimento no qual pesquisaram dez aditivos para manufatura de vidro e, simultaneamente, foram pesquisadas cinco propriedades do vidro, com um único modelo de 16 ensaios. Os aditivos que têm os maiores efeitos nas propriedades do produto foram rapidamente identificados na análise. São discutidas algumas vantagens práticas de se aplicarem em projetos ortogonais.

- MAZUMDAR, S. K., HOA, S. V. Application of Taguchi's method for process enhancement of on-line consolidation technique. *Composites*, 26, 1995. p. 669-673.

Os autores descrevem a elaboração e utilização de arranjo ortogonal L9 para estudar o processamento de um material termoplástico composto, utilizando raios *laser*. A porcentagem de contribuição de cada fator foi estimada com aplicação de análise de variância. A metodologia de Taguchi permitiu-lhes pesquisar os efeitos dos parâmetros individuais do processo, com um número mínimo de ensaios.

- McEWAN, W., BELAVENDRAM, N., ABOU-ALI, M. Improving quality through robustization. *Quality Forum*, v. 18, n. 2. June 1992. p. 56-61.

Foi utilizada simulação em computador para identificar níveis dos fatores de controle que garantam robustez ao produto estudado. Os autores fazem, também, um breve resumo do método de Taguchi.

- TURNES, Osiris. *Custos da qualidade: planejamento econômico dos gráficos de controle por atributos e modelos correlatos*. Trabalho submetido ao Exame de Qualificação ao Doutorado, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSC. Florianópolis, 1996. 113 p.

A autora aborda o planejamento econômico de gráficos de controle por atributos, voltados para os processos de produção que são afetados por uma única causa assinalável. Analisa diferentes modelos de decisão econômica, e os agrupa em 4 conjuntos de modelos similares. Utiliza técnica de planejamento de experimentos para medir os efeitos de custos componentes e menciona análise da sensibilidade com relação aos custos componentes feita na função perda de Taguchi.

UNAL, R.; DEAN, E.B. *Design for cost and quality: the robust design approach*. Internet: dean@larc.nasa.gov, 1995. 18 p.

Discussão do método do projeto robusto para redução de custo e melhoria da qualidade. Após breve explicação sobre o método, os autores apresentam um exemplo de aplicação e concluem pela eficiência do modelo.

UNAL, R., STANLEY, D. O., JOYNER, C. R. Propulsion system design optimization using the Taguchi Methods. *IEEE Transactions on Engineering Management*, v. 40, n. 3. Aug. 1993. pp. 315-322.

Depois de breve explicação introdutória sobre a metodologia de Taguchi, os autores descrevem o estudo que fizeram para otimizar um projeto de sistema de propulsão para um veículo de transporte espacial. Na opinião dos autores, os resultados obtidos indicam que o Método de Taguchi é um modelo eficiente e sistemático que pode ajudar no projeto para o desempenho, para a qualidade e para o custo.

YUKIMURA, C. D. L. *Eficiência e qualidade no projeto de produto, com ênfase no método Taguchi*. Florianópolis, 1991. 225p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina.

O autor trabalha com QFD e com o método Taguchi para estudar aspectos da eficiência e qualidade na fase de projeto do produto. Faz um levantamento de diversas práticas administrativas e tecnológicas relacionadas com controle de qualidade na fase do projeto. Apresenta dois exemplos práticos de experimentação que utilizam o método Taguchi.

MIGUEL FIOD NETO é Engenheiro Mecânico graduado pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, onde trabalhou durante 10 anos como professor e pesquisador. Foi lá que, em 1976, apresentou seu mestrado. Seu doutorado, concluído em 1993, foi cursado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, na área de Projeto de Produtos Industriais.

Atualmente trabalha no Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina, onde é Professor Adjunto e atua nas áreas de *Gestão do Design e do Produto e Engenharia de Avaliação e Inovação Tecnológica*, ambas integrantes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. É pesquisador do CNPq e consultor de empresas, com trabalhos científicos publicados em revistas e congressos nacionais e internacionais. Em 1996 atuou como examinador do Prêmio Nacional da Qualidade. Nas (poucas) horas vagas é pianista amador.

E-mail do autor:
fiodneto@eps.ufsc.br

SÉRIE DIDÁTICA

A interpretação de imagens aéreas
Algoritmos numéricos – seqüenciais e paralelos
Análise sensorial de alimentos
Anomalias laríngeas congênitas
Assistência social: do discurso do Estado à prática do Serviço Social
Avaliação nutricional de coletividades
Cálculo A
Cálculo C
Cálculo e álgebra linear com Derive
Câncer – o que você precisa saber
Centro cirúrgico: aspectos fundamentais para enfermagem
Classificação Decimal Universal – CDU
Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas
Elementos básicos de fotogrametria e sua utilização prática
Eletromagnetismo e cálculo de campos
Eletrônica básica: um enfoque voltado à informática
Estatística aplicada às ciências sociais
Ferramentas de corte I
Ferramentas de corte II
Fundamentos de cartografia
Geração de vapor
Gramática básica do Latim
Influência açoriana no Português do Brasil
Inteligência artificial
Introdução à Engenharia
Introdução à Matemática
Introdução à Química Inorgânica Experimental
Introdução à Teoria dos Grafos
Le Français Parlé, Pratique de la prononciation du français
Matemática – 100 Exercícios de Grupos
Monitoramento global integrado de propriedades rurais
Natação: ensine a nadar
Noções básicas de Geometria Descritiva
O papel da escola na construção de uma sociedade democrática
Óleos e gorduras vegetais – processamento e análise
Promenades – textes et exercices pour la classe de français
Química Básica
Redação
Redação Oficial
Redes de Petri
Teaching in a clever way – tarefas comunicativas para professores de língua inglesa do 1º grau
Tecnologia de grupo e organização da manufatura
Teoria fundamental do motor de indução
Topografia contemporânea – Planimetria
Transmissão de energia elétrica



ISBN 85-328-0071-8



