

## Aplicação do método de Taguchi em um processo de injeção plástica de itens de segurança automotivos

*Application of Taguchi method in a plastic injection process of automotive safety parts*

João Adalberto Alves de Souza<sup>1</sup>, Raoni Barros Bagno<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia de Produção – PUC Minas ([eng.joaosouzabrh@hotmail.com](mailto:eng.joaosouzabrh@hotmail.com))

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia de Produção - PUC Minas. Rua do Rosário, 1081, Bairro Angola, CEP 32.630-000, Betim, Minas Gerais, Brasil. ([rbagno@pucminas.br](mailto:rbagno@pucminas.br))

**ABSTRACT:** This is a study applied to the manufacturing of auto safety parts. The aim is to improve the process through Taguchi's Robust Engineering method. Currently in Brazil, driven mainly by changes in legislation, several car manufacturers face challenges in large scale production of safety items that were previously produced in small scale or even imported. This context brings new difficulties for production processes. Taguchi method is known due to this enormous potential for the solution of engineering problems, but it is not as widespread in Brazil. The application was conducted at a large auto parts company which faced the challenge of nationalizing the production of *airbag* equipped cars' panels. Robust Engineering application suggested changes in some previous selected parameters related to the production in order to obtain minimal dimensional deviations in points considered critical to the *airbag* performance. These results confirmed the benefits of applying Taguchi method for scaling up autoparts and highlight its importance in new product development.

**Keywords:** Taguchi Method. New Product and Process Development. Automotive industry. Thermoplastics.

**RESUMO:** Este é um estudo aplicado à fabricação de peças de segurança de automóveis e o objetivo é melhorar o processo por meio do método de Engenharia Robusta de Taguchi. Atualmente, no Brasil, impulsionados principalmente por alterações na legislação, vários fabricantes de automóveis enfrentam desafios na produção em larga escala de itens de segurança que antes eram produzidos em pequena escala, ou mesmo importados. Esse contexto traz novas dificuldades para os processos de produção. O Método Taguchi é conhecido devido a seu enorme potencial para a solução de problemas de engenharia, mas não é tão difundido no Brasil. A aplicação foi realizada em uma grande empresa de autopeças que enfrentou o desafio de nacionalizar a produção de painéis de carros equipados com *airbag*. A aplicação da Engenharia Robusta sugeriu mudanças em alguns parâmetros anteriormente selecionados relacionados com a produção, a fim de se obter o mínimo de desvios dimensionais em pontos considerados críticos para o desempenho do *airbag*. Estes resultados confirmam os benefícios

da aplicação método de Taguchi para o escalonamento da produção de autopeças e destaca sua importância no desenvolvimento de novos produtos.

**Palavras-chave:** Método de Taguchi. Desenvolvimento de Novos Produtos e Processos. Indústria Automobilística. Termoplásticos.

## INTRODUÇÃO

Para todo e qualquer produto, processo ou tecnologia, o desempenho de sua função elementar pode ser influenciado por diversos fatores - alguns controláveis e outros não. Assim, “robustez” é um conceito necessário para que os requisitos de qualidade para o cliente ou os requisitos específicos do projeto sejam satisfeitos. Um produto se torna robusto quando o seu desempenho funcional não sofre influência significativa de fatores que não possam ser controlados. Fatores esses, associados às condições de uso, condições ambientais, envelhecimento ou desgaste. Nesse contexto, a Engenharia Robusta surge como um método estruturado de engenharia para o alcance desse objetivo.

No Brasil, pode-se dizer que há poucas publicações sobre aplicações de Engenharia Robusta. Uma pesquisa realizada na base de dados Scielo em 30 de dezembro de 2013, usando “Taguchi” como palavra chave, filtrada por publicações dos últimos 5 anos em coleções brasileiras na área temática de engenharia retornou somente 18 trabalhos, destes, somente 3 em língua portuguesa. Em paralelo a esta realidade, em todos os ramos de atividade industrial, defrontamo-nos com vários tipos de problemas de qualidade. Esses problemas se apresentam tanto em empresas grandes, como naquelas de médio e pequeno porte. Vários motivos podem acarretar problemas sistemáticos de qualidade, dentre eles estão à falta de acesso à tecnologia e conhecimento e as modificações constantes de projeto ou processo.

Do ponto de vista do impacto para a sociedade, a questão da não qualidade é ainda mais significativa conforme a relevância da própria atividade industrial. Segundo a ANFAVEA (2006), o ramo automotivo é uma das principais atividades no Brasil, que é o quarto maior mercado consumidor de automóveis do mundo, responsável 1,3 milhões de empregos diretos e indiretos movimentando anualmente cerca de 35,9 bilhões de dólares e representando 5,4% do PIB nacional.

Acrescenta-se a este cenário o fato de que, no Brasil, a resolução 394 do Denatran (2011) define pela exigência do *airbag* como item de série dos automóveis fabricados a partir de 2014. Pode-se dizer que, para veículos de médio e alto valor agregado, o sistema já era comumente utilizado mesmo como item opcional. Porém, a obrigatoriedade estabelecida por esta resolução estende seu uso para os veículos populares, o que demanda um reescalonamento da produção dos sistemas e

componentes relacionados. A aplicação da engenharia robusta neste contexto se dá com o intuito de agrupar, controlar e otimizar os fatores que possam eventualmente contribuir para o não atendimento às especificações de projeto pelo processo de fabricação de painéis de instrumentos de veículos dotados de *airbag*.

O objetivo deste trabalho é alcançar um conjunto de parâmetros considerados ideais para a fabricação do produto a ser desenvolvido, respeitando seus requisitos específicos para assegurar a qualidade, confiabilidade e segurança, bem como servir de aprendizado para possíveis projetos futuros. Os resultados esperados são o ganho de tempo no desenvolvimento e, principalmente, redução de custos na fase de produção (custos diretos e custos da não qualidade). Frisa-se que grande parte do esforço de engenharia nas indústrias nos dias atuais é gasto com resolução de problemas que ocorrem somente quando produtos entram em ritmo de produção. (MOURA, 1999).

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### **Engenharia Robusta: importância e aspectos históricos**

Pode-se dizer que a preocupação com a qualidade no desenvolvimento de produtos intensificou-se a partir do final da década de 50. Para todo ramo de atividade industrial, indicadores de desempenho importantes estão ligados às diversas perdas no ciclo de vida do produto. As perdas que surgem não se limitam em refugos de produção ou desperdícios diversos ao longo de um processo. Elas podem estar enraizadas no início do desenvolvimento do produto e expandir-se por retrabalhos e revisões de projeto ao longo de outras fases. Dessa forma, ganham importância estratégias que levem ao desenvolvimento e fabricação de produtos uniformes e que, ao mesmo tempo, possam atender os requisitos do cliente e reduzir custos. (ROSS, 1991).

A visão de robustez adotada neste estudo foi desenvolvida por Genichi Taguchi. Engenheiro e estatístico, Taguchi iniciou seus estudos no ramo têxtil com o objetivo inicial de criar e desenvolver quimonos em uma empresa de sua família. No período que se segue à segunda guerra mundial adquiriu grande experiência ao contribuir nos ramos da saúde e telefonia. Após anos no desenvolvimento de métodos para aumento da qualidade, Taguchi tornou-se professor e passou a palestrar nos Estados Unidos, abordando sempre o desdobramento das características de qualidade do produto já na sua fase de projeto. A idéia central de Taguchi aborda todo o ciclo de produção de um produto ou tecnologia, cujo critério chave para redução de perdas está na redução da variância

estatística em relação aos seus requisitos ou objetivos já fixados. (TAGUCHI; CHOWDHURY & TAGUCHI, 1999).

Entre os casos reportados de aplicações do método, Correia e Sosa Cardoza (2012) implementaram a engenharia robusta em um processo de injeção de termoplásticos, tendo como resultado a resolução de uma anomalia de manchas que surgiam nos gabinetes de plástico de televisores. Evangelaras, Kolaiti e Koukouvinos (2005) propõem uma alternativa à abordagem de Taguchi em projeto de parâmetros de novos produtos com o propósito de reduzir a quantidade de experimentos normalmente gerados por este método através do uso de um arranjo combinado. Borges e Freitas (2005) citam vários outros casos em que a metodologia da engenharia robusta foi empregada com sucesso.

### **Conceito e objetivos da Engenharia Robusta**

Segundo Phadke (1989), a Engenharia Robusta pode ser entendida como uma abordagem da qualidade voltada para o desenvolvimento de um produto ou de um processo. A proposta do método de Taguchi é a de determinar a “função perda” do produto e otimizá-la por meio da implementação de técnicas de base estatística. Essas análises permitem identificar os parâmetros ótimos de projetos ou processos que minimizam ou até mesmo eliminam as influências de fatores que possam perturbar o desempenho do produto. Ross (1991) afirma que o principal objetivo da Engenharia Robusta é melhorar as características do produto e do seu processo de forma que os fatores que contribuem para a variação do produto final sejam minimizados de forma eficaz. Esses fatores são classificados em dois tipos: os fatores de controle e os fatores de ruído. A figura 1 ilustra a ligação entre o conceito de robustez e as curvas que representam a busca a melhoria de um determinado produto ou processo.

### **Fatores de Controle e de Ruído**

Segundo Ross (1991), as melhorias das características de um produto e do seu processo se dão quando fatores que contribuem para a variação do resultado final são minimizados de forma eficaz. Esses fatores são classificados em dois tipos: os Fatores de Controle e os Fatores de Ruído. Fatores de controle são aqueles em que há liberdade de especificar e/ou alterar suas características. Para cada um desses fatores há a possibilidade de obter múltiplos valores, os quais são chamados de níveis (ex. a espessura de uma chapa, que pode assumir como níveis 3, 4 ou 5 mm). Já para os Fatores de Ruído não há liberdade de se especificar e/ou controlar suas características, podendo, entretanto, influenciar

no desempenho do sistema. Assim, resultam em uma variabilidade (perturbação) na função do produto e/ou do processo. Alguns exemplos de fatores de ruído são temperatura, umidade do ar, frequência/severidade de uso, variação de propriedades dos materiais utilizados, corrosão, desgaste, etc.

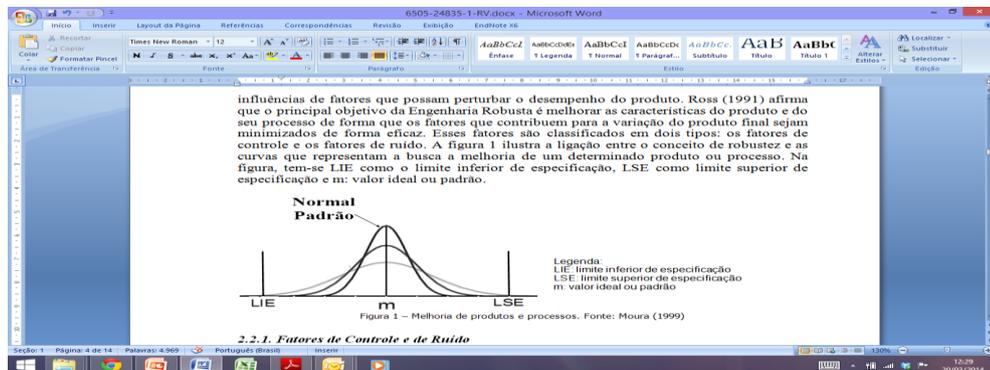


Figura 1 – Melhoria de produtos e processos. Fonte: Moura (1999).

Para que se atinja bom desempenho em um sistema de engenharia, é necessário que os fatores de ruído sejam devidamente previstos e contornados, melhorando o desempenho da função ideal do sistema e, conseqüentemente, tornando-o robusto. O método de Taguchi propõe que a minimização da influência exercida pelos fatores de ruído se dê pelo correto ajuste dos fatores de controle. (FOWLKES; CREVELING, 1995).

### Arranjos ortogonais e tipos de resposta

Ross (1991) define o arranjo ortogonal como um plano de experimentos de múltiplos fatores, conforme ilustrado na Figura 2, no qual as colunas correspondem aos níveis de ensaio dos fatores de controle enquanto as linhas correspondem aos experimentos. Ao se atribuir um fator de controle diferente a cada uma das colunas (os números representam o nível atribuído a cada fator), possibilita-se testar diferentes alternativas de configurações do sistema, dado que as linhas que representam as amostras a serem construídas/preparadas. O valor real da utilização do arranjo consiste na capacidade de se avaliar diversos fatores com um número mínimo de testes sem perda significativa de informação. Segundo Taguchi, Chowdhury e Taguchi (1999), uma das características dos arranjos ortogonais é a de que os registros analisados eliminam o caráter aleatório dos experimentos. Sendo assim, esses arranjos são usados para planejar múltiplos fatoriais tomando os custos dos ensaios reduzidos.

Rodada	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
5	1	2	2	2	3	3	1	1
6	1	2	3	3	1	1	2	2
7	1	3	1	2	1	3	2	3
8	1	3	2	3	2	1	3	1
9	1	3	3	1	3	2	1	2
10	2	1	1	3	3	2	2	1
11	2	1	2	1	1	3	3	2
12	2	1	3	2	2	1	1	3
13	2	2	1	2	3	1	3	2
14	2	2	2	3	1	2	1	3
15	2	2	3	1	2	3	2	1
16	2	3	1	3	2	3	1	2
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

Figura 2 - Exemplo de arranjo ortogonal (tipo L18). Fonte: Fowlkes e Creveling (1995).

Conforme Ross (1991), os ajustes executados nos fatores de controle têm o objetivo de reduzir a variabilidade e, em seguida, ajustar-se a média da variável que exprime o funcionamento do sistema, ou a sua função. A função do sistema pode ser de um dos seguintes tipos: **(i)** Característica Dinâmica, na qual se procura um mínimo desvio entre um dado fator de sinal que identifique o que se deseja como saída e o valor real dessa variável (ex.: faixa de dureza ou cristalinidade de determinado material); **(ii)** Nominal Melhor, em que o valor desejado deverá ser o mais próximo possível do seu valor nominal indicado ou especificado (ex.: diâmetro de um flange, comprimento de uma correia, ponteiros de um relógio, etc.); **(iii)** Maior-Melhor - quanto maior for a variável resposta, melhor será o desempenho de um dado sistema (ex.: resistência mecânica e elástica de um dado material); e **(iv)** Menor-Melhor - quanto menor for a variável resposta, melhor será o desempenho do sistema (ex.: ruídos, vibrações, consumos diversos, níveis de emissões, etc.).

### Etapas de aplicação

As seguintes etapas são propostas para a aplicação do Método de Taguchi (MOURA, 1999): **a)** planejamento geral do trabalho; **b)** definir a Função Básica do sistema; **c)** definir como a Função Básica será medida; **d)** definir os Fatores de Controle e seus níveis; **e)** definir os Fatores de Ruído e seus

níveis; **f)** definir o arranjo ortogonal adequado; **g)** definir a matriz ideal de experimentos; **h)** coletar os dados e rodar o experimento; **i)** analisar os dados e definir a configuração ideal; **j)** realizar o experimento de confirmação; e **k)** definir os objetivos de novas melhorias.

Na primeira etapa define-se o projeto ou sistema em que a aplicação da Engenharia Robusta será submetida assim como os objetivos, perímetros, corpo técnico, recursos e a preparação técnica necessária. Já a definição da função básica serve para que seja definida e estabelecida a unidade e/ou tipo de resposta que esteja diretamente ligada à sua função ideal. Para se definir o arranjo ortogonal mais adequado, deve-se levar em consideração que a quantidade de colunas a ser construída deverá conter o número de fatores de controle selecionados (se não for possível, esse número deverá ser levemente superior). Deve-se definir então a matriz de experimentos que permitirá coletar os dados e gerar os cálculos, bem como executar os seus resultados, objetivando a configuração ideal para que seja possível avaliá-la por meio do experimento de confirmação. Dessa forma os resultados servirão como base e/ou modelo de novas melhorias em projetos futuros.

### **Processos de Injeção Plástica**

Para a análise do caso proposto para este estudo é importante ter ciência que, na produção de peças plásticas, vários parâmetros de processo podem ser alterados. Qualquer modificação que seja executada pode afetar diretamente no comportamento do produto, seja durante a injeção como no momento em que o produto é retirado da cavidade do molde.

Segundo Harada (2004), o processo de injeção consiste em trazer o polímero para o estado de fluido, passando por um cilindro aquecido e submetido a uma alta pressão para o interior de um molde relativamente frio, onde o mesmo endurece e toma a forma final. A peça é expelida para fora da cavidade do molde por meio de pinos extratores, ar comprimido, prato de arranque ou outros equipamentos auxiliares. As operações presentes no processo de injeção são classificadas como: **a)** dosagem do material plástico granulado no cilindro de injeção; **b)** fusão do material até a consistência de injeção; **c)** injeção do material plástico fundido no molde fechado; **d)** resfriamento do material plástico até a solidificação; e **e)** extração do produto com o molde aberto. A Figura 3 ilustra o processo com utilização da máquina injetora.

Ainda segundo Harada (2004), as escolhas envolvidas nos parâmetros de processos de injeção plástica impactam diretamente na qualidade do produto e conseqüentemente em sua finalidade como parte de um produto ou até mesmo como um produto acabado em si.

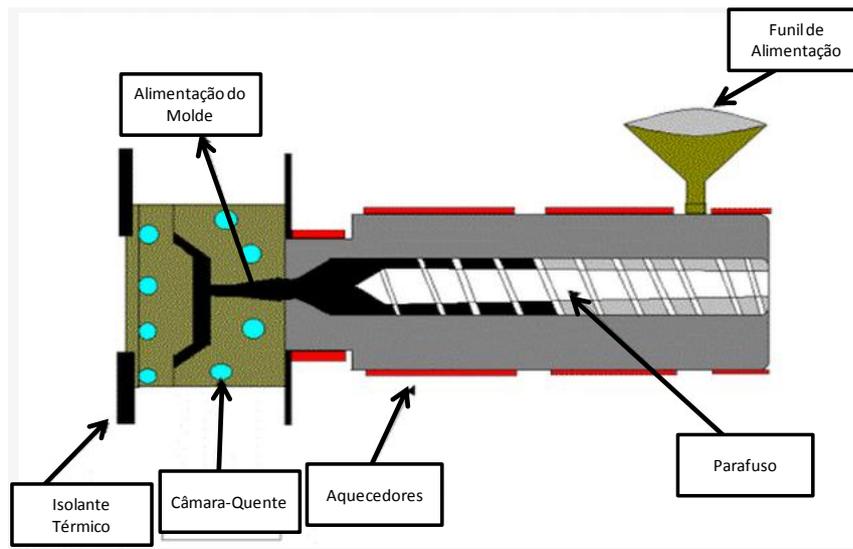


Figura 3 - Ilustração do processo de injeção e etapas. Fonte: Tec. Plástico (2013).

## METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado em uma empresa de fabricação plástica e montagem de autopeças. Para a avaliação da peça em estudo foram realizadas visitas já na fase de *try-out*. (validação do processo produtivo). A peça em questão é um componente plástico do sistema de *airbag* (chamado de “capa superior”) em que há uma etapa posterior à sua injeção denominada fragilização, que envolve a parte de trás de uma peça específica do painel de instrumentos, que deve se romper em caso de acionamento do sistema (Figura 4).

Conforme Miranda e Samohyl (2005), a peça plástica recebe uma quantidade especificada de furos feitos por disparos a laser, não ficando aparente para o usuário. Assim, a variabilidade de uma peça para outra deve ser mínima. Para a realização do estudo, foram definidas as etapas da elaboração ilustradas pela Figura 5.

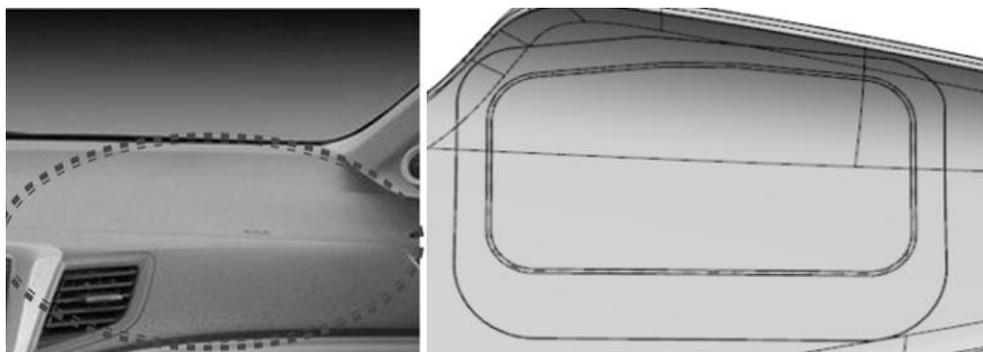


Figura 4 – Exemplo da região de fragilização não aparente do painel que abriga o *airbag* e desenho da vista traseira da peça que recebe o processo de fragilização. Fonte: arquivo da empresa pesquisada.

Todo o trabalho foi realizado ao longo de 8 meses, sendo que, da montagem da matriz de experimentos à compilação dos dados relativos à configuração ideal, foram necessários 3 meses. A equipe técnica foi composta por um técnico de produto, um técnico de processo, dois operadores de produção e dois técnicos de qualidade (um para aprovação da peça e outro para medições dimensionais). Fatores de controle e ruído foram discutidos previamente entre os autores após observação e estudo do processo e, posteriormente refinados com a equipe de engenharia de processos da empresa.

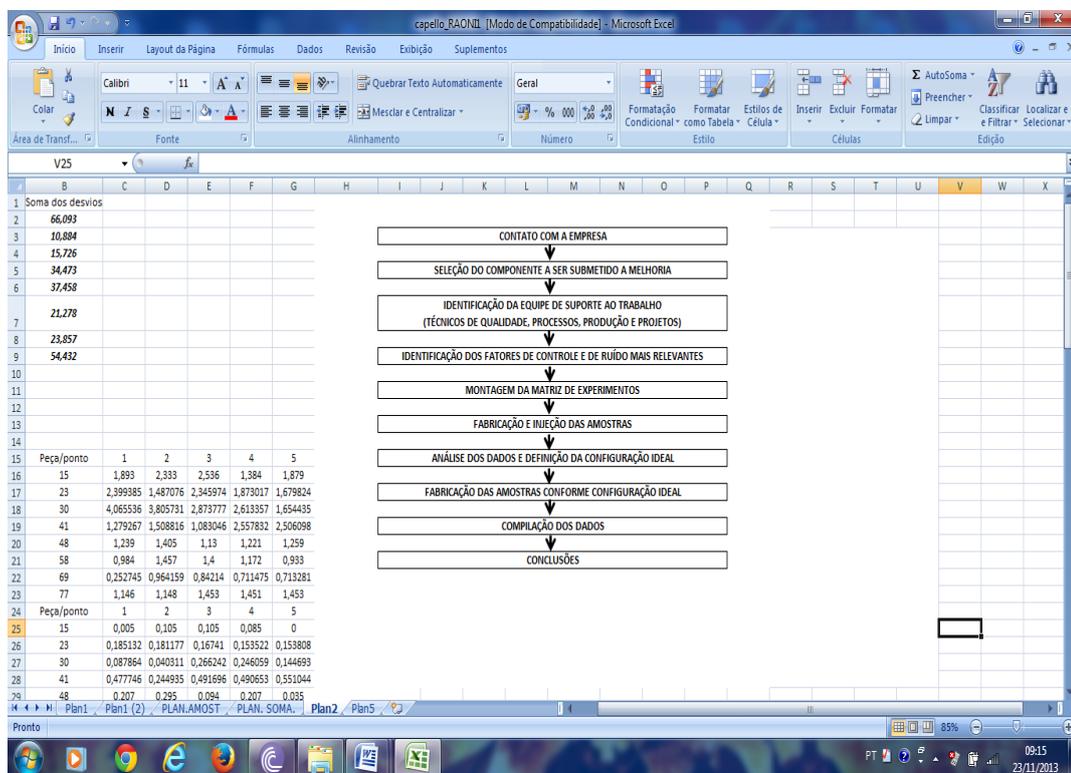


Figura 5 - Fluxo do cronograma proposto. Fonte: elaborado pelos autores

## ESTUDO DE CAMPO

### Caracterização da Empresa, do problema e ações preparatórias

O trabalho foi desenvolvido em uma empresa de grande porte fornecedora de componentes e módulos plásticos para a indústria automotiva. O componente selecionado encontrava-se já em fase final do desenvolvimento. As ações tomadas inicialmente foram de se programar os *try-outs* em datas que não confrontassem com as demandas de produção do seu cliente. Dessa forma, foram agendadas três datas para as respectivas execuções conforme planejamento.

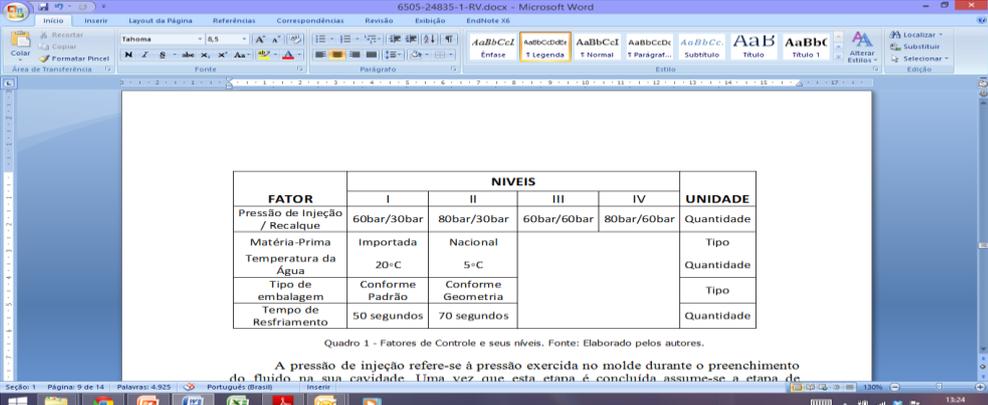
Segundo as especificações de projeto, a peça em estudo possuía os seguintes requisitos específicos: **a)** tolerâncias dimensionais de  $\pm 0.5\text{mm}$ ; **b)** tolerâncias dos diâmetros dos furos de  $\pm 0,2\text{mm}$ ; **c)** tolerância de peso de  $10\text{g}$  ( $- 2230\text{g}$  a  $2240\text{g}$ ); e **d)** área de fragilização com linha delimitadora com limite mínimo e máximo de aplicação. Nos *try-outs* iniciais a quantidade de peças refugadas por não conformidade foi de 13%, enquanto a empresa considerava aceitável algo em torno de 1,5%. Anomalias dimensionais em componentes impactavam diretamente o setor de montagem (a produção conta com processos de montagem, soldas e pintura). As penalizações que a empresa cliente emitia em peças semelhantes eram constantes, tanto para peças não conformes quanto para atrasos de cronograma no desenvolvimento de novos produtos. O painel de instrumentos veicular (onde a capa superior é contida) teria sofrido várias alterações em seu cronograma de desenvolvimento e o motivo mais crítico fora as variações dimensionais das amostras enviadas ao longo do período de desenvolvimento, com CP e CPK não conformes. Os resultados de qualidade insatisfatória, um grande número de possibilidades de modificações atreladas a seus respectivos custos, a inviabilidade de se refazer as provas de validação técnica e falta de uma diagnose conclusiva acerca das anomalias se tornaram paulatinamente fortes barreiras para solução do problema em questão.

### Aplicação da Engenharia Robusta

A seguir serão apresentadas as ações realizadas para a aplicação do Método de Taguchi:

*Definição e Medição da Função básica do sistema:* A função principal do sistema era produzir componentes nas dimensões especificadas (buscando menor somatório possível dos desvios de cada ponto selecionado na especificação de projeto). A medição foi realizada por um dispositivo tridimensional de alta precisão.

*Definição dos Fatores de Controle, de ruído e seus níveis:* Conforme ilustrado no Quadro 1, são apresentados todos os níveis pertencentes aos fatores de controle escolhidos.



FATOR	NIVEIS				UNIDADE
	I	II	III	IV	
Pressão de injeção / Recalque	60bar/30bar	80bar/30bar	60bar/60bar	80bar/60bar	Quantidade
Matéria-Prima	Importada	Nacional			Tipo
Temperatura da Água	20°C	5°C			Quantidade
Tipo de embalagem	Conforme Padrão	Conforme Geometria			Tipo
Tempo de Resfriamento	50 segundos	70 segundos			Quantidade

Quadro 1 - Fatores de Controle e seus níveis. Fonte: Elaborado pelos autores.

A pressão de injeção refere-se à pressão exercida no molde durante o preenchimento do fluido na sua cavidade. Uma vez que esta etapa é concluída assume-se a etapa de

Quadro 1 - Fatores de Controle e seus níveis. Fonte: elaborado pelos autores.

A pressão de injeção refere-se à pressão exercida no molde durante o preenchimento do fluido na sua cavidade. Uma vez que esta etapa é concluída assume-se a etapa de compactação que é denominada como pressão de recalque. Por haver valores de pressão de recalque incompatíveis com determinados valores de pressão de injeção, este par de variáveis foi considerado de forma combinada em um único fator. Quanto à matéria prima utilizada, foram consideradas as duas origens possíveis vigentes nos contratos de compra da empresa, uma de fornecedor nacional e outra de fornecedor estrangeiro. Quando a peça é solidificada, o circuito hidráulico do molde é ativado para evitar riscos de empenamento durante a extração da peça. Assim, a água utilizada neste processo pode estar à temperatura ambiente (~20°) ou estar resfriada próximo ao ponto de congelamento (~5°) e foram considerados diferentes tempos entre a solidificação e a extração da peça (50s e 70s). A embalagem apresentava duas possibilidades: uma genérica, aplicável a vários produtos e sem especificidades geométricas de nenhum deles e uma feita no padrão do componente em questão, para que houvesse encaixe do mesmo.

Os principais fatores de ruído considerados no sistema foram listados como: **a)** variações de lote de matéria-prima; e **b)** variações de temperatura da água no interior do molde. Entretanto, para evitar a influência de outros possíveis fatores de ruído não previstos, foi estabelecido construir um número de 5 amostras válidas para cada configuração indicada pelo arranjo ortogonal.

*Definição do Arranjo Ortogonal adequado:* Uma vez que os fatores de controle e de ruído foram definidos, o arranjo ortogonal escolhido foi o de tipo L8 ( $2^4;4^1$ ), conforme Quadro 2. Para garantir correto rastreamento dos protótipos, as peças foram identificadas conforme cada uma das configurações apontadas.

*Crítérios e procedimentos para realização do experimento:* Para cada linha do arranjo ortogonal, foram injetadas cinco peças, resultando em quarenta peças no total. O objetivo era a melhor condição dimensional (menor somatório dos módulos dos erros dimensionais) nos pontos que recebem o encaixe com a capa inferior do *airbag* (Figura 6).

*Coleta e análise dos dados:* Após a etapa de planejamento, foram feitos dois dias de *try-out's*: no primeiro dia, utilizaram-se embalagens conforme padrão da empresa (linhas 1, 4, 5 e 8 do arranjo) e, no segundo dia, embalagens conforme geometria da peça (linhas 2, 3, 6 e 7). O tipo de variável resposta aplicado ao estudo é “menor melhor”, o que elimina a necessidade de um ajuste posterior da média da variável de saída do sistema (FOWLKES; CREVELING, 1995). As peças foram medidas após seu período definitivo de contração que é de 25h após a injeção (PERRARO, 2007).

AMOSTRAS	PRESSÃO DE INJ./RECALQUE	MATÉRIA-PRIMA	TEMPERATURA ÁGUA	TIPO DE EMBALAGEM	TEMPO DE ESFRIAMENTO
1	60bar/30bar	Importada	20°C	Conforme Padrão	50 segundos
2	60bar/30bar	Nacional	5°C	Conforme Geometria	70 segundos
3	80bar/30bar	Importada	20°C	Conforme Geometria	70 segundos
4	80bar/30bar	Nacional	5°C	Conforme Padrão	50 segundos
5	60bar/60bar	Importada	5°C	Conforme Padrão	70 segundos
6	60bar/60bar	Nacional	20°C	Conforme Geometria	50 segundos
7	80bar/60bar	Importada	5°C	Conforme Geometria	50 segundos
8	80bar/60bar	Nacional	20°C	Conforme Padrão	70 segundos

Tabela 2 – Arranjo Ortogonal de Tipo L8 (2<sup>4</sup>;4<sup>1</sup>). Fonte: do autor

Para uma conferência acerca da fidelidade das amostras conforme ilustrado na tabela 2, as

[R107] Comentário: Legenda de tabelas são colocadas acima da tabela e não abaixo.

Quadro 2 - Arranjo Ortogonal de tipo L8 (2<sup>4</sup>;4<sup>1</sup>).

Foi utilizada uma máquina injetora de 2.000ton. para força de fechamento e a retirada das peças foi feita por um robô com máscara na geometria da peça, visando manter estabilidade dimensional desde a saída da cavidade do molde até o manuseio do operador. A bancada de manipulação para retirada dos canais é constituída de um “berço” de acomodação com a finalidade de evitar qualquer outra forma de empenamento. O critério de avaliação das peças foi definido como a soma total dos módulos dos erros dimensionais para todos os oito pontos de medição da peça. Os resultados encontrados nas medições do primeiro dia de fabricação podem ser verificados na Tabela 1. A Tabela 2 contém os dados relativos ao segundo dia. Conforme pode ser observado nas tabelas, o melhor resultado encontrado entre as amostras previstas foi o de número 2, encontrando-se um somatório do desvio de 10,9mm.

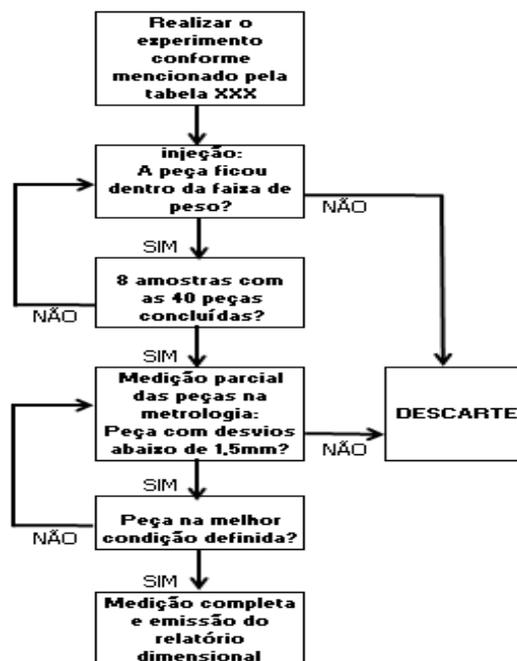


Figura 6 - Fluxograma do experimento.

Tabela 1 - Resultados encontrados no primeiro dia das Injeções.

PONTO	15					23					30					41					48					58					69					77				
PEÇAS	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
AMOSTRA 1																																								
SOMA MÓDULO PARCIAL	10,025					9,785					15,013					8,935					6,254					5,946					3,484					6,651				
SOMA MÓDULO TOTAL	66,093																																							
AMOSTRA 4																																								
SOMA MÓDULO PARCIAL	4,090					4,773					11,299					4,397					4,285					1,601					3,446					0,582				
SOMA MÓDULO TOTAL	34,473																																							
AMOSTRA 5																																								
SOMA MÓDULO PARCIAL	5,460					3,391					5,484					7,354					3,083					7,155					3,854					1,676				
SOMA MÓDULO TOTAL	37,458																																							
AMOSTRA 8																																								
SOMA MÓDULO PARCIAL	9,711					4,419					4,536					7,050					11,952					10,852					4,720					1,192				
SOMA MÓDULO TOTAL	54,432																																							

Tabela 2 - Resultados encontrados no segundo dia das Injeções.

Definição dos níveis mais robustos para os parâmetros de controle: Os dados foram inseridos no módulo de Taguchi do software Minitab v16. Os resultados encontram-se na Figura 7 e na Figura .

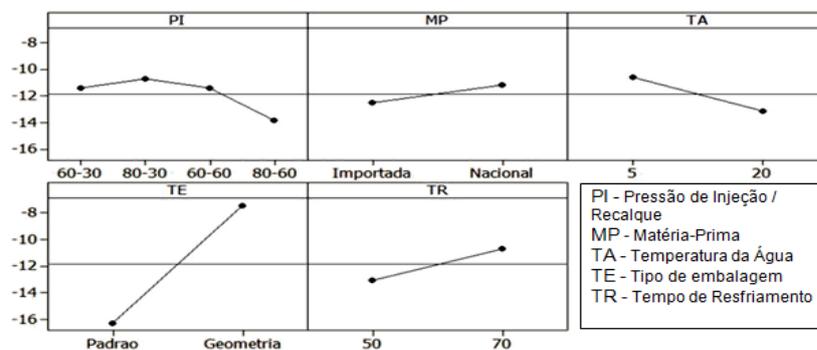


Figura 7- Efeitos dos parâmetros de controle na robustez do processo. Fonte: elaborado pelos autores.

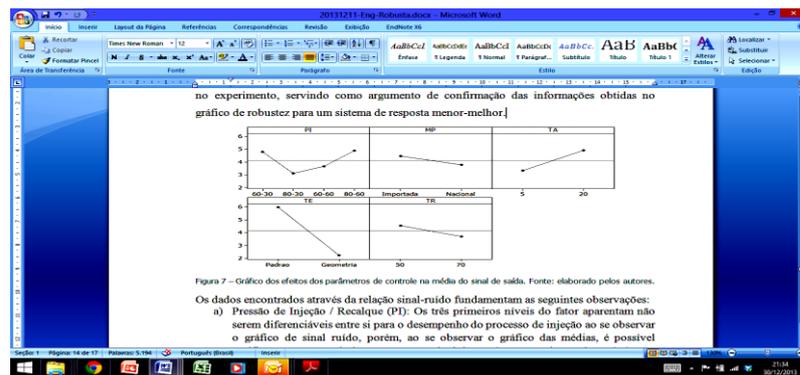


Figura 8 - Efeitos dos parâmetros de controle na média do sinal de saída.

Na Figura 7, pontos mais altos para os níveis de cada fator de controle representam maior robustez para o sistema. Na Figura , pontos mais baixos representam médias menores no experimento, servindo como argumento de confirmação das informações obtidas no gráfico de robustez para um sistema de resposta menor-melhor. Os dados encontrados pela análise da relação sinal-ruído fundamentam as seguintes observações abaixo.

- a) Pressão de Injeção / Recalque (PI): os três primeiros níveis do fator aparentam não serem diferenciáveis entre si para o desempenho do processo de injeção ao se observar o gráfico de robustez. Porém, ao se observar o gráfico das médias, é possível verificar que o nível do par (PI) está mais significativamente associado a médias menores. Dessa forma, sugere-se considerar o nível 80/30 para este fator.
- b) Matéria-Prima (MP): discreta vantagem para utilização da matéria-prima nacional, porém com pouca diferença em relação aos dois níveis do fator.
- c) Temperatura da Água (TA): uso de água gelada trouxe maior estabilidade dimensional entre a saída do molde e o manuseio do operador do berço de retirada dos canais.
- d) Tipo de Embalagem (TE): a embalagem conforme geometria garantiu maior uniformidade dos pontos se comparada com a embalagem padrão da empresa. Isso demonstra que a logística também é um fator crítico para minimizar variações dimensionais.
- e) Tempo de Resfriamento (TR): o tempo ideal apresentado foi o de 70 segundos e deve ser observado que, para um maior tempo da peça dentro da cavidade do molde implicaria em maior custo de produção em decorrência do aumento do *lead time*.

*Combinação ideal dos Parâmetros de Controle e experimento confirmatório:* conforme os dados acima, segue a configuração ideal: 80 bar de pressão com 30 bar de recalque; matéria-prima nacional; água de resfriamento a 5°C; embalagem conforme geometria da peça e tempo de resfriamento de 70s. Foi produzido um lote de 50 peças na configuração ideal, sendo que as cinco últimas foram consideradas para o teste dimensional (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados obtidos no experimento confirmatório

AMOSTRA CONFIRMATÓRIA								
PONTO	15	23	30	41	48	58	69	77
<b>SOMA MÓDULO PARCIAL</b>	0,011	1,345	0,922	1,871	3,215	0,209	0,127	0,769
<b>SOMA MÓDULO TOTAL</b>	<b>8,470</b>							

Os resultados evidenciam que a configuração sugerida traz estabilidade dimensional para a capa superior significativamente melhorada, ficando ainda melhores do que a melhor configuração obtida nos experimentos iniciais (8,5 x 10,9mm). Passados 10 dias da aplicação efetiva dos parâmetros na produção, os índices de refugo já giravam em torno de 2,6%. Por estes resultados, pode-se supor que se o método de Engenharia Robusta de Taguchi tivesse sido aplicado na etapa inicial do desenvolvimento deste produto (na qual a gama de fatores de controle exploráveis com custos ainda baixos de modificações é relevantemente maior), os reagendamentos e consequentes gastos alocados no projeto poderiam ter sido substancialmente minimizados com a provável manutenção do cronograma inicial.

## CONCLUSÕES

Por meio deste estudo pode-se concluir que o método de Engenharia Robusta impacta diretamente em uma melhor robustez e, por consequência, em melhoria da qualidade de um novo produto ou processo. Tais melhorias podem ser alcançadas em produtos correntes, mas podem também ser revertidas para o início de um ciclo de desenvolvimento. Como há relativamente pouca literatura de sua aplicação no Brasil, é possível argumentar sobre o seu grande potencial inexplorado na redução de retrabalhos, modificações de projeto / processo ou até mesmo reclamações dos clientes vivenciados hoje por uma vasta gama de empresas. Para a peça em estudo, os ganhos na aplicação da engenharia robusta trouxeram resultados expressivos, uma vez que houve uma redução nos índices de refugo na ordem de 13% para 2,66%. Este cenário evidencia lacunas para refinamentos da aplicação ainda dentro do mesmo caso, de forma a atingir a meta da empresa em estudo que é de 1,5%, baseada em *benchmarking* com plantas europeias.

Finalmente, pode-se afirmar que este esforço de melhoria é de natureza essencialmente reativa para o problema da peça em questão, uma vez que se deu somente após o registro de desempenho inadequado do processo de produção em fases avançadas do desenvolvimento do produto. Entretanto, é possível e desejável a aplicação do método proposto de forma preventiva. Assim, demanda-se à equipe multidisciplinar da empresa analisada bem como de várias outras

inseridas no mesmo contexto a implementação de método de Taguchi no desenvolvimento de novos produtos já em suas etapas iniciais.

## REFERÊNCIAS

ANFAVEA – Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores. **Indústria Automobilística Brasileira– 50 anos**. São Paulo, 2006

BORGES, M. F.; FREITAS, M. A. Engenharia Robusta de Parâmetros na Indústria Automobilística buscando projetar certo da primeira vez. Belo Horizonte. **Anais do V CBGDP**, 2005.

CARDOZA, J.; CORREIA, E. **Planejamento de Experimento no processo produtivo**. João Pessoa. II CONNEPI, 2007.

CORREIA, E. A. S.; SOSA CARDOZA, D. J. A. Planejamento de experimentos no processo produtivo utilizando o método Taguchi. Florianópolis. **XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2012.

DENATRAN – Departamento Nacional de Transito. **Resolução 394, de 13 de Dezembro de 2011**. Disponível em [http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO\\_CONTRAN\\_394\\_11.pdf](http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/RESOLUCAO_CONTRAN_394_11.pdf). Acesso em 22 Out 2013.

EVANGELARAS, H., KOLAITI, E., KOUKOUVINOS, C. "Robust Parameter Design: Optimization of Combined Array Approach with Orthogonal Arrays" – **Journal of Statistical Planning and Inference** - Department of Mathematics, Athens, Greece. National Technical University of Athens, Zografou 15773, 2005.

FOWLKES, W.Y.; CREVELING, C.M- **Engineering Methods for Robust Product Design**. Addison Wesley, 1995.

HARADA, J. **Moldes para injeção de termoplásticos: projetos e princípios básicos**. São Paulo. Artliber, 2004.

MIRANDA, R. G.; SAMOBYL, R. W. **Avaliação da capacidade de processo em uma empresa do setor automotivo utilizando índices de capacidade CP e CPK para dados não normais**. Santa Catarina. Universidade de Santa Catarina, 2005.

MOURA, E. C. Zero defeito não é suficiente. **Revista Banas Qualidade**. Janeiro, 1999.

PERRARO, H. J. **Análise e proposta de melhorias: Poliamidas, moldagem por injeção**. Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

PHADKE, M. S. **Quality engineering using robust design**, 1st ed., New York, Prentice Hall, 1989.

ROSS, P. J. **Aplicações das Técnicas de Taguchi na Engenharia da Qualidade**. São Paulo. McGraw-Hill. 1991.

TAGUCHI, G.; CHOWDHURY, S.; TAGUCHI, S. **Robust engineering: Learn How to Boost Quality While Reducing Costs & Time to Market.** McGraw-Hill, 1999.

TECPLASTICO. **Moldagem por injeção**, disponível em <http://tecplastico.no.comunidades.net/>; acesso em 20 Out 2013.