

# UM PROCESSO DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS

## MELHORIA DO PROGRAMA DE CONTROLO ESTATÍSTICO

NOME

João Gonçalo Cunha dos Santos

MAIL

goncalocunhasantos@gmail.com

NOME

Paulo Sampaio

MAIL

paulosampaio@dps.uminho.pt



João Gonçalo Cunha dos Santos é licenciado em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Instituto Superior da Maia (ISMAI) e mestre em Engenharia Industrial, com especialização em Qualidade, Segurança e Manutenção, pela Universidade do Minho.

O presente artigo resulta de um projeto de investigação que aborda a melhoria de um programa de controlo estatístico de um processo de injeção de plásticos, tendo por base a aplicação das ferramentas básicas da qualidade, nomeadamente a análise de Pareto, o diagrama de Ishikawa e os gráficos de controlo. Paralelamente às ferramentas básicas da qualidade, foi também utilizada a metodologia Análise ao Sistema de Medida (*Measurement Systems Analysis*), com recurso ao *software* Minitab. A metodologia empregue neste projeto foi o estudo de caso.

**NUM** contexto industrial cada vez mais competitivo, a aposta na implementação de programas que permitem a melhoria da qualidade para os processos industriais deve ser uma constante presente nas indústrias para reduzir a variabilidade dos seus processos e, assim, caminharem na obtenção de zero defeitos. Através da implementação deste tipo de programas é possível analisar e melhorar a estabilidade dos processos e, consequentemente, reduzir os custos com retrabalho de peças defeituosas. A indústria de moldagem de plásticos, como qualquer outro tipo de indústria existente, tem de produzir produtos que satisfaçam os requisitos dos seus clientes. É função da qualidade não só garantir a existência de conformidade de produtos com as suas especificações, mas também trabalhar na melhoria contínua de todos os processos de uma organização.

Com base nos autores Bubbey e Dale (1997), citados em Pacheco, Sampaio, & Rodrigues (2011), pode-se afirmar que o sucesso da melhoria de um processo deve-se em muito ao uso das ferramentas e técnicas

da qualidade. As ferramentas da qualidade são extremamente importantes, uma vez que permitem tomar decisões baseadas em dados concretos, pois sem confiança e informação completa é praticamente impossível adotar medidas eficazes para melhorar os processos (Starzynska & Hamrol, 2013). Através das ferramentas da qualidade é possível recolher dados sobre incidentes dos processos e sobre o seu estado atual e, em seguida, transformá-los em informações necessárias para manter e/ou aumentar a capacidade operacional para satisfazer os requisitos da qualidade.

### metodologia utilizada

Este projeto foi desenvolvido com o objetivo de implementar melhorias no programa de Controlo Estatístico do Processo de Injeção através da análise dos defeitos que ocorrem com mais frequência, das suas possíveis causas, da melhoria do controlo estatístico por atributos e da análise ao sistema de

medição. Por questões de confidencialidade, não é referido neste artigo a empresa onde se desenvolveu este projeto de investigação. Para este projeto foram selecionados dois produtos de um processo de injeção de plásticos. O processo de injeção é classificado como um dos processos de fabricação mais flexíveis e económicos com elevado volume de peças plásticas moldadas. As causas de variações nestes processos estão relacionadas com o grande número de fatores que atuam durante uma produção regular, o que provoca um impacto diretamente na qualidade dos produtos finais (Alvarado-Iniesta, Valles-Rosales, García-Alcaraz, & Maldonado-Macias, 2012).

Os critérios de escolha dos produtos para este estudo prenderam-se com critérios relacionados com o volume de produção. Os produtos passam a ser denominados por produto A e produto B.

Numa primeira fase, para o produto A foram analisados dados correspondentes a três meses de produção, para assim se retirar conclusões acerca dos defeitos mais críticos. Quanto ao produto B, foram analisados dados referentes a dois meses de produção.

Para se retirar conclusões relacionadas com os defeitos mais críticos foi utilizada a ferramenta diagrama de Pareto. Após a análise dos defeitos mais críticos para os produtos selecionados avançou-se para a fase de estudos das possíveis causas dos defeitos críticos identificados. Para tal recorreu-se ao diagrama de Ishikawa. Este processo de identificação das causas foi apoiado com recurso a sessões de *brainstorming*. Nas sessões de *brainstorming* participou uma equipa multidisciplinar, para que a identificação de causas fosse o mais possível concreta e realista.

Terminada a fase de análise dos defeitos procedeu-se ao estudo de uma nova carta de atributos para o controlo estatístico do processo de injeção. Durante esta fase começou-se por analisar dados da produção referentes a três meses para o produto A e dois meses para o produto B. Para essa análise foram utilizadas amostras de tamanho variável, correspondentes à produção total dos produtos selecionados, para assim se retirarem conclusões acerca da estabilidade dos processos. Após a análise com amos-

tras de tamanho variável, foram utilizadas amostras de tamanho fixo (amostras de tamanho igual a 5 peças para o produto A e 40 peças para o produto B). A justificação para existir uma diferença no tamanho das amostras consiste no facto de o Produto B apresentar um tempo de ciclo menor e uma análise pelos operadores mais simples.

A escolha de uma amostragem teve por base a procura da melhor quantidade. De acordo com Montgomery (2008), quanto maior for a amostragem maior será a facilidade com que se deteta a presença de causas especiais a afetar o processo. Contudo, e tendo em consideração que antes do início do projeto apenas era recolhida uma peça para controlo por atributos, julga-se que a recolha de cinco peças para o produto A e de 40 peças para o produto B será a melhor solução, não implicando um acréscimo de trabalho que necessite de investimentos.

O projeto terminou com uma análise ao sistema de medição, quer por atributos quer por variáveis. O objetivo desta análise passou por apresentar um modelo mais completo, nomeadamente em termos de análise por variáveis, modelo esse que contemplasse, para além da repetibilidade e da reprodutibilidade, a discriminação e a estabilidade do sistema de medição. E em termos de atributos, um modelo que permitisse uma análise da concordância entre operadores, mas também de uma forma individualizada (concordância do próprio operador). Neste estudo participaram três colaboradores. Os colaboradores selecionados para este estudo, por questões de privacidade, foram denominados por colaborador 1, 2 e 3.

## resultados obtidos

### ANÁLISE DE PARETO

Com recurso ao diagrama de Pareto identificou-se para o produto A como defeitos: limalhas, pinos partidos, malha descentrada, malha partida, cartão na patilha, excesso de matéria-prima, falta de matéria-prima, cartão na patilha e peça com sujidade. O defeito mais crítico foram as limalhas, sendo o defeito que claramente mais se destacou dos outros, apresentando ao longo dos três meses uma percentagem de defeitos superior a 65%. Este produto é constituído por

uma parte plástica e uma malha de rede. A parte plástica é injetada na malha de rede. As limalhas caracterizam-se por resíduos da malha de rede. Caso estas se desprendam poderá ocorrer um curto-circuito.

Após a análise dos defeitos encontrados no produto B nos dois meses em análise, pode-se concluir que os defeitos existentes na produção deste produto são: manchas brancas, pontos negros e bolhas. As manchas brancas são o defeito mais frequente, existindo uma clara prevalência sobre os outros defeitos. Estas caracterizam-se por ser pequenas manchas de cor branca, localizadas na parte lateral do produto.

### ANÁLISE DAS CAUSAS DOS DEFEITOS CRÍTICOS

Tendo por base a análise de Pareto foram desenvolvidas sessões de *brainstorming* com uma equipa multidisciplinar para debater as possíveis causas dos defeitos críticos. Neste sentido efetuou-se uma análise de causa-efeito aos defeitos para ambos os produtos, recorrendo ao diagrama de Ishikawa e à técnica de *brainstorming* para auxiliar na identificação das causas.

Na análise, segundo o método de Ishikawa, as causas foram classificadas segundo o método de produção, a máquina/molde, o pessoal e o material (matéria-prima). De referir que apenas se efetuou uma análise mais detalhada às causas que foram consideradas críticas, tendo por base o conhecimento multidisciplinar da equipa que participou nestas sessões. Assim, para o produto A, o foco esteve no método. Do ponto de vista do método foram identificadas como causas o ciclo de moldação, a velocidade do robot, a ausência de limpeza da mesa e a falta de controlo das malhas de rede à entrada (só controlo em termos de empeno).

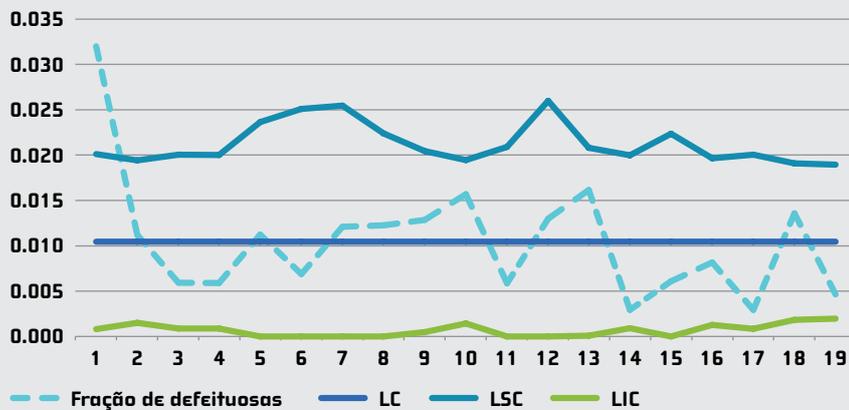
Quanto ao produto B, considerou-se como causa crítica a máquina/molde. Assim, foram identificadas como subcausas resíduos no molde, falha mecânica da máquina e do molde, bem como canais de fuga de gases obstruídos.

### AÇÕES DE MELHORIA PARA O CONTROLO DAS LIMALHAS: LIMPEZA DO MOLDE E MESA DE PRÉ-FORMAÇÃO

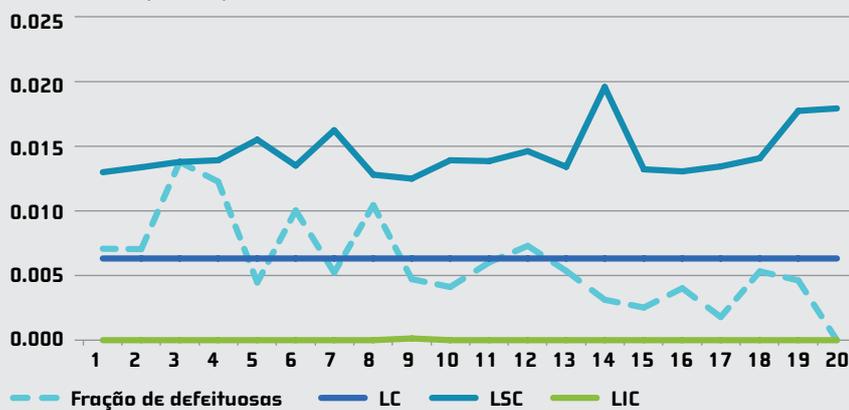
Da análise às causas críticas, e com o apoio

## Gráficos de amostras de tamanho variável:

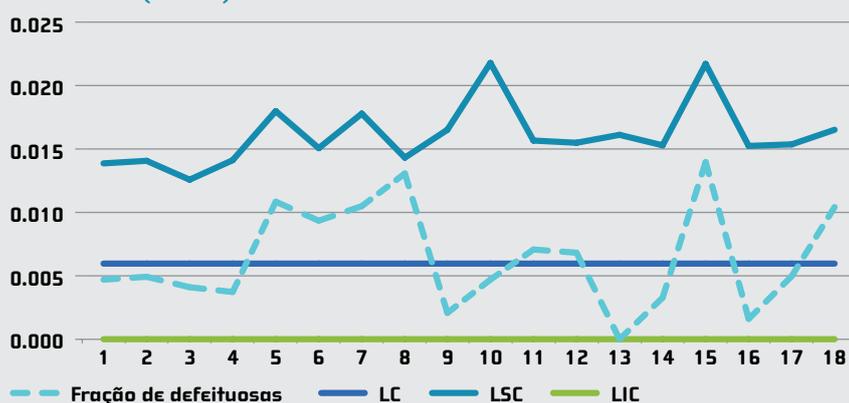
## PRODUTO A (MÊS 1)



## PRODUTO A (MÊS 2)



## PRODUTO A (MÊS 3)



das sessões de *brainstorming*, durante este projeto foram apresentadas algumas medidas com o objetivo de eliminar/controlar as limalhas. Durante o decorrer deste projeto foi implementada uma medida que passava pelo estabelecimento de períodos de limpeza do molde e da mesa de pré-formação, uma vez que foram encontrados resíduos de malha de rede. A mesa de pré-formação

passou a ser limpa no início da produção em cada turno e nas pausas para refeição de cada turno e o molde passou a ser limpo no início da produção de cada turno. Foi também solicitado que sempre que fosse encontrada uma limalha fosse registado em que zona apareceu e a hora. Para isso foi criada uma folha de registo e dividiu-se o *layout* do produto final por zonas, para se

possível determinar qual ou quais as zonas em que mais aparecem as limalhas. Assim, foi implementado um registo por hora da quantidade de limalhas que apareciam e a zona onde apareciam, de acordo com a divisão do *layout* do produto. Antes de se iniciar a implementação desta medida, foram recolhidos dados relativos às limalhas encontradas nos últimos cinco dias antes da implementação da medida em questão, para assim se poder comparar resultados.

Dos primeiros cinco dias de registo pode-se realçar o decréscimo de defeitos entre o primeiro dia e o quinto. Contudo, convém realçar que no primeiro dia a produção funcionou em dois turnos. Da análise dos cinco dias pode-se observar que, apesar do decréscimo da quantidade de defeitos, continuam a existir picos. Assim, pode-se questionar a possibilidade da existência de outras fontes a contribuírem para o aparecimento das limalhas como, por exemplo, problemas relacionados com a velocidade do robot, tempo de ciclo, velocidade de rotação da mesa de pré-formação, entre outros identificados na análise de causa-efeito.

Concluindo, nos cinco dias antes da limpeza da mesa de pré-formação e do molde foram registadas 238 limalhas. Nos cinco dias posteriores à implementação dos períodos de limpeza foram registadas 38 limalhas. É assim clara a diminuição da quantidade de limalhas que foi obtida com a implementação da medida em causa. Em termos de zonas críticas é evidente que se realçam duas, a zona II e a zona IV.

### controlo estatístico por atributos: amostras de tamanho variável

Para o controlo estatístico do processo foram considerados todos os defeitos que tivessem impacto no aspeto visual do produto. Inicialmente fez-se uma análise considerando o tamanho da amostra correspondente à produção total dos dois produtos, ou seja, amostras de tamanho variável. O objetivo em analisar o processo recorrendo a amostras de tamanho variável consistia em retirar conclusões acerca da sua estabilidade, em termos estatísticos.

Da análise da estabilidade do processo do produto A, recorrendo aos gráficos de amostras

# Promovendo o conhecimento e a aprendizagem para a gestão das Organizações

## PORTUGAL 2020

Elaboramos Candidaturas SI Inovação, Qualificação, Internacionalização e Vales Simplificados

FORMAÇÃO | COACHING | CONSULTORIA | AUDITORIA

- › Planeamento Estratégico
- › Process Management
- › Reengenharia de Processos
- › Balanced ScoreCard
- › Sistema de Informação e Apoio à Gestão (SIAG)
- › Continuous Improvement
- › Eficiência Operacional/Lean
- › Redução de Custos
- › Organização Industrial
- › Gestão do Risco
- › I&D e Inovação
- › Sistemas de Gestão: Qualidade, Ambiente, Segurança e Saúde no Trabalho, Responsabilidade Social, Risco e Energia

Indústria | Serviços | Automóvel e Aeronáutica | Administração Pública | Banca e Seguros | Construção Civil e Obras Públicas | Distribuição e Logística | Ensino | Farmacêutica | IPSS | Saúde | Serviços | Utilities

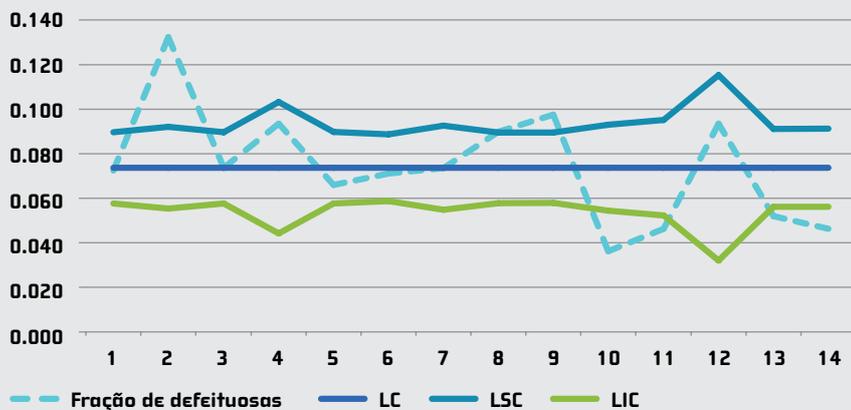
› EDIÇÕES TÉCNICAS IBG



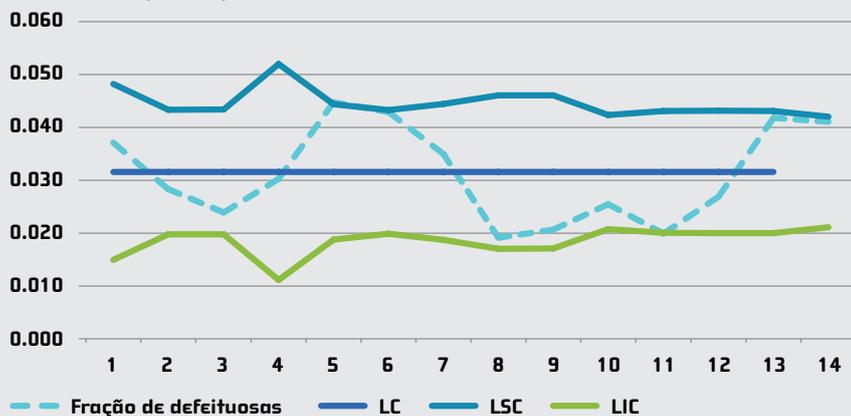
CIÊNCIAS EMPRESARIAIS  
• Gestão e administração  
• Equipamento na organização/empresa



## PRODUTO B (MÊS 1)



## PRODUTO B (MÊS 2)



de tamanho variável pode-se concluir que o processo não está sob controle estatístico. No primeiro mês foi detetado um ponto acima do limite superior de controle, sendo que o defeito que mais contribuiu para este ponto foram as limalhas, confirmando a conclusão retirada da análise de Pareto de que este era o defeito mais crítico. Tal situação volta a ocorrer no segundo mês, em que apesar de não existir nenhum ponto fora de controle, existe um ponto igual ao limite superior de controle, em que mais uma vez o defeito que mais contribuiu para tal situação foram as limalhas. No último mês de análise em termos de amostras de tamanho variável, o processo está sob controle estatístico, com uma tendência aleatória.

O produto B, com base nos dados recolhidos para análise da estabilidade do processo, também não apresenta um processo estável. Como resultado da análise efetuada pode-se observar, no primeiro mês, um ponto fora dos limites do controle; no segundo mês, apesar

do processo estar sob controle e existir uma tendência aleatória, é possível observar que com alguma facilidade o processo pode deixar de estar sob controle estatístico por existirem alguns picos.

### gráfico da fração de não-conformes

Para o produto A foi utilizada uma amostra de tamanho igual a cinco. Foram recolhidas 26 amostras. Os resultados obtidos permitem concluir que o processo do produto A não se encontra sob controle estatístico dado existir um ponto de medição acima do limite superior de controle. Os defeitos registados nessa amostra correspondem a limalhas. Dada a peculiaridade deste defeito, não foi possível estabelecer uma causa com base em dados fidedignos.

Importa referir que a limpeza do molde e da mesa de pré-formação apenas se iniciou a partir da 11ª amostra. Assim, esse ponto acima do limite superior de controle registou-se

antes da implementação dessa medida. Com a implementação dessa medida é possível observar que não existiu qualquer ponto fora de controle (entre as amostras n.º 11 e n.º 22), demonstrando a importância das medidas e a sua contribuição para o controle deste defeito.

Relativamente ao produto B, foi selecionada uma amostra de tamanho igual a 40 peças por cada recolha, sendo recolhidas 30 amostras. Da análise dos dados recolhidos para o produto em questão pode-se concluir que o processo não está sob controle estatístico, uma vez que foi observado um ponto acima do limite superior de controle, correspondente à amostra 19. A causa identificada para esse ponto acima do limite superior de controle foi uma avaria do elemento posicionador de elementos móveis do molde.

### análise ao sistema de medição

A análise ao sistema de medição efetuada neste projeto abordou uma análise quer por variáveis quer por atributos ao produto A selecionado para este projeto. Para a análise por variáveis foram selecionadas 20 amostras, medidas três vezes pelos mesmos operadores, como o mesmo equipamento (paquímetro de duas casas decimais).

Com recurso ao *software* Minitab obteve-se os resultados gráficos apresentados na Figura 1.

Através de uma análise visual ao gráfico "Components of Variation" pode-se observar qual o componente que mais introduziu variação ao estudo. No gráfico "R Chart by Operators" pode-se analisar a repetibilidade e a estabilidade. Se todos os pontos estiverem dentro dos limites de controle, conclui-se que o processo é estável e apresenta uma repetibilidade aceitável. Obviamente, quanto menor for a amplitude, melhor será a repetibilidade (caso do operador 2 que apresenta uma amplitude menor quando comparado com os outros operadores).

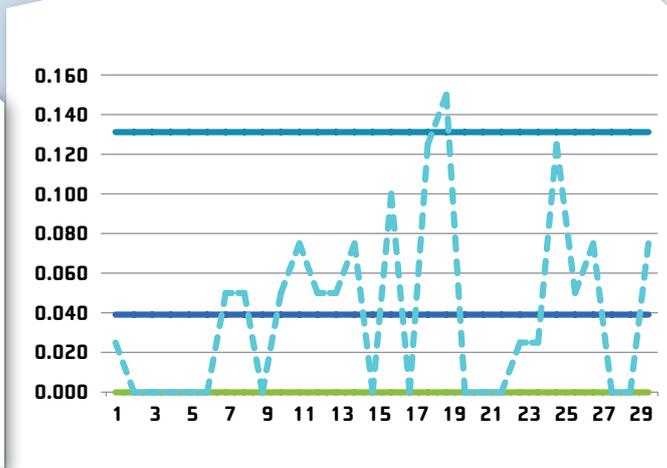
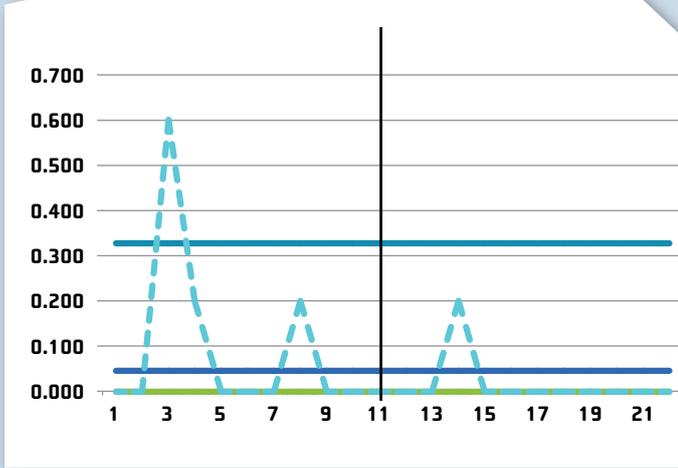
No gráfico "Xbar Chart by Operators" pode-se analisar a reprodutibilidade e a discriminação do sistema de medida. Em termos da variação do sistema de medição relativamente à variação das amostras, o ideal é que a maior parte dos pontos de medição esteja fora dos limites de controle (cerca de 70%), indicando assim maior variação das amostras

Gráfico 6/7

Gráficos de fração de não-conformes:

PRODUTO A

PRODUTO B



— Fração de não-conformes — LC — LSC — LIC

do que a variação da medição. Em termos de reprodutibilidade, o ideal é que os operadores apresentem um gráfico com os valores de medição aproximadamente igual, indicando assim que a variabilidade entre eles é reduzida ou nula. No gráfico "Measurement by Parts" pode-se observar a média por amostra. O ideal é que a maioria dos pontos neste gráfico estejam sobrepostos, indicando assim que todos os operadores apresentam a mesma média para cada amostra.

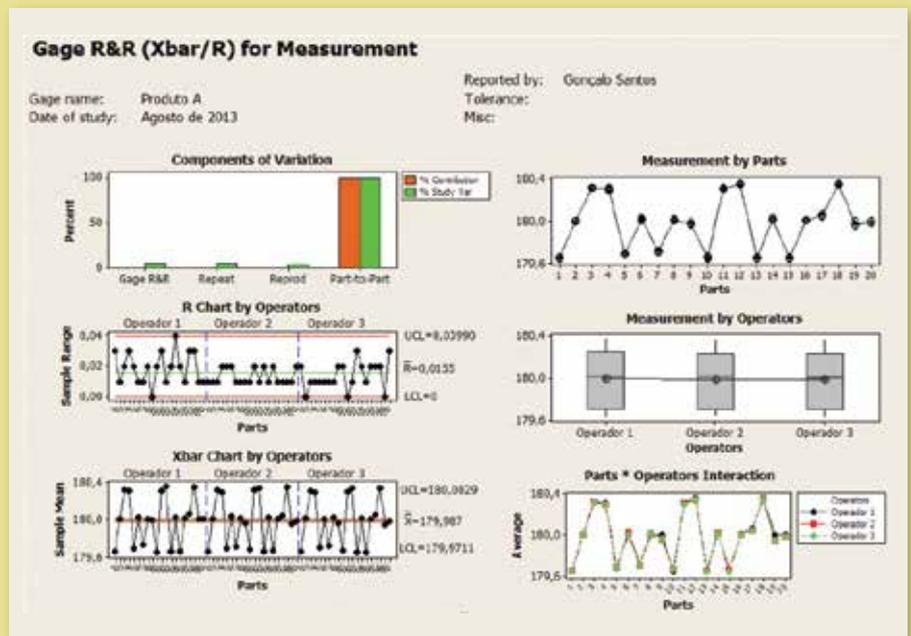
No gráfico "Measurement by Operators" pode-se observar a média por cada operador em estudo. O ideal é que os operadores apresentem uma média da sua medição aproximadamente igual. No gráfico "Parts\* Operators Interaction" pode-se analisar a interação entre os operadores e as amostras em estudo. Esta análise é um complemento à análise da reprodutibilidade. Se as linhas das médias das medições dos operadores para cada amostra em estudo são paralelas, significa que não existe interação entre os operadores e as amostras.

Como complemento à análise gráfica foi efetuada uma análise numérica apresentada na Figura 2.

Tendo como referência o Manual de Análise do Sistema de Medição (Measurement Systems Analysis, 2010), a variação do estudo (Total Gage R&R) deve ser inferior a 10% para o sistema de medição ser considerado aceitável. Outro critério adicional de deci-

Figura 1

RESULTADOS GRÁFICOS DO MSA POR VARIÁVEIS



são acerca da aceitabilidade do sistema de medição passa pelo número de categorias distintas. Esta estatística indica o número de categorias em que o processo de medição pode ser dividido. Este valor deve ser maior ou igual a 5.

Em semelhança à análise por variáveis, para

a análise por atributos foram utilizadas 20 amostras de modo a reunir peças boas (consideradas peças ok) e peças defeituosas (considerados nok). As amostras foram colocadas de forma aleatória para medição. Os três colaboradores realizaram três análises de cada amostra, sendo a sequência de aná-

lise diferente em cada ciclo de medição. Os defeitos considerados nesta análise foram os mesmos defeitos que foram identificados na análise de Pareto para o produto A.

Mais uma vez com recurso ao *software* Minitab foi possível realizar uma análise gráfica e numérica. Através da análise da Figura 3 é possível analisar a concordância dos operados que participaram no estudo. No lado esquerdo, a concordância entre operadores (Within Appraisers) e no lado direito a concordância dos operadores com o padrão das amostras em estudo (Appraiser vs Standard). Assim, conclui-se que da análise ao sistema de medição por variáveis, o

sistema de medição é considerado aceitável. A análise numérica foi baseada no método da análise de teste de hipóteses – método da tabela cruzada.

Na análise por atributos, em termos numéricos, pôde-se analisar na perspectiva da concordância do próprio operador, de cada operador em comparação com o padrão estabelecido, entre operadores e entre todos os operadores e o padrão estabelecido para esta análise. Para esta análise foram estabelecidos os critérios de decisão quanto à aceitabilidade do sistema de medida, foi estabelecido o valor de Kappa e o valor da eficácia do sistema de medição. Para determinar o nível deste acordo utiliza-se *kappa*

(Cohen), que mede a concordância entre as avaliações de dois ou mais avaliadores quando ambos estão a classificar o mesmo objeto. O valor de 1 indica concordância perfeita; o valor 0 indica que o acordo não é melhor do que o acaso. A eficácia do sistema de medida é dada pela razão entre o número de decisões corretas sobre o total de oportunidades de decisão.

De acordo com o manual de Análise do Sistema de Medição (*Measurement Systems Analysis, 2010*), o valor de Kappa deve ser superior a 0,75, indicando um grau de concordância excelente, consecutivamente o sistema de medição é considerado bom. Se Kappa for inferior a 0,40, conclui-se que o grau de concordância é fraco. Para a eficiência do sistema de medição, o mesmo manual classifica o sistema de medição aceitável quando os valores da eficiência são iguais ou superiores a 90%; entre 80% e 90% marginalmente aceitável, necessitando de melhorias; e inferior a 80%, o sistema de medição é considerado inaceitável.

Da análise ao sistema de medição por atributos pôde-se concluir que o sistema de medição é aceitável.

### conclusão

Este projeto teve como objetivo a melhoria do programa de controlo estatístico de um processo de injeção de plásticos. Para estudar este processo foram selecionados dois produtos: o produto A e o produto B. Para se atingir este objetivo proposto, existiu necessidade de subdividir o objetivo principal em outros objetivos mais específicos. Foram assim definidos quatro objetivos específicos: análise de Pareto para determinar quais os defeitos mais críticos, análise de causa-efeito para os defeitos identificados, melhoria do método de controlo estatístico por atributos já implementados e análise ao sistema de medição. Com recurso à análise de Pareto chegou-se à conclusão que, para o produto A, o defeito mais crítico eram as limalhas. Num total de oito defeitos encontrados neste produto, as limalhas nos três meses em estudo para esta análise apresentaram uma percentagem superior a 65% dos defeitos encontrados. Para o produto B as manchas brancas foram identificadas como o defeito mais crítico, representando cerca de 96,63% no primeiro mês e cerca de 99,87% no segundo mês.

Figura 2

### RESULTADOS NUMÉRICOS DO MSA POR VARIÁVEIS

#### Gage R&R Study - XBar/R Method

##### Gage R&R for Measurement

Gage name: Produto A  
Date of study: Agosto de 2013  
Reported by: Gonçalo Santos  
Tolerance:  
Misc:

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0001089	0,31
Repeatability	0,0000838	0,24
Reproducibility	0,0000251	0,07
Part-To-Part	0,0347912	99,69
Total Variation	0,0349001	100,00

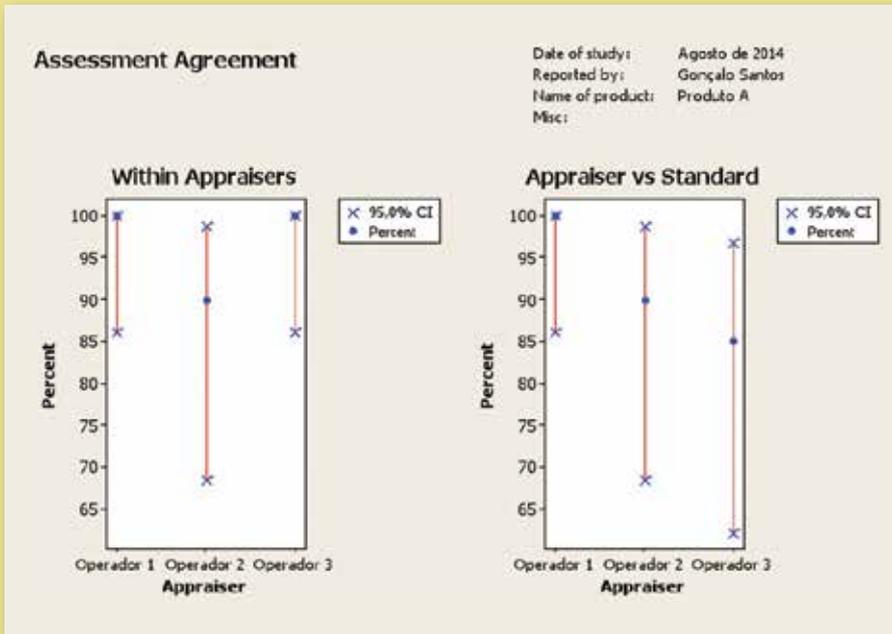
Process tolerance = 0,74

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,010437	0,06262	5,59	8,46
Repeatability	0,009155	0,05493	4,90	7,42
Reproducibility	0,005011	0,03006	2,68	4,06
Part-To-Part	0,186524	1,11914	99,84	151,24
Total Variation	0,186816	1,12089	100,00	151,47

Number of Distinct Categories = 25

Figura 3

RESULTADOS GRÁFICOS DO MSA  
POR ATRIBUTOS



**bibliografia**

- > Alvarado-Iniesta, A., Valles-Rosales, D., García-Alcaraz, J., & Maldonado-Macias, A. (2012). A Recurrent Neural Network for Warpage Prediction in Injection Molding. *Journal of Applied Research and Technology*, 10(6), 912-919.
- > Ford Motor Company, G. M. C. (2010). Measurement Systems Analysis (4 ed.): AIAG.
- > Montgomery, D. (2008). Introduction to Statistical Quality Control. Arizona: John Wiley & Sons, Inc.
- > Pacheco, M., Sampaio, P., & Rodrigues, C. (2011). Ferramentas da qualidade: estudo da sua aplicação e uso nas organizações certificadas. Paper presented at the ENEGI – Encontro Nacional de Engenharia e Gestão Industrial, Guimarães.
- > Starzynska, B., & Hamrol, A. (2013). Excellence toolbox: Decision support system for quality tools and techniques selection and application. *Total Quality Management & Business Excellence*, 24(5-6), 577-595. doi: 10.1080/14783363.2012.669557.

Da análise das causas dos defeitos críticos, conclui-se que para as limalhas a causa mais crítica era o método, enquanto que para as manchas brancas era a máquina/molde. Do recurso aos gráficos de controlo por

amostragem de tamanho variável pode-se concluir que ambos os processos apresentaram pontos fora dos limites de controlo. A mesma situação para os gráficos da fração de não-conformes.

A análise do sistema de medição permitiu fazer uma análise gráfica mais detalhada, quer para a análise por variáveis quer por atributos. A análise numérica permitiu concluir que o sistema de medição é considerado aceitável.



Cinco décadas de desafios

1965-1975 da soldadura às inspeções técnicas

1975-1985 qualidade

1985-1995 aposta no conhecimento

1995-2005 internacionalização

2005-2015 diversificação estratégica

www.isq-group.com

