

UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA SIX SIGMA PARA REDUÇÃO DO TEMPO TOTAL DE TRATAMENTO TÉRMICO DE PEÇAS ¹

Christian Egidio da Silva ²

Gilson Teixeira Cornélio ³

Resumo

Os programas *Six Sigma* passaram a ser vistos como estratégias na busca por maior produtividade e competitividade. Tendo em vista a limitação de estudos de caso publicados, exemplificando a aplicabilidade da metodologia, o objetivo deste trabalho é mostrar um caso prático de aplicação do *Six Sigma*. Foram levantados dados históricos dos tempos reais praticados para alguns tipos de tratamento térmico de peças – especialmente os de maior duração. Utilizou-se a metodologia DMAIC para avaliação dos dados levantados. Depois de concluída a análise, foram elaboradas ações para reduzir o tempo total de tratamento térmico. Após implementadas, e decorrido um ano do início da implementação das ações, novos dados de produção foram levantados para avaliar a efetividade das ações e verificar o ganho real advindo das melhorias implementadas. Foram obtidas reduções do tempo real médio de tratamento térmico que variaram de 16% a 32%, o que pode chegar até a quatro dias de redução, dependendo do tipo de tratamento térmico envolvido.

Palavras-chave: *Six Sigma*; DMAIC; Tratamento térmico; Melhoria contínua.

THE USE OF SIX SIGMA METHODOLOGY TO REDUCE THE HEAT TREATMENT TIME OF PIECES

Abstract

The Six Sigma programs have been considered strategic to reach higher productivity and competitiveness. Due to the reduced number of published papers showing the use of Six Sigma methodology, the objective of this paper is show a case study about its application in the industry. It was analysed the real time of some heat treatments of pieces focusing on the longest cycles. It was used the DMAIC methodology to evaluate the data base. After concluding the analysis, it were proposed actions to reduce the real time of those heat treatments. After improving the actions, new datas were analysed to evaluate the efficiency of the actions. It were obtatined reductions on real time among 16% and 32%, depending on the kind of heat treatment.

Key-words: *Six Sigma*; DMAIC; Heat treatment; Continuous improvement.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Doutorando; Engenheiro Químico; Green Belt pela UNIFEI, pós-graduado em Qualidade e Produtividade – Aços Villares / PPG-EAM ITA.*

³ *Mestre; Engenheiro Químico; Green Belt pela Werkema, programa 6 Sigma Villares – Aços Villares.*

1 INTRODUÇÃO

1.1 A metodologia *Six Sigma*

De acordo com Feitor, Vivacqua e Pinho⁽¹⁾ e Andrietta, Miguel e Maestrelli,⁽²⁾ “o programa de qualidade *Six Sigma* tornou-se mundialmente respeitado devido à sua enorme capacidade em integrar os processos de negócio”. Possibilitou, com isso, uma redução da variabilidade dos processos, diminuindo os defeitos de produtos e serviços, assim como os custos operacionais, resultando no aumento da satisfação dos clientes e da lucratividade nas organizações. Godeiro et al.⁽³⁾ complementam, mencionando que “os programas de qualidade, dentro dos quais *Six Sigma* destaca-se, passaram a ser vistos como estratégias fundamentais na busca por maior produtividade e competitividade ao buscarem maior eficiência e eficácia dos processos internos”. Vários autores descrevem o *Six Sigma* como uma abordagem metodológica que impulsiona a melhoria do desempenho do negócio, baseando-se na aplicação do pensamento estatístico em todos os níveis de atividades.^(2,4,5) De acordo com Mello, Leusin e Bandeira,⁽⁶⁾ “o *Six Sigma* pode ser considerado como um processo de negócios que utiliza métodos específicos para recriar “processos”, evitando-se que erros e defeitos surjam durante o seu dia-a-dia”.

Desde a sua implantação, empresas como a *General Eletric* e *Motorola* obtiveram impressionantes retornos sobre o investimento feito para a disseminação da metodologia dentro de suas instalações, o que estimulou o interesse de profissionais e pesquisadores, levando-os a se aprofundar nos pressupostos, princípios, ferramentas e todos os demais aspectos concernentes a esta abordagem para melhoria da qualidade.^(1,3,7)

Segundo Godeiro et al.,⁽³⁾ “não tem como falar de “qualidade” sem falar de pessoas”. A qualidade é feita “através” das pessoas, e normalmente requer mudanças culturais da organização. Santos e Martins⁽⁵⁾ complementam, citando que “o programa *Six Sigma* requer um amplo envolvimento da liderança e um adequado entendimento sobre técnicas estatísticas”. Considerando que de uma maneira geral as pequenas e médias empresas não conhecem de forma suficiente e tampouco empregam na íntegra a potencialidade oferecida pelas ferramentas estatísticas, pode-se deduzir que basicamente trabalham “intuitivamente” para gerir seu negócio. Ou seja, de fato existe um grande trabalho a ser feito no âmbito das “pessoas” envolvidas, principalmente nas pequenas e médias empresas, para que a metodologia *Six Sigma* possa contribuir significativamente para seu crescimento. Mello, Leusin e Bandeira,⁽⁶⁾ através da experiência obtida na implantação de um programa *Six Sigma* em uma empresa de grande porte, concordam e complementam, dizendo que “*Six Sigma* é uma nova filosofia de gestão, o que naturalmente implica em mudanças que mexem com as pessoas, e por isto a liderança deve estar sempre à frente para que todos estejam envolvidos e saibam, de maneira adequada, o que devem fazer”.

1.2 O Pensamento Estatístico

Santos e Martins^(4,5) consideram o pensamento estatístico “um componente primordial para a implementação, que é complementado pelos métodos estatísticos que são pautados no uso de dados e na análise das fontes de variação existentes em processos, produtos e serviços”.

Com o surgimento da abordagem *Six Sigma* o uso do pensamento estatístico e dos métodos estatísticos passou a sinalizar oportunidades de ganhos financeiros reais advindos da melhoria de desempenho organizacional. Seu uso cria oportunidades reais de mudança e aprendizagem. Pode-se definir pensamento estatístico como “processo de raciocínio que reconhece que existe variação em tudo ao nosso redor e em tudo que fazemos; que todo trabalho é constituído por uma série de processos interligados, e ao identificar, caracterizar, quantificar, controlar e reduzir sua variação, são promovidas oportunidades de melhoria”. Ou seja, todo trabalho ocorre em um sistema de processos interligados. Como existe variação em todos os processos, entende-la e reduzi-la é a chave para o sucesso.^(4,5)

A “variabilidade” estará sempre presente, seja entre produtos, pessoas, serviços, processos e até mesmo na natureza. O importante é tentar descobrir “o que a variabilidade indica sobre os processos”, “quais são as fontes de variação”, “qual é o entendimento que se tem dos conceitos de probabilidade e estatística para se entender, estudar e controlar a variabilidade”.⁽⁴⁾ Através da metodologia *Six Sigma* se procura eliminar as causas essenciais dos problemas e diminuir a variabilidade dos processos.^(2,5)

As variações podem ser inseridas num processo através de suas entradas típicas (*inputs*) ou de atividades que transformam estas entradas em saídas (*outputs*). De acordo com Santos e Martins,⁽⁴⁾ “essas variações podem estar associadas a seis fontes distintas”:

- (i) *Pessoas*: por meio de diferentes maneiras de se fazer as coisas, diferentes estilos de aprendizagem, diferentes talentos e habilidades.
- (ii) *Máquinas*: por meio de equipamentos inconsistentes ou de várias partes de equipamentos, cujo desempenho não é uniforme (apesar de se esperar que fossem).
- (iii) *Material*: devido à diversidade de fornecedores ou mesmo à variação entre diferentes remessas de um mesmo fornecedor.
- (iv) *Método*: através de procedimento mal elaborado ou inapropriado àquela determinada atividade/tarefa.
- (v) *Medições*: inabilidade de medir exatamente e precisamente as diversas saídas dos processos.
- (vi) *Ambiente*: tanto no ambiente físico como do ambiente de trabalho, nas políticas e ações administrativas.

O principal fator para se analisar as fontes de variação são os “dados”: assim como são geradores de resultados podem ser geradores de incerteza. Embora a existência de dados seja fundamental para se estudar a variabilidade, é importante distinguir a diferença entre entender variabilidade e usar os dados: a variabilidade existirá independentemente da disponibilidade ou não de dados para estudá-la. Para que seja possível um perfeito entendimento da variabilidade, é necessário medi-la. Sem um perfeito entendimento da variabilidade – que é feito através da medição, levantamento de dados e posterior análise – é difícil separar causas comuns daquelas especiais. Isso pode dificultar o entendimento do processo, o que acaba refletindo no seu gerenciamento, tornando-o ineficaz. A melhoria, por sua vez, torna-se lenta, não havendo meios para dimensionar e reduzir as perdas. Em função disso, o processo de auto-aprendizagem é muito lento. Portanto, é fácil entender a necessidade de se investir em recursos para capacitação e treinamento de pessoas sobre o uso apropriado dos métodos estatísticos como estratégia de melhoria da qualidade e produtividade.⁽⁴⁾

O programa *Six Sigma* se trata de um programa rigoroso, que utiliza técnicas e ferramentas para definir os problemas e as situações que necessitam de melhoria, estabelece procedimentos de medições com o propósito de obter dados e informações, critica e analisa as informações coletadas, implementa as melhorias nos processos e, finalmente, controla ou quando necessário redesenha os processos ou produtos existentes, com o propósito de otimiza-los, proporcionando um ciclo de melhoria contínua.

De acordo com Godeiro et al.,⁽³⁾ “dentre os elementos fundamentais para o sucesso do programa *Six Sigma*, pode-se destacar a habilidade de relacionar técnicas e ferramentas estatísticas e não estatísticas com o uso de uma metodologia inicialmente desenvolvida pela *Motorola*, estruturada de maneira sistemática e disciplinada, e que posteriormente passou a ser chamada de DMAIC”. Esta metodologia integra tanto elementos humanos (mudança cultural, foco no cliente, infraestrutura do sistema) como elementos do processo (análise estatística, medição). Andrietta, Miguel e Maestrelli⁽²⁾ descrevem que o DMAIC é o método mais utilizado pelas empresas que aplicam o programa *Six Sigma*, devido a sua simplicidade e similaridade com o Ciclo PDCA, que é largamente empregado no processo de melhoria contínua. O modelo DMAIC é constituído das seguintes etapas^(2,3).

- (i) Define (D = Definir): encontrar um processo com necessidade de melhoria, definir bem o problema.
- (ii) Measure (M = Medir): checar o desempenho atual, obtendo informações sobre o desempenho do processo e estabelecendo uma relação custo-benefício.
- (iii) Analyze (A = Analisar): analisar as causas de variação, definir ações e planejar suas implementações.
- (iv) Control (C = Controlar): controlar o processo, assegurando a sua continuidade através da incorporação da melhoria contínua.

Santos e Martins⁽⁵⁾ referenciam algumas ações que podem ser aprimoradas com o pensamento estatístico em diversos níveis hierárquicos:

Estratégico: criação de medidas que permitam uma melhor avaliação do desempenho do negócio sob a ótica dos sócios, clientes, pessoas, sociedade e parceiros; fixação de metas; avaliação das tendências competitivas por meio de um melhor planejamento, coleta de dados, modelagem e análise.

Gerencial: criação de indicadores de desempenho que reflitam a eficiência e eficácia das atividades; desenvolvimento de modelos preditivos para avaliar as flutuações de mercado que afetam os indicadores de desempenho do negócio; tomada de decisão baseada em fatos e dados; aumento da robustez no gerenciamento.

Operacional: melhoria contínua dos processos internos; redução das fontes de variabilidade nos processos administrativos e de manufatura; padronização das atividades e procedimentos; estímulo para a quantificação da incerteza; registros, coleta de dados, análise e apresentação apropriada das informações sobre os processos administrativos e de manufatura.

Mello, Leusin e Bandeira⁽⁶⁾ relatam em seu trabalho “que é fundamental para o sucesso de um programa *Six Sigma* a existência prévia de uma base teórica nas empresas”, de forma que: os processos sejam claramente definidos; exista um conhecimento teórico de estatística; o pessoal envolvido seja treinado e tenha competência para desempenhar as funções; exista apoio incondicional da Alta Administração; não se tenha medo ou qualquer reação negativa ao novo modelo. De

acordo com os autores, as principais ferramentas *Six Sigma* empregadas no desenvolvimento do programa ou metodologia: “Cartas de Controle”, “Medição de Defeitos”; “Diagrama de Pareto”; “Mapeamento de Processo”; “Análise da Causa-raiz”; “Controle Estatístico de Processo”.

1.3 Tratamento Térmico de Peças

O emprego das ligas metálicas na engenharia e na indústria é baseado principalmente nas suas propriedades mecânicas, ou seja, na sua capacidade de suportar as cargas a que estão sujeitas quando em serviço. Essa característica depende da sua estrutura cristalina e está intimamente relacionada com sua composição e com as condições de fabricação. Desse modo, o controle da sua estrutura passa a ser um fator decisivo para a correta seleção e aplicação dos materiais metálicos. Os tratamentos térmicos a que são submetidas as peças metálicas – principalmente quando se trata de ligas ferrosas – constituem o meio mais usual, seguro e eficiente de controlar-se a sua estrutura.⁽⁸⁾

Em função da característica de qualidade objetivada (maior ductilidade, maior resistência à fadiga, maior resistência mecânica, dureza etc), podem ser empregados diferentes tipos de tratamento térmico. A escolha do tipo mais adequado depende da aplicação, logo, muitas vezes torna-se necessário conviver com uma variedade (leque) de opções de tratamento térmico para que as diferentes aplicações (ou mesmo clientes) possam ser atendidas.

Tendo em vista que os dados apresentados no presente trabalho são reais, e visando manter o caráter confidencial das informações, não estarão sendo identificados os tipos de materiais envolvidos muito menos qualquer valor financeiro, por questões óbvias. Tendo em vista a limitação de “estudos de caso” publicados, exemplificando a aplicabilidade da metodologia, o objetivo deste trabalho é mostrar um caso prático de aplicação do *Six Sigma*, o qual possibilitou a redução do tempo total de tratamento térmico de peças.

A escolha deste tema deveu-se à existência da hipótese de que os tempos reais praticados pela Produção apresentavam desvios significativos daqueles tempos previstos pela Engenharia de Produto, que é o departamento que desenvolve e define o tratamento térmico mais adequado para uma determinada aplicação, e que são considerados pelo departamento de Planejamento e Controle de Produção. Considerando que os ciclos de tratamento térmico são muito longos (até semanas), quaisquer desvios existentes em relação ao planejado afetam diretamente o atendimento do volume mensal de produção, o que afeta diretamente o faturamento da empresa, além de onerar o custo da operação de tratamento térmico visto que estamos submetendo menos peças num mesmo intervalo de tempo. A hipótese em questão representa, portanto, um potencial ganho para a empresa: o simples fato de “padronizar” as operações já era significativo, pois estaria proporcionando uma redução da dispersão dos tempos reais praticados. Porém, associado à padronização, outro potencial de ganho surge: disponibilizam-se horas/dias de tratamento térmico para a realização de outras cargas de tratamento, o que viabiliza também um aumento de produção.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram levantados dados históricos dos tempos praticados pela Produção e comparados com os tempos idealizados pela Engenharia de Produto e planejados

pelo Planejamento e Controle de Produção (PCP) para alguns tipos de tratamento térmico – especialmente aqueles com maior duração. Adotou-se como referência o período de produção de 1 (um) ano, visto que a duração dos ciclos é longa.

Empregou-se a metodologia DMAIC para avaliação dos dados levantados. Depois de concluída a análise, foram elaboradas ações para reduzir o tempo total de tratamento térmico de peças. Implantadas, e decorrido praticamente 1 (um) ano do início da implementação das ações, novos dados de produção foram levantados para avaliar a efetividade das ações e verificar o ganho real advindo das melhorias implementadas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

DMAIC

Define

Verificou-se a existência de uma variação média histórica bastante expressiva para um ano de produção analisada: atingiu-se variação de até 27% acima do previsto pela Engenharia de Produto. Adicionalmente, pode-se ver uma variabilidade (dispersão) também expressiva, especialmente para os ciclos “A”, “C” e “D”. Em relação ao tempo planejado, pode-se verificar que existe uma certa aderência dos tempos reais ao planejado. Na Tabela 1 pode-se visualizar as variações encontradas do tempo real em relação ao planejado (PCP) e também em relação ao idealizado (EP).

Tabela 1. Variação do tempo real de tratamento térmico em relação ao planejado pelo Planejamento e Controle de Produção (PCP), ao idealizado pela Engenharia de Produto (EP) e em relação ao mínimo tempo real observado para a população analisada (Mínimo). Sinal negativo significa que o tempo real ficou abaixo do tempo previsto (desejável), e sinal positivo significa que o tempo real ficou acima do tempo previsto (indesejável).

Tipo de tratamento térmico (duração em 'h' e 'dias'; tamanho da amostra analisada)	Variação do tempo real em relação a(ao):		
	PCP (%)	EP (%)	Mínimo (%)
A (280 h ou 12 dias; 64)	+ 6,1	+ 25,6	+ 63,7
B (185 h ou 8 dias; 81)	- 3,6	- 8,0	+ 23,3
C (284 h ou 12 dias; 83)	- 1,4	+ 21,4	+ 59,6
D (158 h ou 7 dias; 24)	- 6,0	+ 27,4	+ 59,7
E (356 h ou 15 dias; 30)	+ 6,0	- 4,8	+ 24,9

Com isso, verificou-se que há um potencial de ganho em termos de tempo de tratamento térmico, bastando, para isso, aproximar os tempos reais daqueles especificados pela Engenharia de Produto.

Measure

Foi realizado o levantamento dos dados a partir dos registros dos ciclos de tratamento térmico (tempo x temperatura). Na Tabela 2 podem ser visualizados resumos dos dados obtidos através do levantamento, já estratificados por tipo de tratamento térmico e tipo de forno, respectivamente.

Tabela 2 Principais resultados da variação do tempo real de tratamento térmico por tipo de forno e tipo de tratamento térmico.

Tipo de tratamento térmico	Resumo dos principais resultados observados, por tipo de forno de tratamento térmico		
	Tipo I	Tipo II	Tipo III
A	200 – 325 h ($\Delta\sim 63\%$)	-	200 – 425 h ($\Delta\sim 113\%$)
B	-	Não foram visualizadas diferenças significativas de tempo entre estes fornos	
C	Não foram visualizadas diferenças significativas de tempo entre estes fornos		
D	-	130 – 185 h ($\Delta\sim 42\%$)	125 – 165 h ($\Delta\sim 32\%$)
E	Apresentou tempo médio e simetria ligeiramente superior ao Tipo II	Atende plenamente PCP e EP	Apresentou tempo médio e simetria ligeiramente superior ao Tipo II e a maior dispersão dentre todos os fornos

Pode-se observar que para o tipo de tratamento térmico “A” a dispersão no tempo total chega a ser o dobro dependendo do tipo de forno (Tipo III, especificamente). Trata-se do tipo de tratamento térmico com maior desvio dentre os analisados no presente estudo. O forno Tipo I apresentou dispersão menor, porém ainda muito alta. Os tempos médio e mediano, para o forno Tipo I, são inferiores ao forno Tipo III. Para este tipo de tratamento térmico (“A”), no período analisado, não foi realizada qualquer carga no forno Tipo II. O tempo médio do forno Tipo I, de menor dispersão, atendeu ao planejado (PCP), porém foi bastante superior ao tempo especificado (EP) – vide Tabela 1.

O tratamento térmico “B” não pode ser realizado no forno Tipo I. No entanto, comparando-se os tempos médios de tratamento térmico entre os fornos Tipo II e III, não foi evidenciado desvio significativo. Ou seja, ambos os fornos respondem de forma similar ao ciclo de tratamento térmico “B”. Apesar disso, o forno Tipo II apresentou dispersão ligeiramente inferior àquela observada para o forno Tipo III. Para este tipo de tratamento térmico (“B”), ambos os fornos apresentaram média e mediana inferiores ao planejado e especificado, o que é bom – vide Tabela 1.

Para o tratamento térmico “C”, as médias de todos os tipos de fornos atendem ao planejado (PCP) – vide Tabela 1. No entanto, percebeu-se grande variação em relação ao especificado (EP) – vide Tabela 1.

O tratamento térmico “D” não pode ser realizado no forno Tipo I. Os fornos Tipo II e III apresentaram médias inferiores ao planejado (PCP), o que é bom – vide Tabela 1. Os fornos Tipo III apresentaram menores tempos médio e mediano do que os fornos Tipo II. Pode-se evidenciar que a dispersão entre os extremos de ambos os tipos de fornos é alta (42% e 32%, respectivamente, para Tipo II e Tipo III). No entanto, ambos os fornos apresentaram tempos médios muito superiores ao especificado (EP) – vide Tabela 1.

O tratamento térmico “E” apresentou-se, de uma maneira geral, relativamente próximo tanto em termos de planejamento (PCP) quanto de especificação (EP). Dependendo do tipo de forno, o comportamento em termos de dispersão foi um pouco melhor (Tipo II) ou pior (Tipo III). Em média, este tratamento térmico apresentou tempo ligeiramente inferior ao especificado (EP), o que é bom – vide

Tabela 1. No entanto, apresentou média ligeiramente superior ao planejado (PCP), o que evidentemente sugere a existência de uma maior dispersão em um dos fornos – vide Tabela 1.

Através do monitoramento (medição) feito, pode-se evidenciar a existência de grande variabilidade entre os tipos de fornos, em função dos tratamentos térmicos realizados.

Analyze

Avaliando-se a formação da carga dentro dos fornos (que apresentam geometria retangular), ou seja, a geometria das peças ou do conjunto de peças que estão sendo enfiadas para tratamento térmico, pode-se evidenciar o seguinte:

Área transversal da carga dentro do forno: Para tratamentos térmicos realizados em alta temperatura ($1.100^{\circ}\text{C} < T \leq 600^{\circ}\text{C}$), a área transversal da carga parece não ter tanta influência. Para tratamentos térmicos realizados em baixa temperatura ($< 600^{\circ}\text{C}$), a área transversal da carga influencia de forma significativa, o que é consequência direta da maior dificuldade gerada para a convecção dentro do forno quando se tem uma área transversal maior (ou seja, peças de diâmetro ou largura grande).

Número de peças dentro do forno: Para tratamentos térmicos realizados em alta temperatura ($1.100^{\circ}\text{C} < T \leq 600^{\circ}\text{C}$), o aumento do número de peças dentro do forno influencia o aumento do tempo total do ciclo. Para tratamentos térmicos realizados em fornos do Tipo I, o aumento do número de peças prejudica consideravelmente o tratamento térmico, incrementando de forma mais expressiva o tempo total do ciclo.

Avaliando-se os tempos parciais ao longo dos ciclos, ficou clara a necessidade de intensificar o controle e acompanhamento dos ciclos que estão em andamento pela Produção, visto os desvios/dispersão encontrados. Falta adequar e otimizar a operação de reenfiamento de peças (ação de voltar com uma peça para o forno para realização da segunda etapa de tratamento térmico após ter sido submetida à primeira etapa de tratamento térmico), especificamente para os fornos Tipo III, através de um melhor planejamento da própria Produção. Para estes fornos, a disposição dos mesmos (*lay-out*) prejudica algumas vezes as atividades.

A elaboração de um “diagrama de relação” apontou como problemas primários: “aquecimento lento”, “resfriamento lento”, “patamar extenso” e “atraso no desenfiamento”. Analisando-se estes itens, foram listadas como causas mais prováveis para o excesso de tempo de tratamento térmico: “prática operacional”, “ocupação operacional”, “cargas mescladas com materiais diferentes”, “carga excessiva” e “tipo de forno de tratamento térmico”. Após priorização, chegou-se à seguinte ordem de prioridade: prática operacional; tipo de forno; cargas mescladas com materiais diferentes; excesso de carga; ocupação operacional. Determinou-se, em seguida, as causas fundamentais para o problema de excesso de tempo de tratamento térmico: *falta de controle e acompanhamento operacional; falta de treinamento operacional; falta de adequação de ciclos aos tipos de fornos; falta de padronização dos ciclos.*

Improve

Nesta etapa foram elaboradas as ações para diminuição dos impactos das causas fundamentais.

A partir de um *brainstorming* e após a priorização foram apontadas as seguintes ações para o problema de excesso de tempo de tratamento térmico:

- (i) *Acompanhamento de tempos parciais ao longo do ciclo de tratamento térmico*: a supervisão passaria a monitorar, adicionalmente aos operadores, o seguimento do ciclo para avaliar a conformidade ao especificado.
- (ii) *Eliminação ou alteração de patamares de equalização para alguns ciclos*: patamares antes utilizados para equalização de temperaturas, talvez por medo de ruptura das peças durante o ciclo, e que pouco ou nada agregavam à qualidade final do produto, mas que devido às melhores condições de controle atuais, poderiam ser removidos tranqüilamente.
- (iii) *Incremento da taxa de aquecimento em altas temperaturas*: para altas temperaturas (> 600°C) o risco de ruptura por tensão residual excessiva diminui, possibilitando esta alteração.
- (iv) *Incremento da tolerância de temperatura em patamares de transferência para evitar tempos excessivos de manutenção para início do ciclo*.
- (v) *Abrir forno totalmente para resfriamento antes do desenformamento em temperatura a ser determinada*: quanto mais baixa for a temperatura, mais lento será o resfriamento dentro do forno; esta alteração agilizará o processo de resfriamento, sem riscos para as peças, reduzindo o tempo total do ciclo respectivo.
- (vi) *Incremento da temperatura de desenformamento*: complemento ao item anterior.

Após a elaboração das ações, iniciou-se a revisão dos ciclos de tratamento térmico objeto de análise para contemplar as possibilidades de melhoria, visando redução do tempo total do ciclo de tratamento térmico. Adicionalmente, elaborou-se uma planilha de monitoramento e definiu-se uma rotina para a supervisão do tratamento térmico, que eventualmente poderia ser feita pela própria Engenharia de Produto, de auditar periodicamente os ciclos em andamento para avaliar desvios e propor ações para adequação do ciclo real ao especificado. Foi desenvolvido, também, um treinamento técnico direcionado aos operadores, envolvendo 2 (dois) turnos de um total de 3 (três) turnos – a título de teste, no qual seriam detalhados conceitos teóricos e, principalmente, exemplificação dos problemas, causas mais prováveis, medidas preventivas para evitar-se desvios e corretivas a serem tomadas na ocorrência de desvios de processo. No decorrer do treinamento, pode-se evidenciar uma carência técnica “conceitual” muito grande por parte dos operadores.

Control

Analisando as duas populações de dados utilizadas no presente estudo, pode-se evidenciar facilmente que as ações de melhoria propostas foram eficazes.

Na Figura 1 pode-se encontrar os histogramas respectivos. As reduções obtidas para os tempos médios de tratamento térmico foram: **17,7%** para “A” (de 298,6h para 237,9h); **31%** para “B” (de 189,9h para 141,2h); **16,2%** para “C” (de 271,3h para 244,4h); **32,2%** para “D” (de 162,9h para 119,5h); **25,9%** para “E” (de 424,6h para 337,3h). Adicionalmente, pode-se ver um gráfico do tipo *boxplot*, que resume a melhoria implementada: redução significativa dos tempos reais médios de tratamento térmico e redução da dispersão.

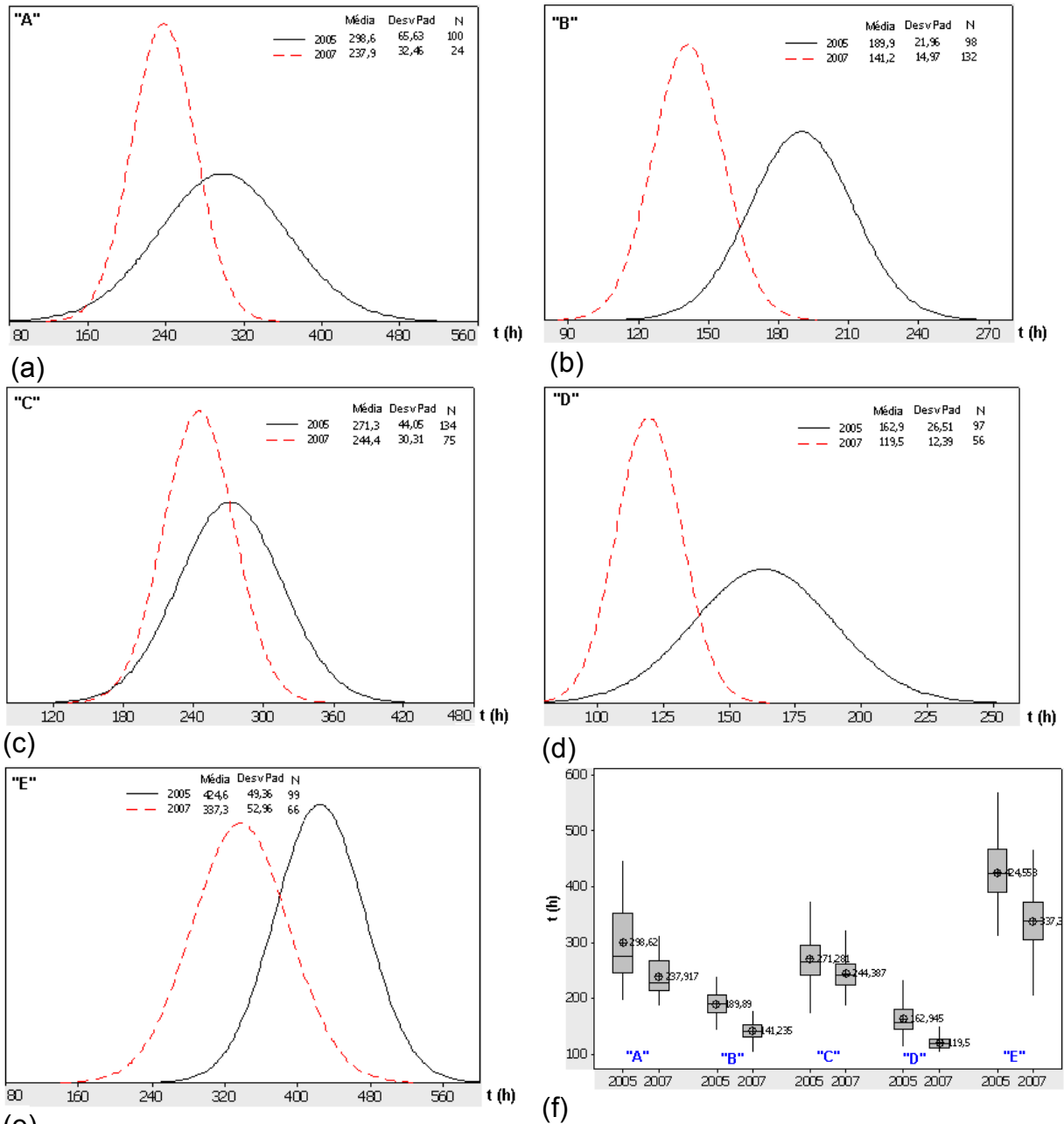


Figura 1. (a) até (e) Histogramas dos tempos reais de tratamento térmico nos anos 2005 e 2007 – as letras localizadas na parte superior esquerda de cada histograma referem-se ao tratamento térmico respectivo (A, B, C, D ou E). (f) Gráfico do tipo *boxplot*, resumindo os resultados dos tempos reais médios de tratamento térmico.

Pode-se observar, também, que para os ciclos de tratamento térmico “A”, “B”, “C” e “D” ocorreu uma redução expressiva da dispersão. A única exceção seria o ciclo “E”, para o qual a dispersão manteve-se no mesmo patamar.

Avaliando a distribuição dos ciclos por fornos de tratamento térmico (Figura 2), pode-se perceber que a dispersão entre tipos diferentes de fornos também reduziu para alguns tratamentos térmicos (A, B, C e D).

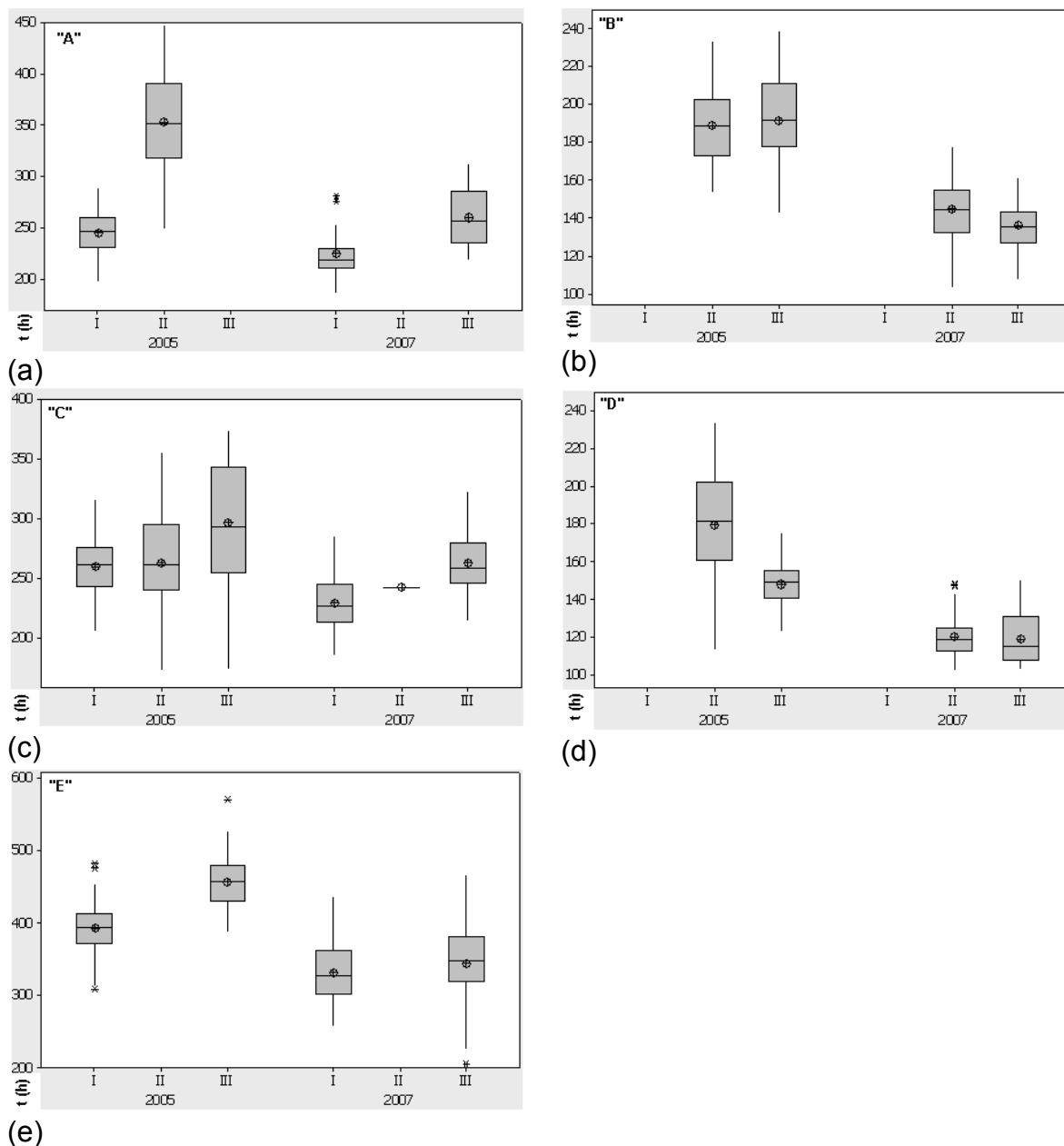


Figura 2 Gráficos do tipo *boxplot* detalhando os tempos reais, para cada tipo de tratamento térmico, por forno e por ano – as letras localizadas na parte superior esquerda de cada histograma referem-se ao tratamento térmico respectivo (A, B, C, D ou E).

Para o tratamento térmico “A” (Figura 2a), pode-se evidenciar que a dispersão encontrada para 2005 reduziu em 2007. Entre os fornos, a diferença dos tempos médios reduziu também. Embora seja visível uma melhora para o forno do tipo III, este ainda apresenta um potencial para melhorias.

Para os tratamentos térmicos “B” (Figura 2b), “D” (Figura 2d) e “E” (Figura 2e), observou-se uma melhora expressiva em termos de redução do tempo médio de tratamento térmico, independentemente do tipo de forno analisado. A dispersão também reduziu consideravelmente.

Para o tratamento térmico “C” (Figura 2c), evidenciou-se uma melhora em termos de redução do tempo médio de tratamento térmico, que não foi tão expressiva quanto para os outros tipos de tratamento. Especificamente para o forno do tipo III, pode-se visualizar uma redução expressiva na dispersão. No entanto, ainda existe uma diferença considerável do tempo real médio de tratamento térmico

entre os fornos do tipo I e III, o que sugere a existência de um potencial de melhoria adicional para este forno.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo de caso evidencia a aplicabilidade da metodologia *Six Sigma*. Mostra que esta ferramenta é de fato excepcional para auxiliar a melhoria contínua dentro de ambientes industriais, com resultados práticos expressivos.

Para o presente trabalho, foram obtidas reduções que variaram de um a quase quatro dias, dependendo do tipo de tratamento térmico envolvido. Estamos considerando ciclos que duram entre sete e 18 dias. Ou seja, qualquer melhoria que seja implementada, além de reduzir o custo real do produto final, proporciona uma redução do *lead time* do produto, disponibilizando os fornos de tratamento térmico para a realização de outros ciclos. Vale ressaltar, ainda, o benefício de uma melhor uniformidade dos tempos reais médios (fruto da redução da dispersão), o que auxilia consideravelmente na previsão de faturamento da empresa, diminuindo os desvios, que podem impactar no resultado financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 FEITOR, C.D.C.; VIVACQUA, C.A.; PINHO, A.L.S. A produção científica sobre a metodologia *Seis Sigma*. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2005, Porto Alegre, RS. p1223-1230.
- 2 ANDRIETTA, J.M.A.; MIGUEL, P.A.C.; MAESTRELLI, N.C. Técnicas e ferramentas utilizadas em empresas que aplicam o programa seis sigma no Brasil: resultados de uma *survey*. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2005, Porto Alegre, RS. p1420-1427.
- 3 GODEIRO, D.P.O.; MORAIS, V.M.; VIVACQUA, C.A.; PINHO, A.L.S. Cultura *Seis Sigma* em pequenas e médias empresas. In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2006, Fortaleza, CE. p1-8.
- 4 SANTOS, A.B.; MARTINS, M.F. Pensamento estatístico: um componente primordial para o sucesso do programa de qualidade *Seis Sigma*. In: XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2004, Florianópolis, SC. p1426-1433.
- 5 SANTOS, A.B.; MARTINS, M.F. O papel integrador do programa de qualidade *Seis Sigma*. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2005, Porto Alegre, RS. p1350-1357.
- 6 MELLO, L.C.B.B.; LEUSIN, S.; BANDEIRA, R.A.M. Estudo de caso de um programa de melhoria do processo em uma empresa industrial de grande porte: principais conclusões e sugestões para aprimoramento. In: XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2005, Porto Alegre, RS. p1303-1310.
- 7 WERKEMA, C. **Criando a cultura *Seis Sigma***. Volume I, Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark Editora Ltda, 2002.
- 8 CHIAVERINI, V. **Tratamentos térmicos das ligas ferrosas**. Associação Brasileira de Metais – ABM, 2ª edição, 1987.