

BRUNA BARBOSA HAMROURCH

**Aplicação da metodologia Seis Sigma na gestão dos custos dos insumos do
tratamento térmico**

**São Paulo
2015**

BRUNA BARBOSA HAMROURCH

**Aplicação da metodologia Seis Sigma na gestão dos custos dos insumos do
tratamento térmico**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista em
Gestão e Engenharia da Qualidade

Orientador: Prof. Dr. Adherbal Caminada
Netto

São Paulo
2015

BRUNA BARBOSA HAMROURCH

**Aplicação da metodologia Seis Sigma na gestão dos custos dos insumos do
tratamento térmico**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista em
Gestão e Engenharia da Qualidade

Orientador: Prof. Dr. Adherbal Caminada
Netto

São Paulo
2015

Dedico este trabalho ao meu esposo e à minha família que me fazem crescer a cada dia.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Adherbal Caminada Netto pela atenção e apoio para realização deste trabalho.

Ao Programa de Educação Continuada em Engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de especialização MBA em Gestão e Engenharia da Qualidade.

Ao gerente da qualidade e ao supervisor do tratamento térmico da empresa estudada, que atuaram fortemente para que esse trabalho fosse possível.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

Conhece-te, aceita-te e supera-te!
(Santo Agostinho)

RESUMO

A metodologia Seis Sigma¹ é uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar a performance e a lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação dos clientes. A metodologia Seis Sigma pode ser utilizada para buscar formas de reduzir os custos no processo produtivo, de forma que a organização se mantenha viva dentro do mercado competitivo. Este trabalho propõe a aplicação da metodologia Seis Sigma em uma indústria de engrenagens, com o objetivo de implementar melhorias no consumo de insumos² no processo de tratamento térmico, com a finalidade de reduzir no mínimo 15% o custo por kg de peça produzida. Para cumprir tal objetivo, foram empregadas ferramentas específicas da qualidade e a metodologia DMAIC do Seis Sigma, que consiste nas etapas *define* (definir), *measure* (medir), *analyse* (analisar), *improve* (melhorar) e *control* (controlar). As características definidas como críticas para qualidade (CTQ), de acordo com a voz do cliente, foram: Profundidade de camada, dureza superficial e de núcleo, microestrutura e deformação. Através da aplicação da metodologia foi possível alcançar uma redução de 38% no custo dos insumos, e após a aplicação dos controles de processos, constatou-se que essa redução se manteve ao longo do tempo.

Palavras-Chave: Seis Sigma, DMAIC, Tratamento Térmico

¹ Seis Sigma trata-se de um nome próprio atribuído à metodologia, se estivéssemos nos referindo ao número de desvios-padrão, o correto seria escrever seis sigmas.

² Entendem-se como insumos os gases metanol, GLP, nitrogênio e propano.

ABSTRACT

The methodology Six Sigma is a disciplined and highly quantitative management strategy, which aims to increase the performance and profitability of the companies, by improving the quality of products and processes and increased customer satisfaction. The Six Sigma methodology can be used to seek ways to reduce costs in the production process, so that the organization remains alive in the competitive market. This paper proposes the application of Six Sigma methodology in a gear industry, in order to implement improvements in the consumption of inputs in the heat treatment process in order to reduce at least 15% the cost per kg of produced piece. To meet this goal, specific quality tools and DMAIC methodology of Six Sigma, consisting of steps define, measure, analyze, Improve and control were employed. The characteristics defined as critical to quality (CTQ), according to the customer's voice were: Depth layer, surface and core hardness, microstructure and deformation. By applying the methodology was possible to achieve a 38% reduction in the cost of inputs and after the application of process controls, it was found that this reduction was maintained over time.

Keywords: Six Sigma, DMAIC, Heat Treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- As fases DMAIC.....	16
Figura 2	- Cronograma para o projeto 6 Sigma (2014).....	33
Figura 3	- Fluxograma do processo de tratamento térmico.....	33
Figura 4	- Forno do processo de tratamento térmico.....	34
Figura 5	- Variáveis (X's).....	34
Figura 6	- Exemplo de método de montagem de carga.....	36
Figura 7	- Diagrama Causa-Efeito.....	39
Figura 8	- Análise das causas.....	39
Figura 9	- Montagem Ipsen T13 (dispositivo D6069)	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	- Pareto custos T.T. (ago/13 a jul/14).....	28
Gráfico 2	- Pareto custos insumos T.T. (ago/13 a jul/14).....	29
Gráfico 3	- Evolução R\$/kg peça produzida (ago/13 a jul/14).....	32
Gráfico 4	- Utilização do forno Ipsen T13.....	37
Gráfico 5	- Utilização dos fornos Ipsen T4.....	37
Gráfico 6	- Consumo GLP e Produção.....	42
Gráfico 7	- Evolução do Custo de GLP/Ton peça produzida.....	42
Gráfico 8	- Evolução R\$/kg peça produzida (ago/13 a dez/14).....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Estratificação custos T.T. (ago/13 a jul/14).....	28
Tabela 2	- Estratificação custos insumos T.T. (ago/13 a jul/14).....	29
Tabela 3	- Consumo de referência.....	35
Tabela 4	- Utilização Forno Ipsen T4.....	38
Tabela 5	- Utilização Forno Ipsen T13.....	38
Tabela 6	- Estudo de viabilidade econômica.....	43
Tabela 7	- Referência de consumo antes do projeto.....	44
Tabela 8	- Referência de consumo após ações.....	44
Tabela 9	- Parâmetros dos programas 9 e 10.....	45
Tabela 10	- Montagem de carga antes da alteração do programa.....	45
Tabela 11	- Montagem de carga após a alteração do programa.....	45
Tabela 12	- Economia união programas 9 e 10.....	46
Tabela 13	- Montagem de carga T13 (dispositivo anterior)	47
Tabela 14	- Montagem de carga T13 (dispositivo D6069)	47
Tabela 15	- Viabilidade econômica D6069.....	47
Tabela 16	- Custo comparativo: Atmosfera Sintética e Endotérmica.....	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Objetivo	14
1.2. Escopo	15
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1. Metodologia Seis Sigma.....	16
2.1.1. Conceitos-chave do Seis Sigma	17
2.1.2. O método DMAIC	18
2.1.3. Etapa D: Definir (Define)	18
2.1.4. Etapa M: Medir (Measure).....	19
2.1.5. Etapa A: analisar (Analyze).....	20
2.1.6. Etapa I: Implementar Melhoria (Improve)	21
2.1.7. Etapa C: Controlar (Control).....	21
2.2. Processo tratamento térmico.....	22
2.2.1. Têmpera.....	23
2.2.2. Cementação.....	23
2.2.3. Engrenagens.....	24
3. ESTUDO DE CASO	26
3.1. Caracterização da empresa.....	26
3.2. Caracterização do projeto	27
3.3. Etapa D: Definir (Define)	27
3.3.1. Seleção do projeto e escopo.....	27
3.3.2. Equipe de trabalho	29
3.3.3. Características críticas para qualidade (CTQ)	30
3.3.4. Objetivo	31
3.3.5. Cronograma	32
3.3.6. Mapeamento do processo.....	33
3.4. Etapa M: Medir (Measure)	34
3.4.1. Variáveis	34
3.4.2. Vazão de gás	35
3.4.3. Programas.....	36
3.4.4. Montagem carga	36

3.4.5. Fonte de gás	38
3.5. Etapa A: Analisar (Analyze)	39
3.6. Etapa I: Melhorar (Improve)	40
3.6.1. Vazão de gás	40
3.6.2. Programas	44
3.6.3. Montagem carga	46
3.6.4. Fonte de gás	48
3.6.5. Resultados	50
3.7. Etapa C: Control (Controlar)	50
4. CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

A qualidade é importante para o desempenho de qualquer organização, é uma tarefa chave da função de operações e deve garantir que ela proporcione bens e serviços de qualidade para seus consumidores internos e externos. A busca por qualidade, melhoria contínua nos processos e a redução de custos estende-se a toda empresa que deseja manter-se neste mercado globalizado e marcado pela incerteza. Melhorar a qualidade enquanto os custos são reduzidos é o desafio das organizações no ambiente empresarial.

A metodologia Seis Sigma tem como objetivo aumentar a performance e a lucratividade das empresas, por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação dos clientes. O rigor e a disciplina da metodologia são concretizados por meio da utilização do DMAIC e de ferramentas, técnicas e análises estatísticas, de forma a medir e obter uma melhoria duradoura do desempenho da empresa.

A metodologia Seis Sigma pode ser utilizada para buscar formas de reduzir os custos no processo produtivo, de maneira que a organização se mantenha viva dentro do mercado competitivo. Segundo o jornal O Estado de São Paulo, de 25 de agosto de 2014, os resultados ruins apresentados este ano pelas fabricantes de automóveis - queda de 16,8% na produção, de 7,6% nas vendas internas e de 35,4% nas exportações no primeiro semestre - vêm puxando para baixo o desempenho de toda a cadeia automotiva. Setores que têm dependência forte das montadoras, como os de plásticos, siderurgia e, claro, autopeças, também apresentam desempenho negativo no ano.

1.1. Objetivo

Tendo em vista o cenário econômico apresentado acima, este trabalho propõe a aplicação da metodologia Seis Sigma em uma indústria de engrenagens com o objetivo de reduzir o custo com insumos utilizados no processo de tratamento térmico, reduzindo desperdícios e utilizando as etapas do chamado DMAIC e ferramentas da qualidade.

1.2. Escopo

Será tratada no capítulo 2 a revisão bibliográfica para esse trabalho, através da apresentação dos conceitos da filosofia Seis Sigma e sua aplicação na gestão de processo e na redução de desperdícios. Também serão apresentados no capítulo 2 alguns conceitos técnicos sobre os processos de tratamento térmico de cementação e têmpera e sobre o produto produzido pela empresa em questão: engrenagens.

No capítulo 3 será apresentada a aplicação da metodologia Seis Sigma em um estudo de caso para redução de custos dos processos de tratamento térmico de engrenagens motoras.

No capítulo 4 serão apresentadas as conclusões do trabalho e a verificação da eficácia da aplicação do Seis Sigma na redução de custos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Metodologia Seis Sigma

É possível definir o Seis Sigma como uma estratégia gerencial disciplinada e altamente quantitativa, que tem como objetivo aumentar a lucratividade das empresas por meio da melhoria da qualidade de produtos e processos e do aumento da satisfação de clientes e consumidores (WERKEMA, 2012).

É uma abordagem estruturada para a melhoria de processo, composta pelas cinco fases DMAIC (ver figura 1 a seguir), onde cada fase é ligada logicamente à fase anterior bem como à fase seguinte. A razão para se seguir esta metodologia rigorosa é obter a difícil meta do Six Sigma, ou seja, 3,4 defeitos por milhão de oportunidades.

O programa Seis Sigma é uma estratégia e não deve estar encapsulada na área de qualidade, devendo espalhar seus tentáculos por toda a organização, da manufatura e engenharia à área de serviço (HARRY, 1998).

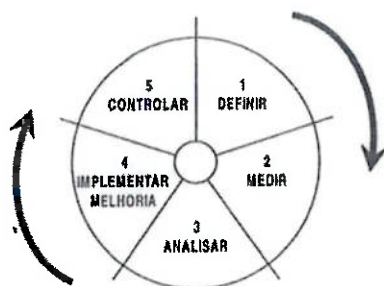


Figura 1 – As fases DMAIC

O Seis Sigma nasceu na Motorola em 15 de janeiro de 1987, com o objetivo de tornar a empresa capaz de enfrentar os concorrentes estrangeiros, que estavam fabricando produtos de melhor qualidade a um custo mais baixo (WERKEMA, 2012).

Depois que a Motorola recebeu o Prêmio Nacional de Qualidade Malcolm Baldrige, em 1988, o Seis Sigma passou a ser conhecido como o responsável pelo sucesso alcançado pela organização. Entre o final da década de 80 e o início da década de 90, a Motorola obteve ganhos de 2,2 bilhões de dólares com o programa.

A partir da divulgação do sucesso da Motorola, outras empresas, como Asea Brown Boveri, Allied Signal, General Electric e Sony, passaram a utilizar o Seis Sigma (WERKEMA, 2012).

No Brasil, o interesse pelo Seis Sigma também está crescendo a cada dia. Já há alguns anos, as empresas cujas unidades de negócio no exterior estavam

implementando este programa o conhecem. A pioneira na implementação do Seis Sigma com tecnologia nacional foi a Whirlpool (Multibrás e Embraco) que, em 1999, obteve mais de 20 milhões de reais de retorno, a partir dos projetos Seis Sigma. Atualmente, várias outras empresas no Brasil estão adotando o programa com suporte de consultoria nacional (WERKEMA, 2012).

Implementar o Seis Sigma em uma organização cria uma cultura interna de indivíduos educados em uma metodologia padronizada de caracterização, otimização e controle de processos (ROTONDARO *et al.*, 2002).

O Seis Sigma é aplicável a processos técnicos e não técnicos. Um processo de fabricação é visto como técnico. Nesse processo, temos entradas como: partes de peças, montagens, produtos, partes, matérias-primas que fisicamente fluem por meio do processo. A saída é normalmente um produto final, uma montagem ou uma submontagem. Em um processo técnico, o fluxo do produto é muito visível e tangível. Existem muitas oportunidades para a coleta de dados e medições e, em muitas instâncias, dados variáveis (SLACK *et al.*, 1999).

Por outro lado, um processo não técnico é mais difícil de ser visualizado. Processos não técnicos são processos administrativos, de serviços ou transações. Nesses processos, as entradas podem não ser tangíveis. Todavia, estes são certamente processos, e tratá-los como tal permite-nos entendê-los melhor e determinar suas características, otimiza-los e, assim, eliminar a possibilidade de erros e falhas (SLACK *et al.*, 1999).

Os serviços são intangíveis, e são produzidos e entregues ao mesmo tempo. Isso propicia a existência de processos “invisíveis”, ou seja, com número excessivo de etapas, ou com etapas diferentes para o mesmo processo, o que no final leva a uma variabilidade muito grande (GIANESI e CORRÊA, 1994).

2.1.1. Conceitos-chave do Seis Sigma

Comumente chamado de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, Seis Sigma pode ser definido e entendido em três níveis: métrica, metodologia e filosofia, conforme definições a seguir (NEW TO SIX SIGMA, 2015):

- **Métrica:** sigma é a letra grega usada pelos estatísticos para denotar o desvio padrão de um conjunto de dados, fornecendo uma estimativa da variação dos dados medidos. O nível sigma é usado para descrever o quanto a variação de

um processo atende aos requisitos do cliente, através da distância, em unidades de desvio padrão (sigma), entre a linha central do processo e os seus limites de especificação (KELLER, 2005).

- Metodologia: estruturada na metodologia de solução de problemas que consiste nas fases “*define-measure-analyze-improve-control*” (DMAIC), definir-medir-analisar-melhorar-controlar, em inglês. O objetivo é eliminar os defeitos e alcançar a distância de seis sigma entre a média e o mais próximo limite de especificação, em qualquer processo.
- Filosofia: reduzir a variação e melhorar os processos da organização e tomar decisões baseadas em dados e com foco no cliente.

2.1.2. O método DMAIC

Um dos elementos da infraestrutura do Seis Sigma é a constituição de equipes para executar projetos que contribuam fortemente para o alcance das metas estratégicas da empresa. O desenvolvimento desses projetos é realizado com base em um método denominado DMAIC. O método DMAIC é constituído por cinco etapas (WERKEMA, 2012):

- D - *Define* (Definir): Definição clara do processo e do problema;
- M - *Measure* (Medir): Levantamento de dados para medir a extensão do problema, determinação de metas;
- A - *Analyze* (Analisar): Análise das fontes de variação e causa-raiz do problema;
- I - *Improve* (Melhorar): Plano de ação e melhoria do processo;
- C - *Control* (Controlar): Padronização das melhorias do processo.

2.1.3. Etapa D: Definir (*Define*)

A primeira fase é Definir, quando o propósito e o escopo do projeto são definidos e as informações de suporte sobre o processo e sobre o cliente são coletadas (RATH & STRONG, 2004).

A primeira etapa da metodologia consiste em definir claramente qual o “Efeito” indesejado de um processo que deve ser eliminado ou melhorado (ROTONDARO *et al.*, 2002).

Os objetivos desta fase são:

1. Uma declaração clara sobre a melhoria pretendida;
2. Um Mapa de "Alto Nível" do processo (SIPOC);
3. Uma lista do que é importante para o cliente.

Na fase Definir, as metas do projeto e seus limites serão estabelecidos, baseado no conhecimento das metas de negócios da organização, nas necessidades do cliente e no processo que precisa ser melhorado para alcançar um nível sigma mais elevado (RATH & STRONG, 2004).

As ferramentas mais comumente usadas na fase Definir são:

1. Carta do Projeto (incluindo o caso de negócio);
2. Análise do "Stakeholder";
3. SIPOC;
4. Rendimento de Produção Total;
5. Voz do Cliente;
6. Diagrama de Afinidade;
7. Modelo Kano;
8. Características Críticas para a Qualidade (CTQ).

2.1.4. Etapa M: Medir (*Measure*)

A meta da fase Medir é focalizar os esforços de melhoria pela obtenção de informação sobre a situação atual (RATH & STRONG, 2004). A metodologia Seis Sigma trabalha com os fatos e dados. Nesta etapa, o processo em estudo é desenhado e são “Medidas” as variáveis principais (ROTONDARO *et al.*, 2002). Os objetivos dessa fase são:

1. Dados basais sobre o desempenho do processo atual;
2. Dados que indicam o local ou a ocorrência de problemas;
3. Uma declaração mais focada do problema.

Os dados acima mencionados fornecerão a base para a próxima fase.

As ferramentas mais comumente usadas na fase Medir são:

1. Plano de Coleta de Dados;

2. Formulários de Coleta de Dados;
3. Cartas de Controle;
4. Gráficos de Frequência;
5. Estudos de Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R);
6. Diagramas de Pareto;
7. Matriz de Priorização;

2.1.5. Etapa A: analisar (*Analyze*)

A meta da fase Analisar é identificar as causas raiz e confirmá-las com dados. A saída é uma teoria que foi testada e confirmada (RATH & STRONG, 2004).

A fase Medir produziu o "*baseline*" de desempenho do processo. Pela estratificação dos dados no "*baseline*" de desempenho, tornou-se possível destacar os locais ou as fontes de problemas, pela construção de um entendimento factual das condições e problemas do processo existente. Isto ajuda a focar a declaração do problema. Na fase Analisar serão desenvolvidas teorias sobre as causas raiz, confirmando as teorias com dados e finalmente serão identificadas as causas raiz do problema. As causas verificadas formarão a base para as soluções na fase seguinte (RATH & STRONG, 2004).

As ferramentas mais comumente usadas na fase Analisar são:

1. Diagramas de afinidade;
2. *Brainstorming*;
3. Diagramas de Causa e Efeito;
4. Cartas de Controle;
5. Formulários de Coleta de Dados;
6. Plano de Coleta de Dados;
7. Projeto de Experimentos;
8. Diagramas de Fluxo;
9. Gráficos de Frequência;
10. Testes de Hipótese;
11. Diagramas de Pareto;
12. Análise de Regressão;
13. Metodologia de Superfície de Resposta;
14. Amostragem;

- 15. Diagramas de Dispersão;
- 16. Gráficos de Frequência Estratificados;

2.1.6. Etapa I: Implementar Melhoria (*Improve*)

A meta da fase Implementar Melhoria é testar e implementar soluções que mitiguem as causas raiz. A saída são ações planejadas e testadas que podem eliminar ou reduzir o impacto das causas raiz identificadas. Adicionalmente, um plano é criado sobre como os resultados serão avaliados na fase seguinte (RATH & STRONG, 2004).

As ferramentas comumente usadas nesta fase são:

- 1. *Brainstorming*;
- 2. Consenso;
- 3. Técnicas de Criatividade;
- 4. Coleta de dados;
- 5. Projeto de Experimentos;
- 6. Diagramas de Fluxo;
- 7. FMEA;
- 8. Teste de Hipótese;
- 9. Ferramentas de Planejamento;
- 10. Análise do *Stakeholder*.

2.1.7. Etapa C: Controlar (*Control*)

A meta da fase Controlar é avaliar as soluções e o plano, manter os ganhos pela padronização do processo e delinear passos para melhorias contínuas incluindo oportunidades para replicação. A saída é:

- 1. Análise antes e depois;
- 2. Um sistema de monitoramento;
- 3. Documentação completa dos resultados, aprendizados e recomendações.

Durante a fase Implementar Melhoria, a solução foi testada em um experimento piloto, e os planos foram preparados para implantação em larga escala. O objetivo da fase Controlar é de ajudar a ter certeza de que o problema tenha solução definitiva e que os novos métodos possam ser melhorados ao longo do tempo

(RATH & STRONG, 2004). As ferramentas mais comumente usadas na fase Controlar são:

1. Cartas de Controle;
2. Coleta de Dados;
3. Diagramas de Fluxo;
4. Gráficos para comparar o antes e o depois como Pareto, gráficos de frequência, etc.;

2.2. Processo de tratamento térmico

Define-se tratamento térmico como um conjunto de operações de aquecimento e resfriamento do metal, com controle acurado de tempo, temperatura, atmosfera e velocidade de aquecimento e resfriamento, com o objetivo de modificar a estrutura física do material, conferindo-lhe propriedades e características específicas (CHIAVERINI, 1971). Programando-se adequadamente o tratamento térmico, benefícios diversos são obtidos tais como remoção de tensões internas; aumento ou diminuição da dureza; aumento da resistência mecânica; melhora da usinabilidade; melhora da resistência ao desgaste; melhora nas propriedades de corte; melhora na resistência a corrosão; modificação das propriedades elétricas (TSCHIPTSCHIN, 2010).

Os tratamentos térmicos são frequentemente associados com o aumento da resistência do material. Entretanto, podem ser utilizados para alterar características de fabricação, como usinabilidade, estampabilidade ou restauração de ductilidade após intenso processo de conformação a frio. Pode-se dizer, então, que os tratamentos térmicos são processos de fabricação que facilitam outros processos de fabricação e aumentam o desempenho dos produtos por meio do aumento da resistência mecânica ou de outras propriedades (TSCHIPTSCHIN, 2010).

O benefício trazido pelos tratamentos térmicos aos aços é muito grande, pois esses materiais respondem muito bem aos diferentes ciclos de tratamento utilizados. Num mesmo aço, dependendo do tratamento térmico, pode-se obter níveis de resistência mecânica, dureza, ductilidade e tenacidade muito variadas, permitindo, por exemplo, amolecer o material para usinagem e posteriormente endurecê-lo para

se obter alta resistência. Essa é uma das razões pelas quais a utilização comercial do aço é muito maior que a de outros materiais (TSCHIPTSCHIN, 2010).

Uma grande variedade de tratamentos térmicos e termoquímicos pode ser utilizada em aços, podendo-se, grosso modo dividi-los em dois grupos:

1. Tratamentos de amolecimento

2. Tratamentos de endurecimento

O amolecimento é feito para reduzir a dureza, remover tensões residuais, melhorar a tenacidade ou quando se deseja refinar o grão do material. Já o endurecimento dos aços é feito para aumentar a resistência mecânica e a resistência ao desgaste (TSCHIPTSCHIN, 2010).

2.2.1. Têmpera

É o tratamento térmico aplicado aos aços com porcentagem igual ou maior do que 0,4% de carbono. O efeito principal da têmpera num aço é o aumento de dureza.

Podemos considerar as seguintes fases para o tratamento térmico de têmpera:

1. Aquecimento: A peça é aquecida em forno ou forja, até uma temperatura recomendada (por volta de 800°C para os aços ao carbono).

2. Manutenção da temperatura: Atingida a temperatura desejada, esta deve ser mantida por algum tempo com o propósito de uniformizar o aquecimento em toda a peça.

3. Resfriamento: A peça uniformemente aquecida na temperatura desejada é resfriada em água, óleo ou jato de ar.

Espera-se que através da têmpera seja obtido um aumento considerável da dureza do aço e um aumento da fragilidade em virtude do aumento de dureza. Para redução da fragilidade de um aço temperado é necessário outro tratamento térmico denominado revenimento.

2.2.2. Cementação

A cementação é um tratamento termoquímico feito para enriquecer a superfície da peça em carbono. Um aço cementado é um aço de baixo carbono (no máximo 0,2% C), contendo ou não elementos de liga, tratado termoquimicamente de forma a

se obter teor de carbono próximo de 0,8% na superfície. A espessura de camada pode variar de 0,5 a 2,0 mm. Engrenagens de caixas de câmbio e sistemas de transmissão são geralmente cementadas (TSCHIPTSCHIN, 2010).

2.2.3. Engrenagens

As engrenagens são peças com formatos cilíndricos, cônicos ou hiperbólicos, cuja projeção de contato tem o formato de um "dente", que através do contato direto feito ao pares sobre os flancos desses dentes, transmitem movimento sem deslizamento (NIEMANN, 1971).

As engrenagens, também chamadas rodas dentadas, são elementos básicos na transmissão de potência entre árvores. Elas permitem a redução ou aumento do momento torsor, com mínimas perdas de energia, e aumento ou redução de velocidades, sem perda nenhuma de energia, por não deslizarem. A mudança de velocidade e torção é feita na razão dos diâmetros primitivos. Aumentando a rotação, o momento torsor diminui e vice-versa. Assim, num par de engrenagens, a maior delas terá sempre rotação menor e transmitirá momento torsor maior. A engrenagem menor tem sempre rotação mais alta e momento torsor menor (BARBOSA, 2011).

As engrenagens não só apresentam tamanhos variados, mas também se diferenciam em formato e tipo de transmissão de movimento. Dessa forma, podemos classificar as engrenagens empregadas normalmente dentro dos seguintes tipos (BARBOSA, 2011):

- Engrenagem cilíndrica de dentes retos
- Engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais
- Engrenagem cilíndrica com dentes internos
- Engrenagem cilíndrica com cremalheira
- Engrenagem cônica com dentes retos
- Engrenagem cilíndrica com dentes oblíquos
- Engrenagem cilíndrica com dentes em V
- Engrenagem cônica com dentes em espiral ou hipóidal.

Normalmente se utilizam materiais metálicos resistentes na produção de engrenagens tais como o aço de baixo ou médio carbono laminados a frio ou a

quente, ferro fundido nodular, bronze e aço inoxidável. Dentro os principais aços padrão SAE/AISI utilizados, estão o 1020, 1040, 1050, 3145, 3150, 4320, 4340, 8620 e 8640.

Os processos utilizados normalmente para produção de engrenagens são usinagem, fundição e conformação. No caso da usinagem, pode ser feita a divisão em dois grupos: Usinagem com ferramenta e a usinagem por geração.

A usinagem com ferramenta de forma consiste na utilização da fresa módulo, fresa de ponta, brochamento, entre outros. Já na usinagem por geração, são utilizadas as ferramentas de fresa caracol (*hob*), cremalheira de corte, entre outros.

3. ESTUDO DE CASO

3.1. Caracterização da empresa

O estudo de caso foi conduzido em uma indústria de engrenagens do Estado de São Paulo, que fornece componentes de transmissão para montadoras de veículos pesados, leves, motocicletas e equipamentos agrícolas e de construção civil. As peças fabricadas são aplicadas em motores, transmissões, diferenciais e caixas de câmbios para as mais diversas e severas aplicações.

No ano de 2015 a empresa conta com aproximadamente 140 colaboradores, em uma área de 30.000 m² de terreno e 12.000 m² de área construída, com uma capacidade de produção de aproximadamente 200.000 engrenagens por mês em suas instalações de usinagem e tratamento térmico.

Apesar de atender predominantemente os fabricantes de veículos e sistemistas, a empresa também tem uma ampla linha de produtos que atende a primeira linha do mercado de reposição.

O processo de tratamento térmico é baseado em fornos de cementação por atmosfera gasosa, controlada por meio de sensores de óxido de zircônia, gerenciados pelo sistema Marathon. Isto faz com que o processo esteja sendo monitorado a cada segundo e realimentado instantaneamente, para proporcionar estreitas variações na concentração de carbono e na temperatura. Tal equipamento e tal processo produzem peças cuja distorção dos dentes é minimizada e controlada.

Os materiais comumente utilizados para fabricação das peças são os aços que seguem as normas DIN 16MnCr5 e DIN 20MnCr5.

As instalações têm como premissa o fluxo do processo por famílias de peças, onde é aplicado o Sistema Toyota de Manufatura na sua totalidade. Este sistema, reconhecido mundialmente, diminui os tempos de entregas e os estoques em processo, caracterizando uma manufatura enxuta.

A empresa desenvolve *softwares* e utiliza modelagens eletrônicas como ferramenta para simular seus estudos de aplicações, de maneira a prever possíveis falhas antes da concepção dos produtos ou processos. Estes recursos são parte integrante do método APQP, o planejamento avançado da qualidade, sempre utilizado nos novos desenvolvimentos.

Por uma questão de sigilo, a identidade da empresa não foi revelada nesse trabalho e os dados foram apresentados utilizando-se um fator multiplicador, para não representar os dados reais. Será informado quando os valores reais forem apresentados.

3.2. Caracterização do projeto

Este projeto teve como objetivo reduzir o custo com insumos utilizados no processo de tratamento térmico, reduzindo desperdícios, por meio da utilização da metodologia Seis Sigma. Cada etapa do DMAIC e as ferramentas utilizadas estão descritas abaixo.

3.3. Etapa D: Definir (*Define*)

A primeira etapa da metodologia consistiu na seleção e definição do projeto, determinação do escopo do projeto, formação da equipe de trabalho, identificação das características críticas para qualidade, determinação dos objetivos e do cronograma e mapeamento do atual processo.

3.3.1. Seleção do projeto e escopo

A seleção do projeto foi conduzida tendo em vista o cenário econômico anteriormente apresentado, visando a redução dos custos internos dos processos produtivos. Dentro dos processos produtivos, evidenciou-se a necessidade de viabilizar melhoria da performance do custo do processo de tratamento térmico, processo esse que contribui fortemente para o custo do produto final.

Dentro dos custos do processo de tratamento térmico, um levantamento foi realizado, com a finalidade de buscar a maior contribuição financeira para o valor total (ver tabela 1 e gráfico 1 a seguir).

Tabela 1 - Estratificação custos T.T. (ago/13 a jul/14)

Custos	R\$ Mil	%	% Acc.	R\$/Kg
Salários e Encargos	508	37	37	0,88
Depreciação	276	20	57	0,48
Insumos	264	19	76	0,46
Energia	143	10	86	0,25
Calibradores e Outros	117	8	95	0,20
Manutenção	71	5	100	0,12
Custo Total	1379	100		2,39

Produção (Ton)	578
----------------	-----

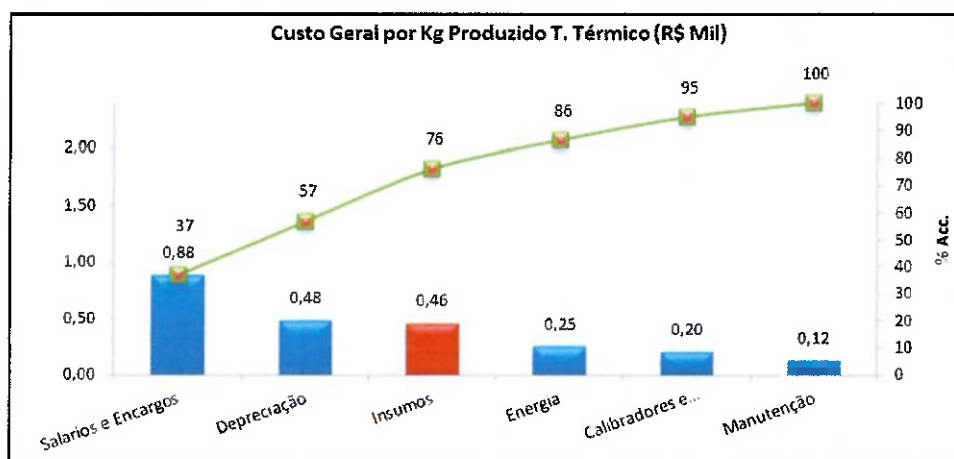


Gráfico 1 - Pareto custos T.T. (ago/13 a jul/14)

O levantamento realizado pôde mostrar que, para uma produção anual de 578 Ton de peças, o custo total do processo no período de agosto de 2013 a julho de 2014 foi de aproximadamente R\$ 1,4 milhões, gerando um custo por kg de peça produzida de R\$ 2,42. A estratificação do custo total mostra que 57% do custo do processo de tratamento térmico se deve a salários e encargos e à depreciação dos equipamentos instalados. Como para esses valores não é possível aplicar um projeto Seis Sigma para melhoria, já que envolve a política da empresa e questões legais, definiu-se que o projeto de melhoria seria aplicado nos custos com insumos, que representam 19% do custo total.

Considerando o mesmo período, de agosto de 2013 a julho de 2014, para o custo dos insumos do tratamento térmico, também foi realizado um levantamento com a finalidade de buscar a maior contribuição financeira para o valor total (ver tabela 2 e gráfico 2 a seguir).

Tabela 2 - Estratificação custos insumos T.T. (ago/13 a jul/14)

Item	Consumo	Custo (R\$Mil)	R\$/Kg produzido	%	% Acc.
METANOL (l)	55.650	R\$ 83	R\$ 0,14	31%	31%
GLP (kg)	24.555	R\$ 72	R\$ 0,12	27%	59%
NITROGÊNIO (m³)	153.954	R\$ 63	R\$ 0,11	24%	82%
PROPANO (kg)	4.918	R\$ 28	R\$ 0,05	11%	93%
Óleo Têmpera (l)	2.910	R\$ 15	R\$ 0,03	6%	99%
SAL TEC 660 (kg)	105	R\$ 2	R\$ 0,004	1%	100%
		R\$ 264	R\$ 0,46		

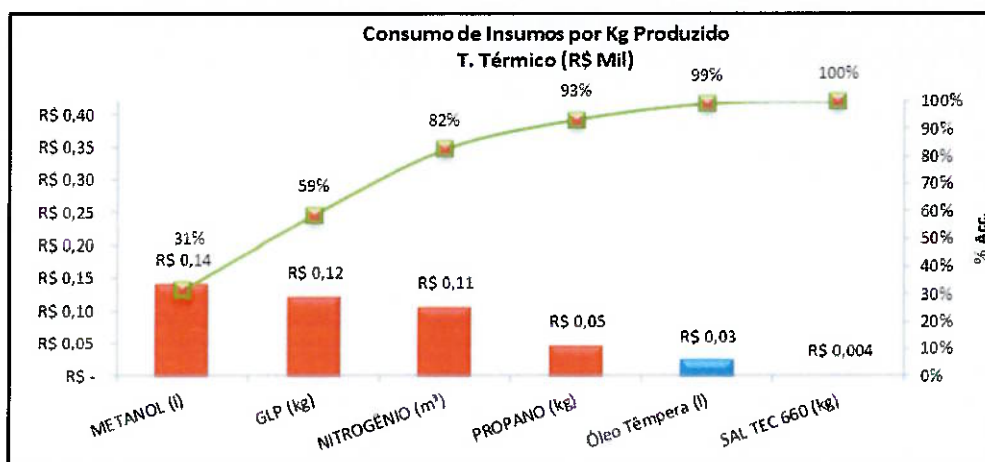


Gráfico 2 - Pareto custos insumos T.T. (ago/13 a jul/14)

O levantamento realizado pôde mostrar que a maior contribuição financeira para os custos dos insumos do processo do tratamento térmico deve-se aos gases Metanol, GLP, Nitrogênio e Propano. Esses gases apresentam um custo anual de R\$ 246 mil (correspondendo à soma dos 4 primeiros itens da região mais escura da Tabela 2), representando 93% do custo total do processo, conforme gráfico 2 acima (Pareto).

Assim, o projeto foi definido da seguinte forma: Redução do custo com gases (metanol, GLP, nitrogênio e propano) no processo de tratamento térmico.

3.3.2. Equipe de trabalho

A equipe foi nomeada tendo em vista as necessidades do projeto e contou com um representante de cada uma das áreas: Engenharia, Tratamento Térmico, Qualidade e Laboratório Metalúrgico. O gerente da qualidade foi nomeado líder e *black belt* do projeto.

Todos os membros da equipe são devidamente formados nas principais ferramentas da qualidade, são extremamente comprometidos com a proposta do projeto e engajados com a filosofia Seis Sigma. A equipe recebeu apoio da alta administração.

3.3.3. Características críticas para qualidade (CTQ)

Dentro da proposta do projeto, que trata de reduzir o custo do processo de tratamento térmico, deve-se observar quais características são críticas em relação ao impacto sobre os requisitos do cliente, desempenho, qualidade ou confiabilidade. Assim, a redução só poderá ser validada caso as características críticas estiverem asseguradas.

As características definidas como críticas estão descritas nos itens abaixo.

- *Profundidade de camada*

A camada cementada nas engrenagens origina-se de processos de tratamentos termoquímicos, que promovem um endurecimento superficial pela modificação da composição química e microestrutura. No caso em questão, é realizado o tratamento de cementação nas engrenagens, para que haja um aumento da dureza e da resistência ao desgaste de uma camada superficial, mantendo-se a microestrutura do núcleo dúctil e tenaz.

A profundidade da camada cementada é uma característica crítica para a qualidade, já que essa região sofrerá um desgaste abrasivo na aplicação final do produto, podendo comprometer sua funcionalidade.

- *Dureza superficial e de núcleo*

Assim como dito anteriormente, a dureza superficial das engrenagens garante uma resistência ao desgaste em sua aplicação e ela assume um valor superior se comparado ao nível de dureza da região do núcleo da engrenagem. Na região do núcleo a engrenagem deve apresentar uma maior tenacidade e ductilidade, com o propósito de evitar trincas ou até fraturas, comprometendo totalmente sua funcionalidade.

- *Microestrutura*

A microestrutura de um material corresponde às características físicas do material que podem ser observadas ao microscópio. Muitas das características estruturais observadas na microestrutura dos materiais, como por exemplo, o tamanho dos grãos, podem ditar as propriedades que esse material apresentará em sua aplicação ressaltando, assim, o motivo pelo qual o controle da microestrutura dos materiais é tão importante.

- *Deformação*

O processo de tratamento térmico pode gerar certas deformações, como empenamentos e distorções dimensionais, que podem comprometer a qualidade final do produto, mesmo que outros resultados, tais como a dureza e a microestrutura metalográfica, se apresentem conforme solicitadas. Essas deformações podem ser atribuídas à qualidade do material tratado, à geometria das peças, aos parâmetros do processo de tratamento térmico, aos insumos utilizados, entre outros.

Para engrenagens, assim como para diversos tipos de produtos, a deformação gerada no tratamento térmico afeta diretamente características dimensionais, comprometendo sua funcionalidade.

Portanto, todas as ações e estudos realizados nesse projeto devem ter como premissa a garantia de atendimento às características críticas para qualidade: Profundidade de camada, dureza superficial e de núcleo, microestrutura e deformação.

3.3.4. Objetivo

Para a determinação do objetivo do projeto, foi feito um levantamento da evolução do custo com os insumos (metanol, GLP, nitrogênio e propano) e da produção nos últimos 12 meses. Com isso construiu-se uma evolução do custo desses insumos por kg de peças produzidas, como pode ser visualizado no gráfico 3 a seguir.

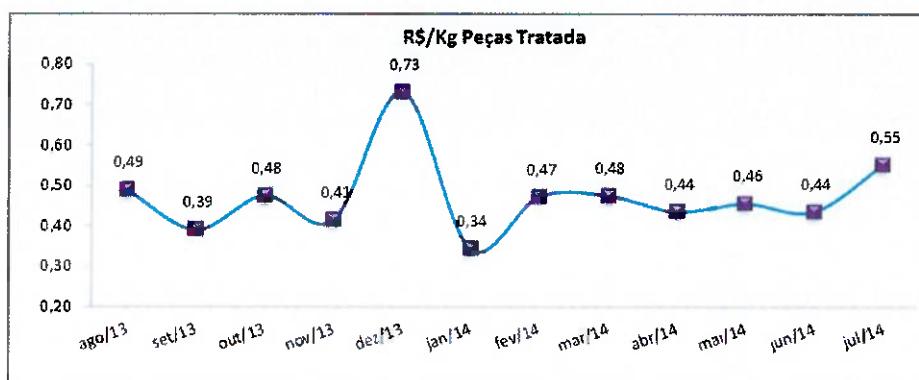


Gráfico 3 – Evolução R\$/kg peça produzida (ago/13 a jul/14)

No período de agosto de 2013 a julho de 2014, o custo médio de insumos por kg de peça produzida no tratamento térmico foi de R\$ 0,47. Tendo em vista o cenário econômico, que faz a empresa buscar cada vez mais alternativas de melhorias em seus custos internos, o grupo estipulou uma meta de 15% de redução, meta essa considerada desafiadora, mas também viável, já que existem grandes possibilidades de melhorias dentro do processo de tratamento térmico.

3.3.5. Cronograma

A equipe definiu um cronograma para o projeto Seis Sigma, que determina uma duração total de 4 meses (ver figura 2 a seguir). Como definido na seção da revisão bibliográfica, as fases do projeto Seis Sigma seguem uma ordem lógica (*Define-Measure-Analyse-Improve-Control*).

Para elaboração do cronograma de trabalho, a equipe seguiu a mesma sequência da metodologia DMAIC, sendo que a etapa *“Improve”*, que trata da implementação de melhorias no processo, deve começar desde o levantamento do problema, já que há uma concentração de esforços para alcançar uma determinada melhoria desde o começo do projeto e que surte ganhos já no início. É claro que a fase *“Improve”* deverá gerar melhores resultados quando a fase *“Analyse”* estiver concluída.

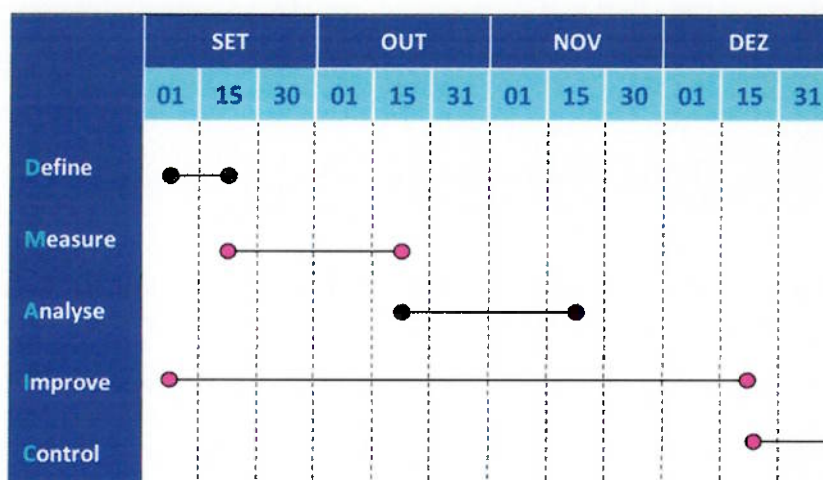


Figura 2 – Cronograma para o projeto 6 Sigma (2014)

3.3.6. Mapeamento do processo

Para definição do escopo do projeto, foi realizado um mapeamento no processo, para poder visualizar as etapas do processo a serem estudadas (ver figura 3 a seguir).

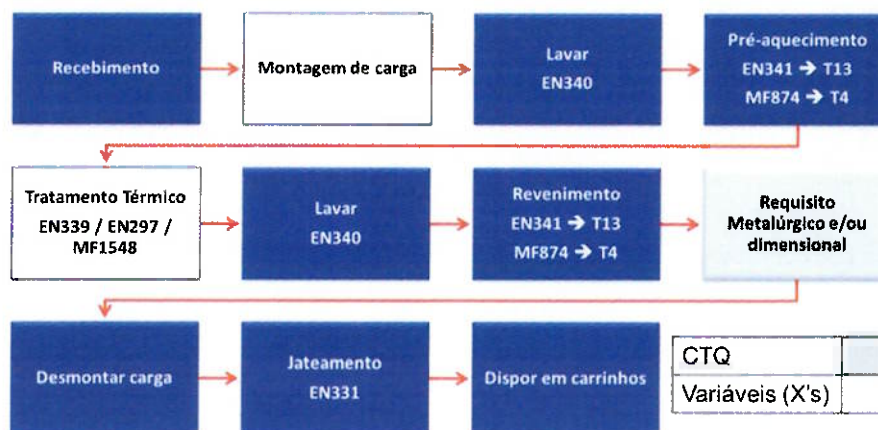


Figura 3 – Fluxograma do processo de tratamento térmico

Neste fluxograma, nota-se que as etapas de montagem de carga e de tratamento térmico foram destacadas como os locais aonde as variáveis atuam.

Observa-se que as etapas em que se deve concentrar a atenção para a análise e tomada de ação são as etapas de Montagem de Carga - quando se é determinado o número de peças que serão tratadas e também o nível de aproveitamento do forno - e a etapa de Tratamento Térmico, que é o momento em que os insumos são utilizados.

Já na etapa de Requisito Metalúrgico/Dimensional ocorre a verificação das características críticas da qualidade.

Na figura 4 a seguir está representado o forno aonde ocorrem as etapas de pré-aquecimento e de tratamento térmico. Serão considerados no projeto os dois fornos denominados Ipsen T4, com capacidade de 400 kg, e um forno denominado Ipsen T13, com capacidade de 1.300 kg.

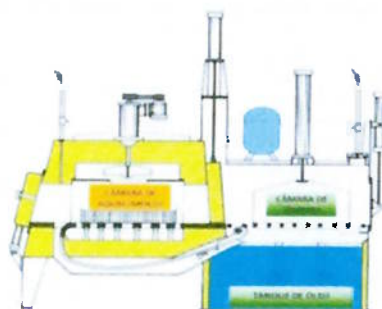


Figura 4 – Forno do processo de tratamento térmico

3.4. Etapa M: Medir (*Measure*)

3.4.1. Variáveis

Foi realizado um levantamento das variáveis que atuam no aumento do custo com insumos, conforme figura 5 a seguir.



Figura 5 – Variáveis (X's)

A primeira variável levantada foi a vazão de gás, que determina diretamente o volume de gás transferido para o processo.

A variável denominada como “programas” trata dos programas utilizados no processo, que determinam uma série de parâmetros como tempo e temperatura, e

que variam de acordo com as especificações de cada peça. Principalmente no parâmetro tempo o consumo de insumo é afetado.

A terceira variável, montagem de carga, trata dos dispositivos e métodos em que as peças são arranjadas dentro do forno antes do processo. Como o custo de uma carga de tratamento térmico não varia com a quantidade de peças tratadas, o nível de aproveitamento do forno deve ser estudado de forma a aumentar o número de peças em uma mesma carga.

A última variável trata da fonte de gás da qual se obtém o carbono para o processo de cementação, que pode ser por meio de uma atmosfera sintética ou de um gerador endotérmico. Para cada uma das opções há um custo envolvido.

3.4.2. Vazão de gás

Para verificar se a vazão dos gases utilizados no processo pode ser otimizada, primeiramente levantaram-se os valores de vazão para a situação inicial, considerando os fornos Ipsen T13 e T4, conforme tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Consumo de referência

	Metanol (L)	N ₂ (m³)	Propano (kg)	GLP (kg)
Consumo T13	3175	4536	133	1210
Consumo T4 (2)	2646	4536	133	1210
Cosumo Total (máx)	5821	9072	267	2419
R\$ Máx (Mil)	R\$ 9	R\$ 4	R\$ 2	R\$ 7
R\$ Máx. Mensal (Mil)	R\$			21
R\$ Máx. Anual (Mil)	R\$			252

É possível notar que para a vazão atual, o custo com os gases pode assumir um valor máximo de R\$ 252 mil, considerando a utilização de toda a capacidade produtiva e os preços atuais dos gases. Percebe-se que o custo real (R\$ 246 mil), mostrado no item 3.3.1 deste trabalho, representa 97% do valor de referência calculado.

3.4.3. Programas

Para a implantação de melhorias nos programas de tratamento térmico é necessário avaliar os parâmetros de processo de diferentes programas, de modo a verificar se existe alguma possível otimização, sem que haja comprometimento das características de qualidade do produto. A otimização pode ser feita pela alteração de parâmetros de programas, ou pela união de programas similares para melhorar a utilização dos fornos. Assim, um número maior de tipos de peças pode ser tratado numa mesma carga.

3.4.4. Montagem carga

O ponto principal para medição na variável “Montagem de carga” é o fator de utilização do forno, ou seja, qual percentual da capacidade máxima está sendo usado ao realizar a montagem da carga?

Para a realização de uma montagem de carga são utilizadas as folhas de operação, na qual estão determinados os métodos e os dispositivos a serem usados, que resultarão em um número fixo de peças por carga, de acordo com o tipo de peça (ver figura 6 a seguir).

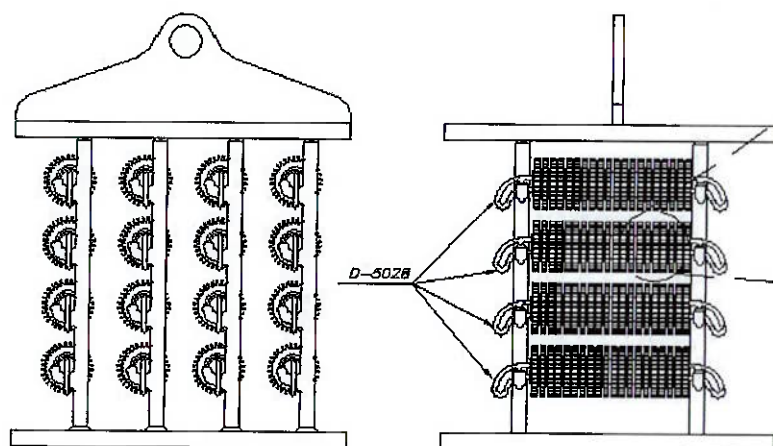


Figura 6 – Exemplo de método de montagem de carga

Como medição da operação de montagem de carga, levantou-se o fator de utilização para o período de dois meses para os fornos Ipsen T4 e T13, conforme visualizado nos gráficos 4 e 5 a seguir.

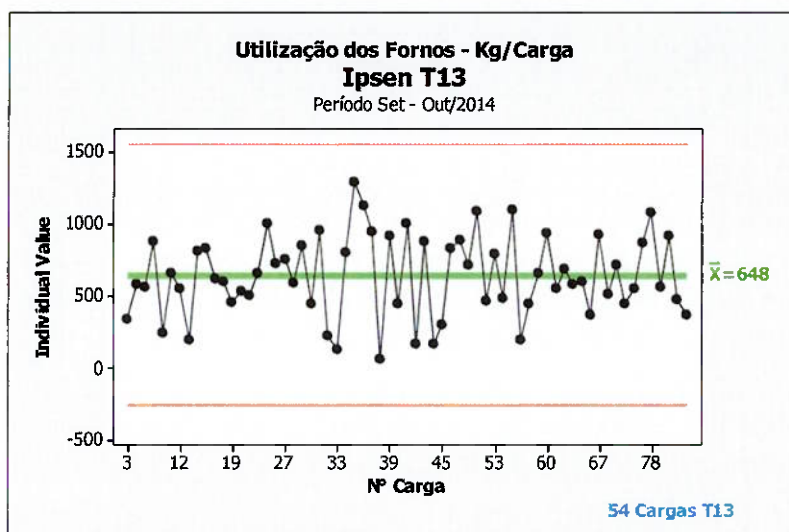


Gráfico 4 – Utilização do forno Ipsen T13

Nos meses de setembro e outubro de 2014 foram tratadas 54 cargas no forno Ipsen T13, sendo que a média observada de kg de peças tratadas por carga foi de 648 kg. Tendo em vista que a capacidade total do forno Ipsen T13, descontando o peso dos dispositivos, é de 1.100 kg, o fator médio de utilização desse forno nos meses de setembro e outubro foi de 58,9%.

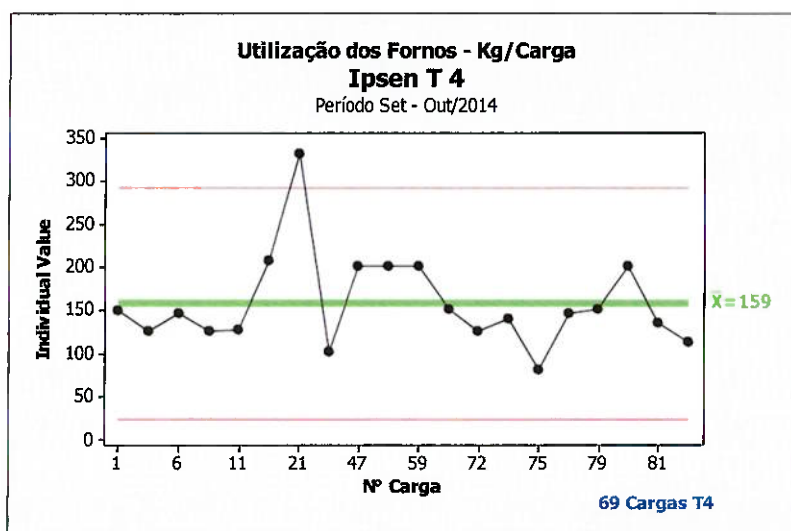


Gráfico 5 – Utilização dos fornos Ipsen T4

Já nos fornos Ipsen T4, foram tratadas 69 cargas, sendo que a média observada de kg de peças tratadas por carga foi de 159 kg e o fator médio de utilização calculado para a capacidade de 320 kg foi de 49,7%.

Notou-se também que nos dois tipos de fornos as cargas com menores fatores de utilização foram as cargas que continham as peças A e B do cliente aqui denominado X. Assim, para esse cliente, calculou-se qual seria o maior número de peças possível de alocar numa mesma carga (ver tabelas 4 e 5 a seguir).

Tabela 4 - Utilização Forno Ipsen T4

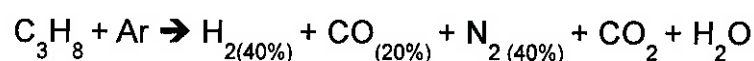
Cliente	Peça	Qtde.	Peso (kg)
X	A	960	105
X	B	528	
% utilização			33%

Tabela 5 - Utilização Forno Ipsen T13

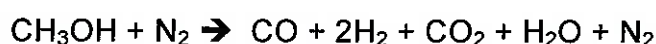
Cliente	EG	Qtde.	Peso (kg)
X	A	1.920	211
X	B	1056	
% utilização			20%

3.4.5. Fonte de gás

Como mostrado no capítulo da revisão bibliográfica, durante o tratamento termoquímico de cementação o carbono é difundido na superfície metálica a uma determinada profundidade em direção ao núcleo para permitir a têmpera superficial. O carbono pode prover de um hidrocarboneto (propano) parcialmente oxidado com ar em um gerador endotérmico para produzir uma atmosfera contendo CO e H₂.



Outra opção é a utilização de uma atmosfera sintética, por meio da mistura de nitrogênio e metanol, que produz uma atmosfera carburante, conforme mostrado na equação abaixo.



Na empresa em questão, é utilizada a atmosfera sintética para obtenção de carbono, com uma concentração de 40% de N₂ e 60% de metanol, que gera uma atmosfera com teor de CO de aproximadamente 20%. O custo anual para obtenção de carbono por meio da atmosfera sintética é de R\$ 217 mil.

3.5. Etapa A: Analisar (Analyze)

Na fase Analisar foram estudadas as causas para o problema em questão sendo que, para tal, foi desenhado um diagrama causa-efeito conforme mostrado na figura 7.

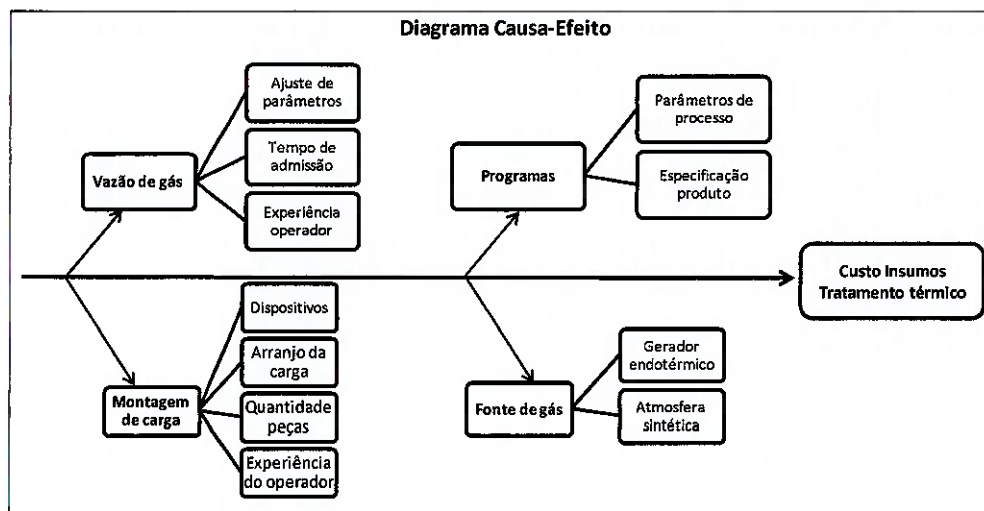


Figura 7 - Diagrama Causa-Efeito

Após a elaboração do diagrama, a equipe avaliou as causas, dando uma nota de 0 a 10 de acordo com o impacto que cada causa exerce sobre o custo do insumo e sua relevância, conforme mostrado na figura 8.

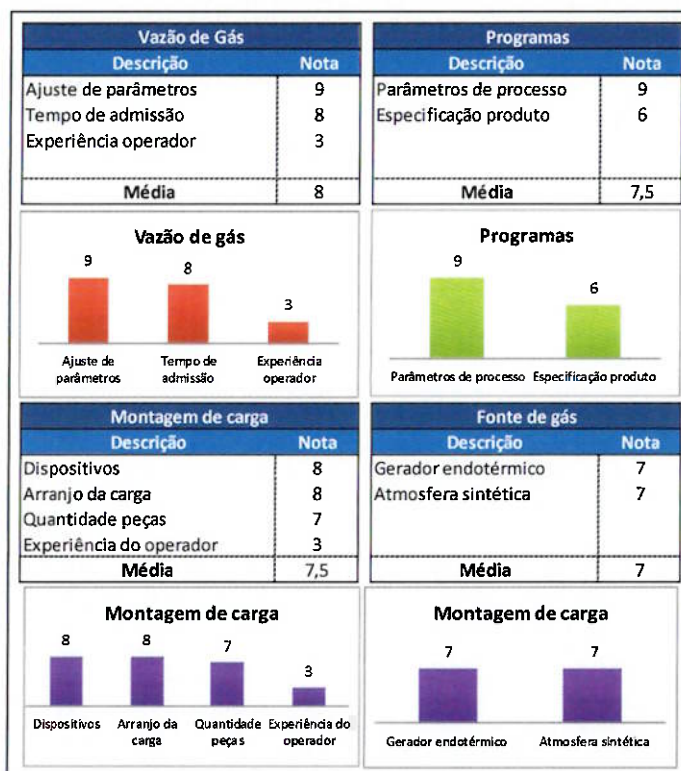


Figura 8 - Análise das causas

A partir dos gráficos anteriormente apresentados, é possível constatar quais das causas analisadas são mais relevantes e quais devem ser priorizadas para minorar o efeito.

A causa que recebeu menor nota foi a denominada “experiência do operador”. Dentro do processo verificou-se que o quadro de colaboradores conta com operadores treinados e com grande experiência nas atividades exercidas. Por isso, a nota para o impacto e relevância foi 3 e a equipe optou por não considerar essa causa para tomada de ações.

A segunda menor nota dada foi para a causa “especificação do produto”. Além de ter um menor impacto sobre o custo dos insumos, em relação às demais causas, não é possível realizar um estudo de melhoria tendo em vista que trata-se da especificação do cliente e das características da qualidade. Por isso, a equipe também desconsiderou essa causa no estudo.

A demais causas obtiveram nota maior ou igual a 7 e foram consideradas para a fase Melhorar.

3.6. Etapa I: Melhorar (*Improve*)

A fase Melhorar iniciou com a busca de ações para mitigar as causas anteriormente listadas. Buscou-se focar principalmente nos processos das peças A e B do cliente X, que apresentaram menor fator de utilização dos fornos, como mostrado na seção 3.4.4, sendo que a abrangência para os demais processos foi feita sempre que possível.

3.6.1. Vazão de gás

- *Ajuste de parâmetros*

Foram realizados estudos para o ajuste de parâmetros de vazão para os diversos gases, sendo que apenas para o gás GLP foi constatada a possibilidade de melhoria. Alguns fatores de estudos foram considerados: vazamentos, pressão da rede e proporção ar-gás nos queimadores.

Na empresa o GLP é armazenado em uma central e, através de uma rede de distribuição, é transferido para os fornos de tratamento térmico. Por isso, primeiramente foi executado um trabalho de inspeção para detecção de possíveis

vazamentos na rede de distribuição. A inspeção demonstrou não haver vazamentos e que não havia a necessidade de reparos.

Então, foi realizada a medição da pressão da rede para verificar se estava de acordo com o necessário para o processo. O GLP é usado como um combustível e, por uma questão de segurança, serve para que sejam queimados os gases gerados no processo. O volume do GLP consumido deve ser apenas suficiente para manter a chama do queimador acesa. De acordo com um estudo realizado, a pressão da rede, para que seja mantida a chama do queimador sem afetar nenhum fator de segurança, deveria ser de aproximadamente $0,8 \text{ kg.f/cm}^2$.

Com a realização da medição, constatou-se que a pressão da rede era de 2 kg.f/cm^2 . O grupo definiu que a pressão deveria ser alterada para 1 kg.f/cm^2 , sendo que essa redução de pressão iria gerar uma redução na vazão e no consumo de GLP.

Outro fator estudado foi a proporção de ar atmosférico e GLP nos queimadores. Uma inspeção nos queimadores demonstrou que a entrada de ar atmosférico poderia ser aumentada, gerando uma redução na vazão do GLP. O ajuste nos queimadores foi realizado, garantindo que a chama de segurança ficasse acesa sem que houvesse desperdício no consumo de GLP.

Nos gráficos 6 e 7 a seguir são apresentados os ganhos obtidos, sendo que para o tópico “ajuste de parâmetros na vazão de gás” não foi necessário nenhum investimento na implementação das ações.

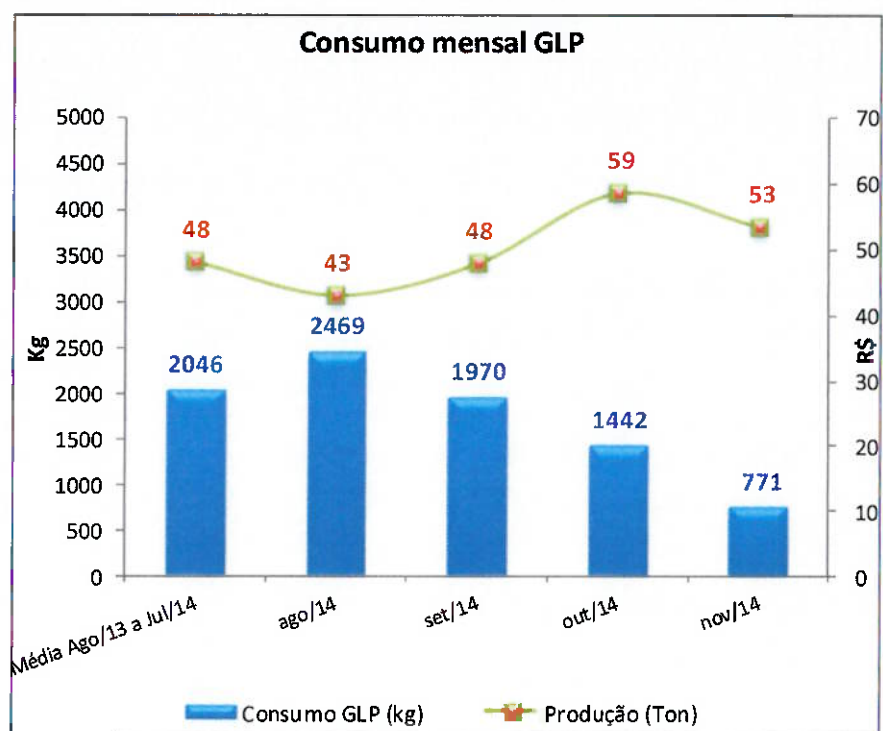


Gráfico 6 - Consumo GLP e Produção

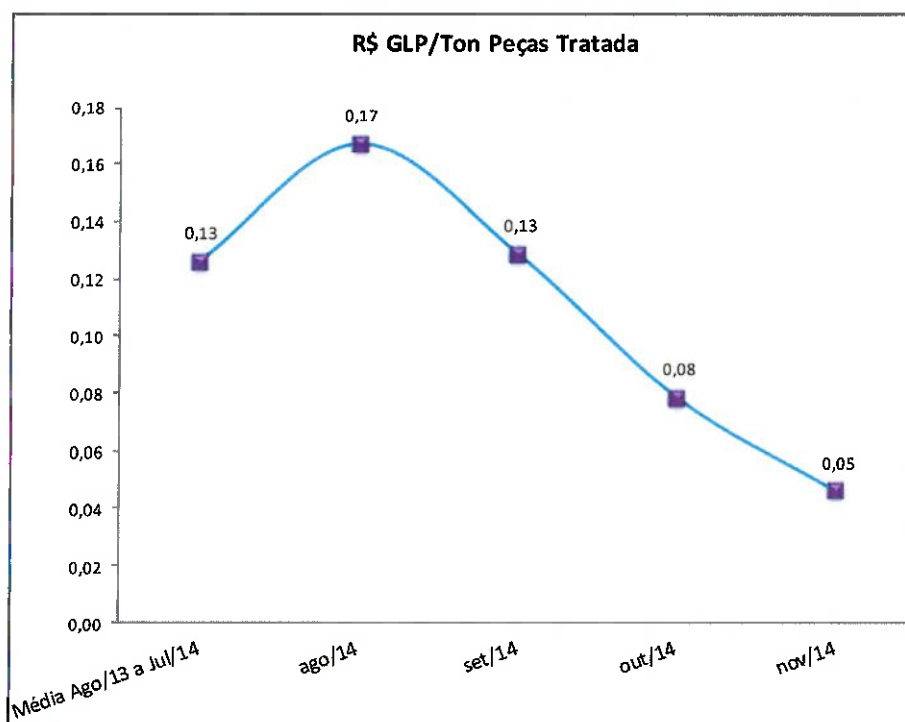


Gráfico 7 - Evolução do Custo de GLP/Ton peça produzida

Analisando os gráficos acima, percebeu-se que, com o ajuste na pressão da rede e na proporção ar-gás nos queimadores, obteve-se uma redução de 65% no

custo de GLP por tonelada de peça produzida, sendo que essa porcentagem representa o valor real de redução obtido na empresa.

- *Tempo de admissão*

A liberação do metanol no processo de cementação ocorre para a formação da atmosfera sintética, que permitirá que ocorra a transformação termoquímica. As peças são cementadas a uma temperatura de 930°C, sendo que o metanol é liberado quando o forno atinge a temperatura de 760°C.

A equipe realizou um estudo para mensurar o tempo necessário entre a liberação do metanol até a formação completa da atmosfera ideal. Percebeu-se que a liberação do metanol poderia ser atrasada, ocorrendo apenas quando o forno atingisse 880°C. Com isso, poderia ser reduzido em 1 hora por processo o tempo que o metanol é consumido.

Os fornos de tratamento térmico contam com um *software* com comando computadorizado, chamado supervisor, que permite a alteração de características do processo. Os fornos Ipsen T4 contam com um *software* que possui uma versão mais recente, que possibilita a alteração da temperatura de liberação do metanol. Já para o forno Ipsen T13, foi necessária a contratação dos serviços da empresa que desenvolve o *software* e que realizou uma atualização do mesmo. Antes da contratação da empresa, realizou-se a análise da viabilidade financeira que demonstrou um *payback* do investimento de pouco mais de 1 ano, conforme mostrado a seguir na tabela 6.

Tabela 6 - Estudo de viabilidade econômica

Estudo de viabilidade econômica para alteração software		
	T13	T4
Tempo p/ atingir 880°C (h)	1	1
Vazão (l/h)	6	2,6
Economia mensal (l)	473	394
Economia mensal (R\$)	R\$ 704	R\$ 587
Economia anual (R\$)	R\$ 8.448	R\$ 7.040
Economia TOTAL anual (R\$)	R\$ 15.489	
Investimento (R\$)	R\$ 9.398	R\$ -
Payback (anos)	1,1	-

Portanto, por meio do ajuste no tempo de admissão do metanol, foi possível obter uma redução de 7% no consumo de metanol, sendo que essa porcentagem representa o valor real de redução obtido na empresa.

Pode-se notar nas tabelas 7 e 8 a comparação entre os valores de referência para a vazão dos gases no início do projeto (apresentados no item 3.4.2), e os novos valores após as ações executadas.

Tabela 7 - Referência de consumo antes do projeto

	Metanol (L)	N ₂ (m³)	Propano (kg)	GLP (kg)
Consumo T13	3175	4536	133	1210
Consumo T4 (2)	2646	4536	133	1210
Cosumo Total (máx)	5821	9072	267	2419
R\$ Máx (Mil)	R\$ 9	R\$ 4	R\$ 2	R\$ 7
R\$ Máx. Mensal (Mil)	R\$			21
R\$ Máx. Anual (Mil)	R\$			252

Tabela 8 - Referência de consumo após ações

	Metanol (L)	N ₂ (m³)	Propano (kg)	GLP (kg)
Consumo T13	3175	4536	133	560
Consumo T4 (2)	2252	4536	133	280
Cosumo Total (máx)	5427	9072	267	840
R\$ Máx (Mil)	R\$ 8	R\$ 4	R\$ 2	R\$ 2
R\$ Máx. Mensal (Mil)	R\$			16
R\$ Máx. Anual (Mil)	R\$			190

3.6.2. Programas

Com relação aos programas, a equipe realizou um levantamento e verificou quais programas poderiam ser alterados, visando uma redução no consumo, sem que nenhuma característica da qualidade fosse afetada.

Dentre os programas existentes, notou-se que existe uma possibilidade de melhoria nos programas enumerados como 9 e 10, por se tratar de programas similares, como pode ser constatado na tabela 9 a seguir.

Tabela 9 – Parâmetros dos programas 9 e 10

Programa Nº	9	10
Profundidade de camada (mm)	0,45-0,75	0,4-0,8
Material (EM)	36 A	36/39
Temperatura de Cementação $\pm 10^{\circ}\text{C}$	900	920
Tempo horas de Cementação $\pm 10'$	3,00	3,00
%C de cementação $\pm 0,10\%$	1,00	1,00
Temperatura de Difusão $\pm 10^{\circ}\text{C}$	830	820
Tempo horas de Difusão $\pm 10'$	0.5	1,00
%C difusão $\pm 0,10\%$	0,80	0,80
Temperatura banho de óleo Artemp30 \pm	80	100
Temperatura banho de óleo Artemp220 \pm	130	130

Uma proposta de união dos dois programas foi considerada, por se tratar de programas com parâmetros similares para atender a especificações também similares. Essa proposta, além de manter garantidas as características da qualidade, possibilita o atendimento a um maior número de tipo de peças em uma mesma carga, gerando um maior aproveitamento do forno.

De acordo com as tabelas 10 e 11 a seguir, uma carga no forno Ipsen T13, onde era possível tratar apenas as peças A e B do cliente X, resultando num aproveitamento de 20% do forno, agora possibilita a inserção da peça C de outro cliente, com um aproveitamento de 42% do forno.

Tabela 10 - Montagem de carga antes da alteração do programa

Cliente	Peça	Qtde.	Peso (kg)
X	A	1.920	211
X	B	1056	
% utilização			20%

Tabela 11 - Montagem de carga após a alteração do programa

Cliente	Peça	Qtde.	Peso (kg)
X	A	1920	211
X	B	1056	
Y	C	100	250
TOTAL			461
% utilização			42%

Na tabela 12 estão apresentados os ganhos obtidos, sendo que para o tópico “ajuste dos parâmetros dos programas” não foi necessário nenhum investimento na implementação das ações. Aqui a intenção foi de reduzir o número de cargas necessárias para tratar a mesma quantidade de peças.

Peça	Qtde. Cargas (Antes)		Qtde. Cargas (Depois)	
	T13	T4	T13	T4
A	-	18	9	-
B	-	17	8	-
C	2	59	3	20
TOTAL	2	93	20	20
R\$ Mensal	2.766		1.844	
R\$/peça	0,10		0,07	
R\$ anual	11.060			

Tabela 12 - Economia união programas 9 e 10

3.6.3. Montagem de carga

Para melhoria no item montagem de carga, com melhoria no arranjo das cargas, aumento no número de peças por carga e melhoria nos dispositivos atuais, foi proposta a realização de um projeto de um dispositivo para as peças A e B do cliente X.

A equipe, juntamente com um projetista, estudou um novo dispositivo para uma melhor disposição das peças nos fornos Ipsen T13 e Ipsen T4. Na figura 9 a seguir está demonstrado um esquema de montagem no forno Ipsen T13, com o dispositivo projetado, denominado D6069, que garante uma boa distribuição de peças no forno e a possibilidade da montagem numa mesma carga para as peças A, B e C, já que essas podem agora ser processadas juntas, devido à alteração de programa mostrado no item 3.6.2.

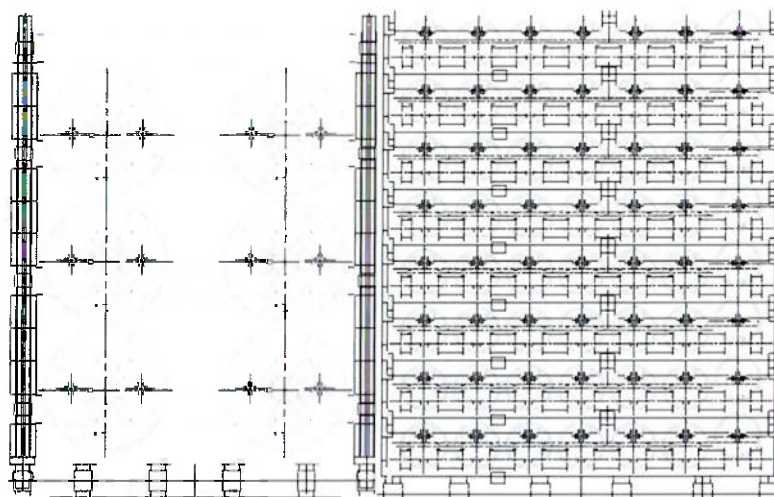


Figura 9 - Montagem Ipsen T13 (dispositivo D6069)

Nas tabelas 13 e 14 a seguir pode ser verificado que a utilização do novo dispositivo gera um aumento na utilização do forno, pois o dispositivo D6069 possibilita o aumento do número de peças por carga.

Tabela 13 - Montagem de carga T13 (dispositivo anterior)

Cliente	EG	Qtde.	Peso (kg)
X	A	1.920	211
X	B	1056	
% utilização			20%

Tabela 14 - Montagem de carga T13 (dispositivo D6069)

Cliente	EG	Qtde.	Peso (kg)
X	A	2240	246
X	B	1232	
Y	C	120	300
Total			546
% utilização			50%

Para aquisição do novo dispositivo, a equipe realizou um estudo de viabilidade econômica que demonstrou um *payback* para o investimento de apenas 10 meses, conforme mostrado na tabela 15 a seguir.

Tabela 15 - Viabilidade econômica D6069

Peça	Qtde. Cargas (Antes)		Qtde. Cargas (Depois)	
	T13	T4	T13	T4
A	-	18	8	-
B	-	17	7	-
C	2	59	3	19
R\$ Mensal	2.766		1.671	
R\$/peça	0,10		0,06	
Investimento (R\$)	10.500			
Economia anual	13.144			
Payback (meses)	10			

3.6.4. Fonte de gás

Como mostrado no item 3.4.5, existem duas opções para obtenção de carbono utilizado no processo de cementação: gerador endotérmico e atmosfera sintética. O grupo realizou um estudo para verificar a viabilidade de alterar a forma de obtenção de carbono de atmosfera sintética para gerador endotérmico.

Na tabela 16 está a comparação que demonstra que é inviável a aquisição do gerador, visto que o custo anual para geração endotérmica é 23% maior do que para a atmosfera sintética. Por isso, a equipe descartou essa proposta.

Tabela 16 - Custo comparativo: Atmosfera Sintética e Endotérmica

Custo comparativo: Atmosfera Sintética e Endotérmica			
Referência: 30 m ³ /h - CO 20%			
Atual		Proposta	
Sintética	Custo/Consumo	Endotérmica	Custo/Consumo
Custo anual	R\$ 217.350,00	Custo anual	R\$ 266.700,00
		Investimento (gerador)	R\$ 210.000,00

Para registrar todas as ações do projeto, os ganhos e as análises de viabilidade, um plano com base na ferramenta 5W2H foi elaborado, como pode ser visualizado na próxima página.

5W2H – PROJETO SEIS SIGMA										
CAUSA	O QUE (WHAT)	PARA QUE (WHY)	QUEM (WHO)	QUANDO (WHEN)	ONDE (WHERE)	COMO (HOW)	QUANTO CUSTA (HOW MUCH)	Viabilidade		GANHO ANUAL
								Econômica	Qualidade	
Vazão de gás	Alteração do software do forno T13 para admissão do gás metanol a partir de 880°C	Redução do consumo de metanol na rampa de aquecimento.	Serviço terceirizado	Nov/2014	Setor de tratamento térmico (Forno Ipsen T13)	Contratação de serviço terceirizado para implementar novo software	R\$9.398	Ok	Ok	R\$8.448
	Alteração do programa no software do forno T4 para admissão do gás metanol a partir de 880°C	Redução do consumo de metanol na rampa de aquecimento.	Supervisor do tratamento térmico	Out/2014	Setor de tratamento térmico (Forno Ipsen T4)	Utilização do software atual	Não há.	Ok	Ok	R\$7.040
	Ajuste na proporção ar-GLP	Redução do consumo de GLP	Supervisor do tratamento térmico	Out/2014	Setor de tratamento térmico	Regulagem dos queimadores com maior passagem de ar e menor passagem de gás	Não há	Ok	Ok	R\$40.110
	Ajuste na pressão da rede de GLP	Redução do consumo de GLP	Supervisor do tratamento térmico	Out/2014	Central GLP	Diminuição da pressão da rede de 2 para 1 kg.f/cm ²	Não há	Ok	Ok	
Programas	Alteração dos programas 9 e 10	Processamento das peças A, B e C em uma mesma carga, gerando maior aproveitamento do forno	Supervisor do tratamento térmico / Engenheiro de materiais	Out/2014	Setor de tratamento térmico / Engenharia de materiais	União dos programas 9 e 10, com alteração de parâmetros	Não há	Ok	Ok	R\$13.144
Montagem	Alteração dos dispositivos utilizados nas peças A e B	Garantir melhor alocação de peças e aproveitamento do forno	Projetista / Comprador	Out/2014	Setor de tratamento térmico / Engenharia	Projetar e comprar novos dispositivos	R\$10.500	Ok	Ok	
Fonte Gás	Alteração da fonte de gás para obtenção de carbono	Redução dos custos com aquisição de metanol e nitrogênio	Gerente do tratamento térmico / Gerente de compras	Nov/2014	Setor de tratamento térmico	Compra de um gerador	R\$210.000	Não	Ok	Não há
TOTAL							R\$19.898			R\$68.742

3.6.5. Resultados

A partir das ações implementadas, a equipe pôde verificar os ganhos e resultados obtidos. Com o levantamento apresentado no gráfico 8 a seguir, verifica-se que houve uma redução considerável no indicador de custo por kg de peças produzidas após o projeto.

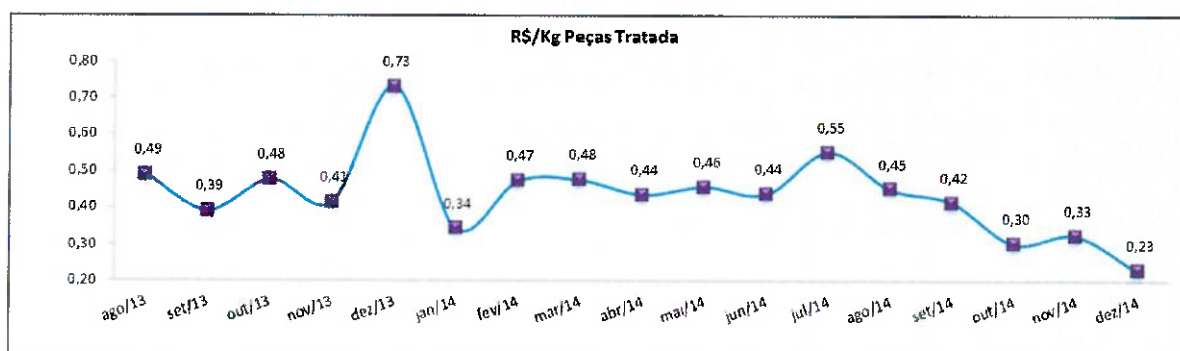


Gráfico 8 – Evolução R\$/kg peça produzida (ago/13 a dez/14)

No início do projeto a média do custo por kg de peças produzidas era de R\$ 0,47. Após a tomada das ações propostas neste estudo, esse índice passou para R\$ 0,29 considerando a média do período de outubro a dezembro de 2014, o que gerou uma redução de 38%.

3.7. Etapa C: Controlar (*Control*)

Para que fossem mantidos os resultados obtidos foram criados alguns controles, tanto para o consumo de insumos, quanto para verificação das medidas adotadas.

Foi criada uma planilha de controle para a vazão de gás, que será de responsabilidade do supervisor do processo de tratamento térmico, por meio da qual serão controladas se a vazão do gás está se mantendo dentro do estipulado e se a quantidade de gás adquirida condiz com o esperado.

No caso das ações referentes à montagem de carga, haverá um acompanhamento diário da supervisão do tratamento térmico junto aos operadores, para garantir que as montagens sejam feitas conforme estipulado. Além desse acompanhamento, a planilha denominada “lista de tipagem” conta com um controle

diário que mostra a média de kg por carga produzida, por meio de uma visualização gráfica.

O atendimento aos novos parâmetros de processos será garantido por meio das auditorias semanais da qualidade. O resultado dessas auditorias é publicado e ações são tomadas caso sejam evidenciadas divergências.

A Qualidade ficará responsável por consolidar os dados fornecidos pelo processo de tratamento térmico e controlar mensalmente o indicador de custo dos insumos por kg de peça produzida (R\$/kg), que será publicado no quadro de gestão a vista.

4. CONCLUSÃO

O objetivo geral desse trabalho foi a aplicação da metodologia Seis Sigma na gestão dos custos do processo de tratamento térmico de uma indústria de engrenagens, visando a redução de 15% no custo dos insumos por kg de peça produzida (R\$/kg). Os insumos considerados nesse projeto foram os gases metanol, GLP, nitrogênio e propano.

Nesse trabalho foi utilizada a metodologia DMAIC, sendo que todas as fases (*define-measure-analyse-improve-control*) foram seguidas buscando alcançar o objetivo proposto. A formação de uma equipe multidisciplinar, que contou com o envolvimento das áreas de engenharia, tratamento térmico, qualidade e laboratório metalúrgico, além de demais áreas que apoiaram o projeto, como a alta direção e área administrativa financeira, contribuiu para que os resultados fossem alcançados e para um grande aprendizado da equipe.

O cronograma estipulado no início do trabalho foi cumprido, já que a duração do projeto foi de 4 meses, com a conclusão de todas as ações propostas visando mitigar as causas levantadas dentro das variáveis estudadas: vazão de gás, programas, montagem de carga e fonte de gás. O estudo considerou os fornos Ipsen T4 e Ipsen T13 e implementou melhorias, que geraram resultados satisfatórios dentro do objetivo proposto, e controles que garantirão que os resultados sejam mantidos.

O objetivo de redução de custo foi atingido, sendo que as ações executadas proporcionaram uma redução de 38% no custo dos insumos por kg de peça tratada. Considerando a mesma produção para o próximo ano, deverá ser obtida uma economia aproximada de R\$69 mil, que representa 5% do custo total do processo de tratamento térmico.

Pode-se concluir que o Seis Sigma, dentro da metodologia DMAIC, é uma ótima ferramenta para gestão de custos em processos produtivos e garante uma visão sistemática dos processos, com a obtenção de ótimos resultados.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, J. P. Mecânica Técnica, Parte 1. Espírito Santo: IFES, 2011
- CHIAVERINI, Vicente; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS. Aços-carbono e aços-liga. 3.ed. SÃO PAULO: ABM, 1971.
- GIANESI, I. G. N., CORRÊA, H. L. Administração estratégica de serviços: operações para a satisfação do cliente. São Paulo: Atlas, 1994.
- HARRY, M. J. Six Sigma: a breakthrough strategy for profitability. Quality Progress, p. 60-65, Mai 1998.
- KELLER, P. Six Sigma demystified: a self-teaching guide. New York: McGraw Hill, 2005. 480 p.
- NEW TO SIX SIGMA: A Six Sigma guide for both novice and experienced quality practitioners. Disponível em < <http://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/>>, acesso em 18 jan. 15.
- NIEMANN, G. Elementos de Máquina. V. 1, 2 e 3. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1971.
- RATH & STRONG, Rath & Strong's Six Sigma Pocket Guide, AON Management consulting, 2004.
- ROTONDARO, G. R. *et al.* Seis Sigma: Estratégia gerencial para melhoria de processos, produtos e Serviços. São Paulo: Atlas, 2002.
- SLACK, N *et al.* Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 1999.
- TSCHIPTSCHIN, A. P., Tratamento Térmico De Aços, EPUSP – Engenharia Metalúrgica e de Materiais, sem data.
- WERKEMA, C. Criando a Cultura Lean Seis Sigma. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2012.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC - Controle da Qualidade Total no Estilo Japonês. Belo Horizonte: F.C.O., 2002

COPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. São Paulo: Blucher, 2008.

DE FREITAS, Paulo Sergio. Tratamento Térmico Dos Metais. São Paulo: SENAI, 2014.

HAMURABI, M. Entendendo, Aprendendo e Desenvolvendo Qualidade Padrão Seis Sigma. Rio de Janeiro: Campus, 2013.