

EDILÉU HONÓRIO CARDOSO JUNIOR

**MELHORIA DE PRODUTIVIDADE NA
LINHA DE PRODUÇÃO DE INDUZIDOS
DE MOTORES DE PARTIDA
AUTOMOTIVOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola de Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em
Eletrônica

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ivan Nunes da Silva

São Carlos
2008

Dedicatória

À minha mãe, pelo incondicional carinho, atenção e incentivo.

À meus amigos e familiares, pelo apoio, companheirismo e amizade.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Ivan Nunes da Silva, pela orientação e apoio.

Ao Eng. Edson D. Rotelli, pela ajuda, atenção e orientação.

Aos professores e funcionários desta Universidade, que tornaram possível a minha graduação.

Sumário

Dedicatória	iii
Agradecimentos	v
Sumário	vii
Lista de Figuras	ix
Resumo	xi
Abstract	xiii
1 Introdução	15
1.1 Produtividade	15
1.2 Organização do texto	16
2 Objetivo	17
3 Motor de partida	19
3.1 Seqüência de operação	21
3.1.1 Atracação	21
3.1.2 Acionamento	22
3.1.3 Partida e ultrapassagem	23
3.2 Dimensionamento de sistemas de partida	23
3.3 Arquitetura do motor de partida	24
3.3.1 Motor de corrente contínua	24
3.3.2 Motor com ímã permanente	27
4 Produção do Induzido	29
4.1 Bobinadeira	29
4.2 Prensar eixo no pacote de lamelas e inserir isolamento	31
4.3 Inserir elementos	31
4.4 Torcer, colofonar e estanhar pontas	32
4.5 Prensar coletor	33
4.6 Travar pontas	33
4.7 Picotar papel e acamar elementos	34
4.8 Remover papel, cortar pontas e testar curto à massa	34
4.9 Solda por difusão	34
5 Ferramentas de análise e projeto	37
5.1 Seis Sigma	37
5.1.1 SIPOC	39

5.1.2	VOC	39
5.2	PDSA	39
5.3	Gráfico de Controle	40
5.4	Capabilidade	41
5.5	Diagrama de Ishikawa	42
5.6	Cinco porquês	43
6	Melhorias de produtividade.....	45
6.1	Contrato	45
6.2	Conhecer o processo atual.....	47
6.3	Levantamento de problemas e suas causas.....	49
6.4	Implementação de melhorias.....	50
6.5	Medir a eficácia das melhorias	53
6.6	Repetição do ciclo.....	56
7	Conclusão.....	57
	Anexos.....	59
I	Contrato	59
II	PDSA1	62
III	PDSA2	65
IV	PDSA3	67
V	PDSA4	69
VI	PDSA5	72
	Referências	75

Lista de Figuras

Figura 3.1 - Seqüência de operação do motor de partida. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.55	20
Figura 3.2 - Curvas da velocidade do motor e da corrente do motor de partida durante a seqüência de acionamento. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.56.	22
Figura 3.3 - Motor de corrente contínua. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.62	24
Figura 3.4 - Circuito principal do motor de partida. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.62.....	26
Figura 3.5 - Esquema completo do motor de partida. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.78.....	27
Figura 3.6 - Carcaça polar com ímã permanente. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.63	28
Figura 4.1 - Layout da linha de montagem de induzidos	29
Figura 4.2 - Segmentação da bobinadeira	30
Figura 4.3 - Esquema da bobinadeira	30
Figura 4.4 - Esquema do dispositivo de inserir elementos	32
Figura 4.5 - Induzido com enrolamento completo no dispositivo de inserir elementos	32
Figura 4.6 - Encalçadores da operação de travar pontas.....	33
Figura 5.1 - Método DMAIC de controle de processos. Fonte: Aguiar, 2002, p.204.	38
Figura 5.2 - Comparação entre os métodos DMAIC e PDCA de melhorias. Fonte: Aguiar, 2002, p.205.....	40
Figura 5.3 - Gráfico de controle. Fonte: Creveling, Slutsky e Antis, 2003, p.711.....	41
Figura 5.4 - Diagrama de Ishikawa. Adaptado de Ishikawa, 1993, p.64.	42
Figura 6.1 - Gráfico de probabilidade para a CTQ produtividade	47
Figura 6.2 - Gráfico de controle para a CTQ produtividade	48
Figura 6.3 - Gráfico de capacidade para a CTQ produtividade.....	48
Figura 6.4 - Gráfico de controle para a CTQ quantidade.....	49
Figura 6.5 - Diagrama de Ishikawa para a baixa produtividade e quantidade de peças produzidas.....	50
Figura 6.6 - Cinco porquês para o defeito de papel rasgado na operação de inserir elementos.....	51
Figura 6.7 - Esquema do guia implementado na operação de inserir elementos	52
Figura 6.8 - Cinco porquês para o defeito de pontas soltas na operação de travar pontas ..	52
Figura 6.9 - Alteração no perfil do encalçador na operação de travar pontas.....	53
Figura 6.10 - Gráfico de controle para a CTQ produtividade pós melhorias	54
Figura 6.11 - Gráfico de capacidade para a CTQ produtividade pós melhorias.....	54
Figura 6.12 - Gráfico de controle para a CTQ quantidade pós melhorias.....	55

Resumo

A manutenção da competitividade das organizações nos últimos anos tornou-se tarefa muito desafiadora. Para que uma empresa possa competir em nível de igualdade com seus concorrentes, é necessário que esta possua processos eficientes de produção. O aumento da eficiência em processos e a diminuição de desperdícios estão diretamente ligados à melhoria de produtividade e, com o uso ferramentas ligadas à análise estatística de indicadores produtivos, são desenvolvidos muitos projetos neste sentido.

Este trabalho apresenta um projeto de melhoria de produtividade em uma linha de produção de induzidos de motores de partida automotivos. Utilizam-se a metodologia Seis Sigma, o ciclo PDSA, o diagrama de Ishikawa, os cinco porquês, entre outras ferramentas, para analisar o processo atual, detectar problemas e suas causas, desenvolver e implementar ações de melhoria e, então medir a eficácia destas ações na produtividade da linha de produção. Durante a implementação do projeto são obtidos resultados satisfatórios em aumento de produtividade e são indicadas ações complementares para que os objetivos propostos sejam atingidos.

Palavras chave: Produtividade, Seis Sigma, Ciclo PDSA, Melhoria Contínua, Motor de Partida, Induzido.

Abstract

The maintenance of the organizations' competitiveness in the last years has become a great challenge. For a company to compete against its contestants on the market, it needs to have efficient production processes. The raise of efficiency in processes and the waste reduction are directly connected with the improvement of the productivity in assembly lines. Many projects are developed to achieve this target supported by statistical analysis tools.

This paper presents a productivity improvement project on a starter motor armature assembly line. The Six Sigma, PDSA cycle, Ishikawa Diagram, 5Ys, and other tools, are used to analyze the current process, detect problems and its causes, develop and implement improvement actions and measure their effectiveness on the line's productivity. During the project development satisfactory results are obtained, the productivity rises and complementary actions are proposed to achieve the main objectives.

Keywords: Productivity, Six Sigma, PDSA Cycle, Continuous Improvement, Starter Motor, Armature.

1 Introdução

Nos dias de hoje, a sobrevivência e o crescimento das organizações dependem fundamentalmente da sua competitividade. O mercado atual oferece produtos de boa qualidade, preço baixo, freqüentes modificações de projetos, curta vida útil e muitos modelos diferentes oferecidos à escolha do cliente. Para conquistar êxito no mercado, as organizações precisam produzir com eficiência, o que torna o efetivo controle das atividades produtivas condição determinante para qualquer empresa competir em patamar de igualdade com seus concorrentes (Soares, 2007).

Um dos fatores mais relevantes para o alcance de maior competitividade consiste na estratégia de melhoria da produtividade nas organizações, conforme preconizado por Chase, Jacobs e Aquilano (2006). Assim, a difusão dessa estratégia em larga escala termina por alavancar a produtividade dos países que abrigam estas organizações (Garcia, Barros e Panhoca, 2007).

Como resultado da melhoria generalizada da produtividade, obtém-se a elevação da renda per capita e do padrão de vida da população. Nesse contexto, uma das conclusões mais interessantes de um estudo elaborado pela McKinsey (1999), evidencia que o desenvolvimento acelerado do Brasil poderia ser obtido pelo esforço coletivo das empresas na busca por melhores níveis de produtividade.

Segundo Campos (1999), para que isto seja possível, todas as funções da empresa devem buscar a melhoria contínua e a inovação, cuja sistematização e abrangência promovam uma sinergia positiva para os resultados de toda a organização.

Os mercados automotivo e de autopeças acompanham esta tendência. A busca pela melhoria contínua de produtos e de produtividade de processos tornou-se prática essencial na manutenção do crescimento e desenvolvimento das companhias destes setores.

1.1 Produtividade

A produtividade em uma organização, conforme Ritzman e Krajewski (2004), pode ser medida de formas distintas. Podem ser empregadas medidas físicas ou monetárias, bem como resultados absolutos ou relativos; contudo, o mais importante é estabelecer de forma clara a necessidade de acompanhamento da produtividade em um determinado período e o custo-benefício de se fazê-lo.

Segundo Contador (1998), a produtividade pode ser definida como a capacidade de produzir, partindo-se de certa quantidade de recursos, ou ainda o estado em que se dá a produção. A produtividade é medida pela relação entre os resultados efetivos da produção e os recursos produtivos aplicados a ela (ou produção/recursos), tais como: peças/hora-máquina, toneladas produzidas/homem-hora, quilogramas fundidos/quilowatt-hora, carros produzidos/funcionário-ano, toneladas de aço/homem-ano, etc. A produtividade pode ser medida para cada recurso isoladamente, para ser possível avaliar o comportamento e o desempenho de cada um. Também é possível medir a produtividade considerando a totalidade dos recursos utilizados para gerar uma determinada produção (bens ou serviços).

Já para Campos (1999), a produtividade pode também ser definida de forma monetária como o quociente entre o faturamento da organização e os custos incorridos para gerar aquele faturamento. Dessa forma, além de incluir todos os fatores internos da empresa, também inclui o cliente como fator decisivo de produtividade. Se o cliente não quiser comprar, por maior que seja a eficiência da empresa, a produtividade cairá à medida que o faturamento cair.

1.2 Organização do texto

O texto apresenta, no capítulo 3, o motor de partida, sua seqüência de operação, dimensionamento e arquitetura. Em seguida são enumeradas e descritas todas as operações de produção do induzido do motor de partida no capítulo 4. As ferramentas de análise e projeto que serão utilizadas no desenvolvimento e implantação de melhorias são então demonstradas no capítulo 5. No capítulo 6 o projeto é apresentado segundo a divisão das etapas realizadas e então há a conclusão e as considerações sobre o desenvolvimento do projeto.

Na última seção estão disponíveis os elementos do projeto, contrato e todos os formulários utilizados no ciclo PDSA.

2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver um projeto de melhoria de produtividade em uma linha de produção de induzidos de motores de partida automotivos. A motivação para o projeto surgiu do fato de que a linha de produção em questão não atinge as metas de produtividade estabelecidas pela gerência e, desta forma, não possui a competitividade e a lucratividade esperadas.

Para atingir o objetivo proposto, serão monitorados estatisticamente os processos e os indicadores de produção existentes na linha, analisados os principais problemas causadores do déficit de produtividade e implementar ações para erradicá-los. A cada ciclo de melhoria aplicado, serão novamente coletados dados sobre a linha de produção para certificar a eficácia das ações tomadas.

Espera-se que, ao final do projeto, seja possível obter maior confiabilidade nos processos de produção, menor desperdício de tempo, material e mão de obra, maior estabilidade e capacidade de produção e implantar um controle estatístico dos indicadores de produtividade para melhorar o tempo de reação da linha a desvios de produção e, também, sua competitividade.

3 Motor de partida

Antes que um motor de combustão interna possa operar independentemente e gerar sua própria potência de operação, é necessária assistência para que este seja acionado. O motor precisa de uma quantidade específica de momento até o torque produzido pelo processo de ignição seja suficiente para superar a resistência dos processos de exaustão, indução e compressão. Além disso, quando um motor é acionado, os mancais não estão suficientemente lubrificados, de tal forma que a resistência de fricção a ser superada é muito alta. Em suma, o processo de acionar um motor de combustão interna requer grandes quantidades de força.

O motor de partida¹ aciona o motor de combustão interna ao atracar seu pinhão à cremalheira do motor, que possui, em carros, tipicamente, 130 dentes. Em veículos de transmissão manual, a cremalheira encontra-se no volante do motor, enquanto em motores de transmissão automática esta se encontra na carcaça do conversor de torque. Quando está em repouso, o pinhão do motor de partida, que tipicamente possui 10 dentes, fica desacoplado da cremalheira, mas permanece a poucos milímetros de distância desta (Figura 3.1-1). Quando acionada a chave de ignição, o motor de partida, inicialmente, estabelece contato mecânico entre seu pinhão e a cremalheira do motor.

¹ As informações técnicas específicas do motor foram consultadas em Robert Bosch (2003).

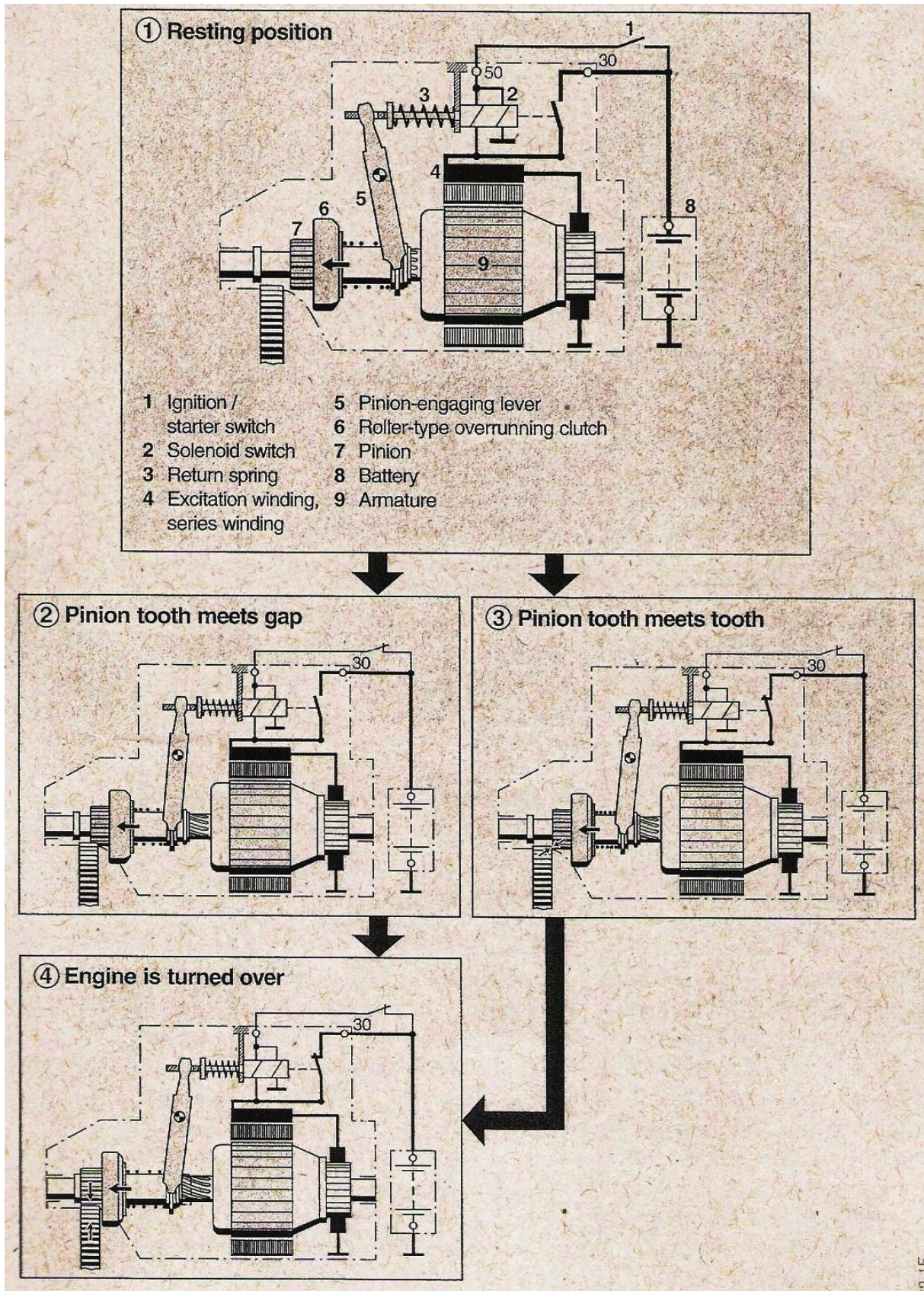


Figura 3.1 - Sequência de operação do motor de partida. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.55

3.1 Seqüência de operação

3.1.1 Atracação

Quando a chave de ignição está na posição de acionamento, esta completa um circuito elétrico que energiza o solenóide (chave magnética) do motor de partida. O campo magnético criado pela bobina do solenóide atrai seu induzido, que movimenta a alavanca de atracação de forma que o pinhão mova-se para frente e entre em contato com a cremalheira.

Em circunstâncias ideais, os dentes do pinhão estarão alinhados com os canais da cremalheira, de forma que as engrenagens encaixem-se perfeitamente e o contato mecânico entre o motor de partida e o motor de ignição estabeleça-se imediatamente (Figura 3.1-2). Ao atingir seu fim de curso, o induzido do solenóide aciona uma chave que completa o circuito principal do motor de partida. Este, então, inicia o movimento de rotação de forma que seu eixo e pinhão movimentem a cremalheira e, conseqüentemente, o motor de ignição (Figura 3.1-4).

Esta seqüência ideal de eventos, quando o pinhão atraca-se perfeitamente à cremalheira no primeiro contato, na prática, raramente ocorre, pois a folga de 0,4 mm entre os dentes das duas engrenagens proporciona pouco espaço para um encaixe preciso.

O cenário típico, que ocorre aproximadamente 70% das vezes, caracteriza-se pela situação em que os dentes do pinhão colidem com os dentes da cremalheira no momento da atracação. O pinhão, neste caso, não pode mover-se para frente e encaixar-se na cremalheira, a menos que seja rotacionado. Entretanto, enquanto isso, o induzido do solenóide continua a ser atraído pela bobina e a alavanca comprime a mola de atracação. Desta forma, o pinhão é pressionado com maior força contra a lateral da cremalheira (Figura 3.1-2).

Ao atingir-se o fim de curso do solenóide e ocorrer o acionamento da chave do circuito principal do motor de partida, o pinhão começa a mover-se até que atinja a posição de encaixe com a cremalheira. Neste ponto, a força aplicada na mola de atracação força o pinhão rapidamente para frente. Assim, o contato mecânico necessário entre o motor de partida e o motor de acionamento é estabelecido, no cenário mais complexo.

Na maioria dos motores de partida, a atracação do pinhão é também auxiliada por uma rosca helicoidal. À medida que o pinhão move-se para frente, a rosca helicoidal move-se suavemente na direção oposta à sua rotação convencional, o que auxilia no

encaixe e, quando o motor de partida inicia a rotação, o efeito da rosca helicoidal impulsiona o pinhão para frente, à medida que este atraca-se na cremalheira.

3.1.2 Acionamento

Quando o motor de partida inicia a rotação, a razão de transmissão entre o pinhão e a cremalheira produz uma grande quantidade de torque que age no virabrequim do motor. A resistência de atrito do motor é superada e este começa a girar.

A compressão e descompressão cíclica dos gases nos cilindros fazem com que o torque necessário para mover o motor varie consideravelmente. Em decorrência disto, a velocidade instantânea do motor também varia. A Figura 3.2 mostra as curvas típicas de velocidade do motor e corrente do motor de partida.

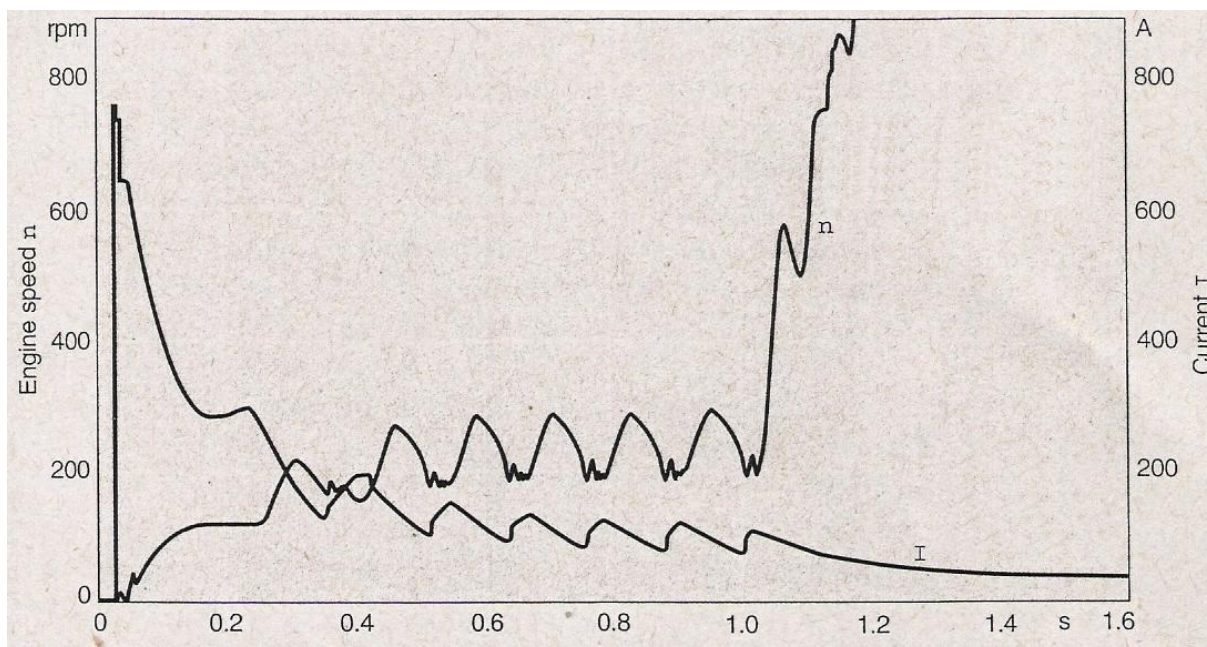


Figura 3.2 - Curvas da velocidade do motor e da corrente do motor de partida durante a seqüência de acionamento. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.56.

Motores quentes, com sistemas modernos de injeção eletrônica de combustível, normalmente só necessitam de duas revoluções do virabrequim para serem acionados. Quando acionados em baixas temperaturas, os motores precisam ser movimentados por mais tempo para que sejam acionados. Se for necessário o esvaziamento de ar do sistema de bombeamento de combustível enquanto o motor é acionado, este deverá ser movimentado pelo motor de partida por até 20 a 30s.

3.1.3 Partida e ultrapassagem

Assim que o combustível é injetado e queimado, o motor de combustão interna gera seu próprio torque e aumenta sua velocidade de rotação. Após alguns tempos de ignição, esta velocidade já é superior àquela suportada pelo motor de partida que é, então, ultrapassado. Neste momento, é essencial que o impulsor desatrape o pinhão do eixo do motor de partida. Através disto, o motor de partida é protegido contra desgaste excessivo e danificações, que podem ocorrer quando este é conduzido a altas velocidades pelo motor de combustão.

Assim que o condutor solta a chave de ignição, o circuito do solenóide é rompido. A mola de retorno conduz o induzido do solenóide à sua posição de repouso, o que faz com que a chave do circuito principal do motor de partida abra. A mola de encaixe, com o auxílio da rosca helicoidal, desacopla o pinhão da cremalheira. O motor de partida gira em vazio até que retorne à posição de repouso.

3.2 Dimensionamento de sistemas de partida

O motor de partida deve satisfazer às seguintes exigências:

- Prontidão para funcionar a qualquer momento;
- Potência suficiente para acionar o motor mesmo à baixas temperaturas;
- Durabilidade suficiente para acionar o motor milhares de vezes;
- Robustez suficiente para superar o stress da atracação do pinhão, girar o motor, contra vibração, choque, efeitos corrosivos por fricção de partículas, variação de temperatura dentro do compartimento do motor, etc.;
- Ser leve e compacto;
- Operação livre de manutenção.

Os parâmetros operacionais mais importantes são:

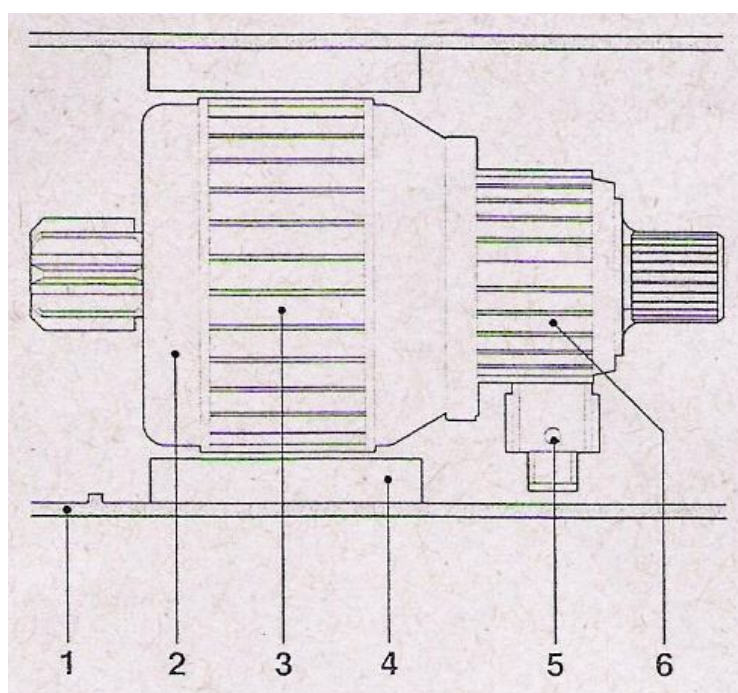
- Temperatura mínima de acionamento;
- Resistência de rotação do motor, equivalente ao torque necessário no eixo para girar o motor e todos os sistemas auxiliares, à mínima temperatura de acionamento;
- Velocidade mínima de rotação do motor necessária à mínima temperatura;
- Razão de transmissão possível entre o motor de partida e o virabrequim;
- Tensão nominal do sistema de acionamento;
- Características da bateria do veículo;

- Impedância dos cabos de alimentação elétrica entre a bateria e o motor de partida;
- Características de torque e velocidade do motor de partida;
- Máxima queda de tensão no sistema elétrico do veículo para que os sistemas eletrônicos do motor continuem operando.

3.3 Arquitetura do motor de partida

3.3.1 Motor de corrente contínua

Os componentes mais importantes do motor de partida são mostrados na Figura 3.3. A capa externa é feita de aço e protege os componentes internos do motor de partida dos efeitos dos agentes externos. É também chamada de carcaça polar (Figura 3.3-1) porque nela ficam fixados os ímãs permanentes ou o enrolamento que formam o estator. A arquitetura mais utilizada atualmente é a de seis pólos, compostos por seis ímãs permanentes (Figura 3.3-4) ou por bobinas de campo. Os pólos são dispostos de forma que polaridades opostas sejam adjacentes.



Legenda:

- 1 – Carcaça polar
- 2 – Enrolamento do induzido
- 3 – Pacote de lamelas
- 4 – Ímãs permanentes
- 5 – Escovas de carbono
- 6 – Coletor

Figura 3.3 - Motor de corrente contínua. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.62

A parte móvel do motor é chamada de induzido. Consiste essencialmente de um núcleo de lamelas (pacote de lamelas) (Figura 3.3-3) que é prensado no eixo do induzido e atua como condutor de fluxo magnético. Na extremidade de seu diâmetro, o pacote de lamelas possui canais nos quais os fios de cobre são inseridos. Os fios são conectados

entre si de acordo com um padrão específico e soldados nos canais do coletor (comutador, Figura 3.3-6). O conjunto de fios forma o enrolamento do induzido (Figura 3.3-2).

A corrente elétrica que flui pelo enrolamento do induzido é fornecida pelas escovas de carbono (Figura 3.3-5) que fazem contato deslizante e transferem a corrente para as lamelas do coletor à medida que este gira. Os circuitos são distribuídos de forma que a corrente que flui pelos fios adjacentes aos pólos norte dos ímãs de campo estão sempre na mesma direção. Ao mesmo tempo, a corrente nos fios adjacentes aos pólos sul fluem na direção oposta. Com a rotação do induzido, o coletor mantém a inversão do fluxo de correntes nos fios, à medida que as diferentes lamelas do coletor entram em contato com as escovas. O nome do comutador deve-se a esta inversão constante de correntes, que é chamada comutação.

Duas escovas de carvão são necessárias, geralmente, para completar o circuito do induzido. Motores de seis pólos podem conter até seis escovas posicionadas em volta do coletor. O arranjo tecnicamente mais eficiente tem sido o de quatro escovas – duas negativas e duas positivas.

Uma vez que o fluxo de corrente elétrica em condutores em um campo magnético produz força, o efeito da comutação é a criação constante de torque, M , como segue.

$$M = c_1 \cdot B \cdot l_{Fe} \cdot d \cdot I \quad (1)$$

O torque produzido é proporcional à corrente, I , à indução do campo magnético, B , ao comprimento do pacote de lamelas, l_{Fe} , e ao diâmetro do induzido, d . A constante de máquina, c_1 , é derivada do número de pólos e das características do enrolamento do induzido.

Quando a tensão é induzida em uma bobina que está movimentando-se dentro de um campo magnético, ocorre no enrolamento a tensão induzida $U_{ind} = 2 \cdot \pi \cdot c_2 \cdot B \cdot l_{Fe} \cdot d \cdot n$, onde n é a velocidade de rotação do induzido. Devido ao efeito de comutação, esta tensão aparece externamente à tensão DC. Ela age na direção oposta à tensão de alimentação mesmo com a constante mudança na polaridade dos condutores enquanto o induzido gira. A constante de máquina, c_2 , é determinada como descrito anteriormente.

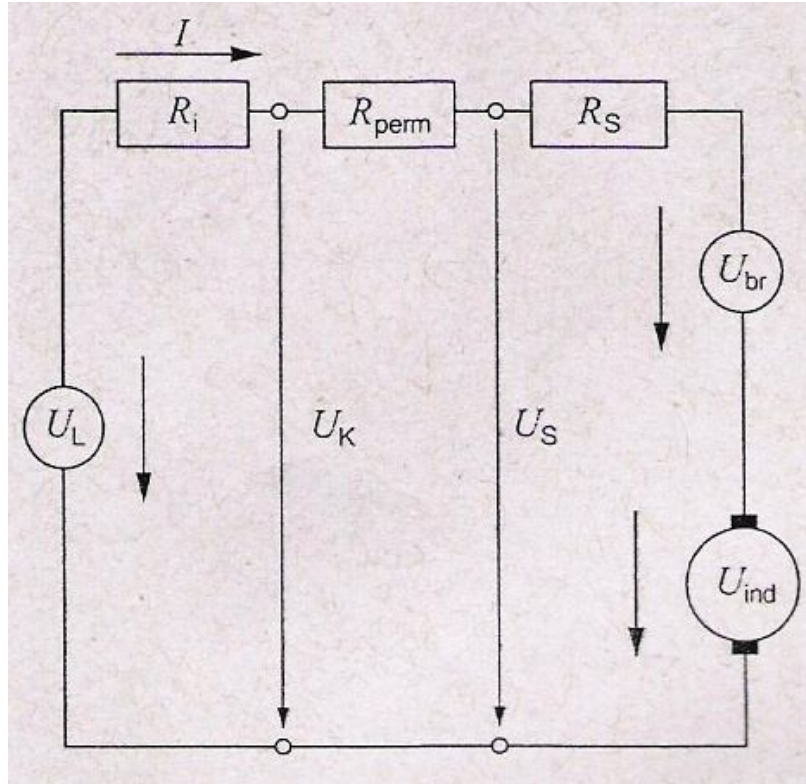


Figura 3.4 - Circuito principal do motor de partida. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.62.

O circuito elétrico de um motor de partida é mostrado na Figura 3.4. A tensão nos terminais da bateria, U_K , é o produto da tensão de circuito aberto, U_L , menos a queda de tensão causada pela impedância externa da bateria, R_i . A tensão disponível ao motor de partida, U_S , é depois reduzida pela queda de tensão causada pela impedância do cabo de alimentação, R_{perm} . A tensão no coletor é então diminuída pela queda de tensão nas escovas, U_{br} . Aproximadamente 1,2 V é dissipado por cada par de escovas, independente da corrente que eles conduzam. Desta forma, para as escovas positivas e negativas, $U_{br} \approx 2,4V$. A impedância do motor de partida é R_S .

Para o circuito elétrico como um todo, entretanto, $U_L = (R_i + R_{perm} + R_S)I + U_{br} + U_{ind}$, e incluindo a tensão induzida, que é dependente da velocidade, $U_L = (R_i + R_{perm} + R_S)I + U_{br} + 2\pi \cdot c_2 \cdot B \cdot I_{Fe} \cdot d \cdot n$. Da expressão anterior, tem-se que a velocidade pode ser representada por:

$$n = \frac{U_L - U_{br} - (R_i + R_{perm} + R_S)I}{2\pi \cdot c_2 \cdot B \cdot I_{Fe} \cdot d} \quad (2)$$

O produto do torque e da velocidade é a potência fornecida, P_i , que é dada por

$$P_i = 2.\pi.M.n = \frac{c_1}{c_2} \left[(U_L - U_{br}).I - (R_i + R_{perm} + R_s).I^2 \right] \quad (3)$$

A potência é então igual à potência fornecida pela bateria, $U_L.I$, menos as perdas nas escovas, $U_{br}.I$, e as perdas nas impedâncias, $(R_i + R_{perm} + R_s).I^2$. À uma tensão nominal específica, os únicos parâmetros técnicos que podem ser variados para determinar a potência fornecida são as impedâncias da bateria, do cabo de alimentação, e do próprio motor de partida. A potência fornecida real, P_m , observada no pinhão do motor de partida é também reduzida pelo atrito mecânico, V_R , e pelas perdas nas inversões magnéticas no núcleo, V_{Fe} , de forma que $P_m = P_i - V_R - V_{Fe}$.

O esquema completo do motor de partida é apresentado na Figura 3.5.

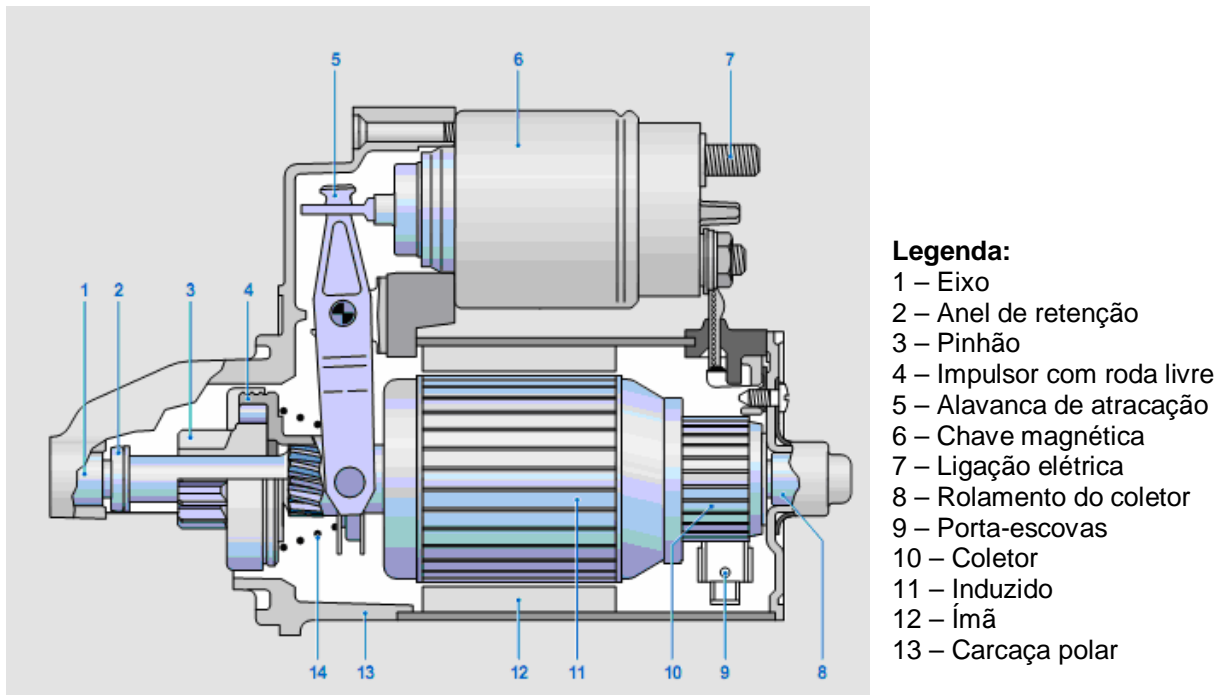


Figura 3.5 - Esquema completo do motor de partida. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.78.

3.3.2 Motor com ímã permanente

Motores elétricos com estatores de ímã permanente (Figura 3.6) são os mais utilizados em designs de motores de partida para automóveis em todo o mundo. Materiais modernos, como a ferrita de estrôncio, são capazes de atingir uma indução no *gap* de ar de até 400mT. Por ser criada pelo ímã permanente (Figura 3.6-1), esta indução é independente

da corrente do induzido. Entretanto, o fluxo magnético efetivo é reduzido pela interferência gerada pelas altas correntes do induzido.

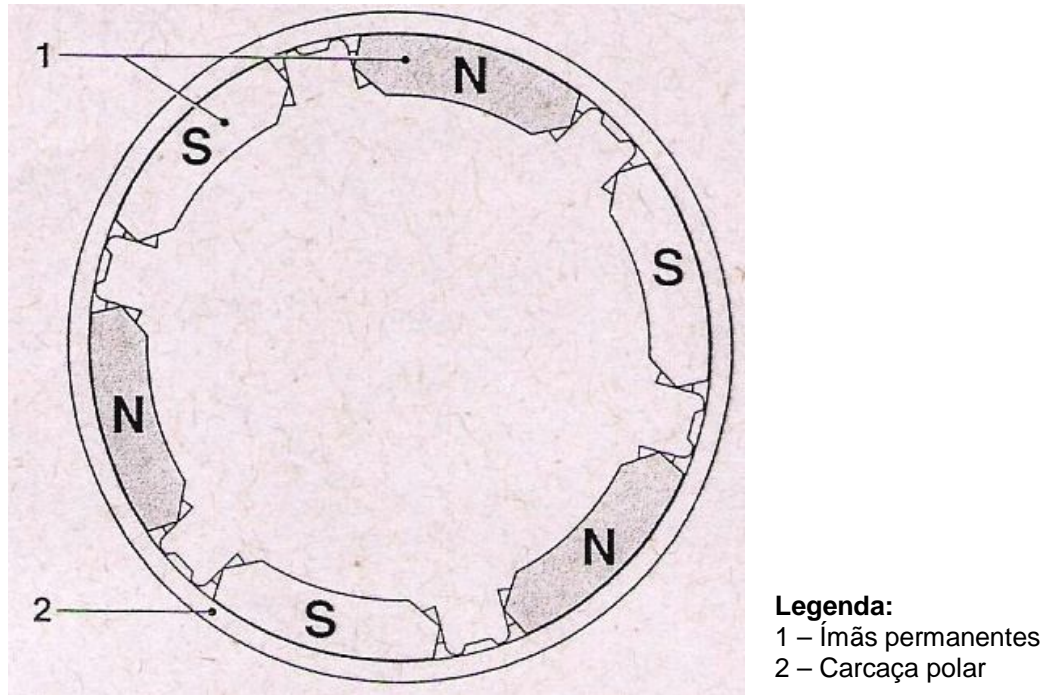


Figura 3.6 - Carcaça polar com ímã permanente. Fonte: Robert Bosch, 2003, p.63

Como pode-se observar a partir de (1), o torque é diretamente proporcional à corrente, e a relação entre a corrente e a velocidade do motor é inversa (eq. (2)). Como um resultado das duas características lineares, a potência fornecida é caracterizada por uma curva parabólica convexa.

As características reais de motores de partida são marginalmente diferentes das curvas teóricas. Isto deve-se, em particular, ao efeito retroativo do campo magnético do induzido a altas correntes, mas também por conta dos efeitos não lineares dos materiais e das interações.

4 Produção do Induzido

Como demonstrado anteriormente, o induzido é o componente mais importante do motor de partida. É através dele que a corrente elétrica fornecida pelas escovas de carbono é convertida em fluxo magnético que, ao interagir com o estator, gera o movimento do motor. Seus componentes principais são: eixo, pacote de lamelas, papel isolante, elementos de enrolamento, coletor e arruela-freio.

A produção do induzido pode ser feita de maneira automatizada ou manual. Na linha de montagem que é objeto deste estudo utilizam-se processos semi-automáticos de produção, segundo o layout apresentado na Figura 4.1.

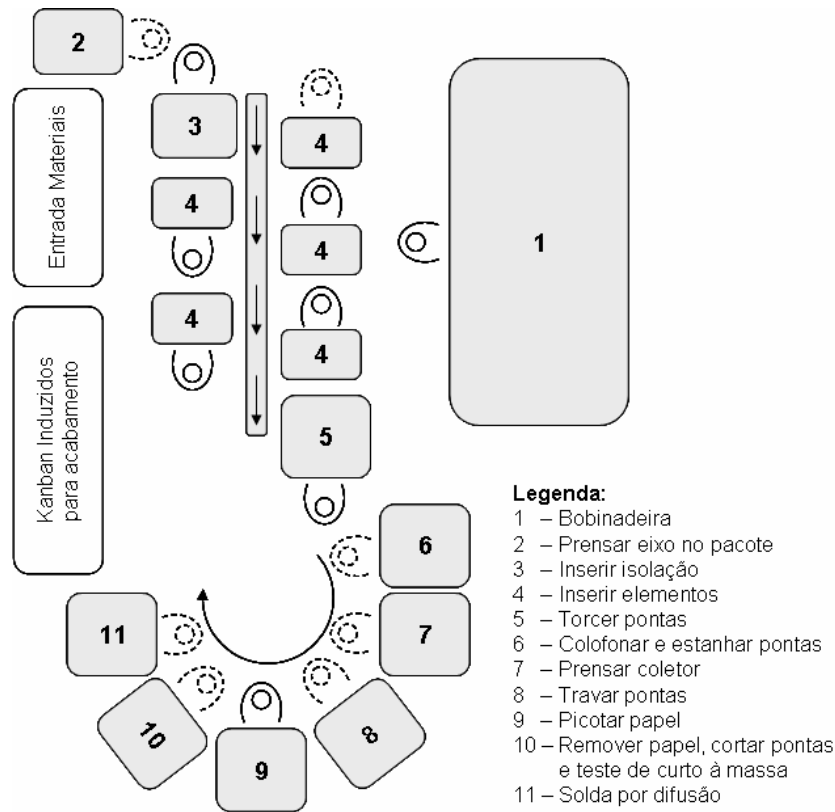


Figura 4.1 - Layout da linha de montagem de induzidos

4.1 Bobinadeira

A produção do induzido inicia-se na bobinadeira (Figura 4.1-1), onde os elementos de enrolamento são formados a partir do fio de cobre. O processo de bobinamento é dividido em três etapas principais: decapagem, enrolamento e conformação (Figuras 4.2 e 4.3).

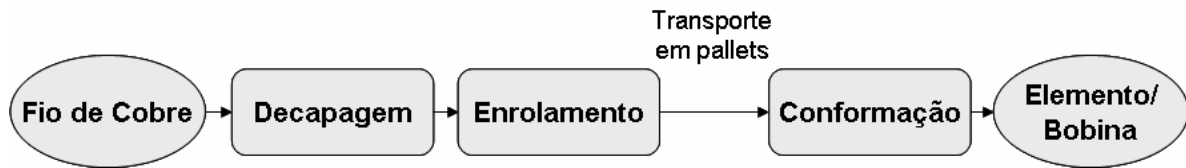


Figura 4.2 - Segmentação da bobinadeira

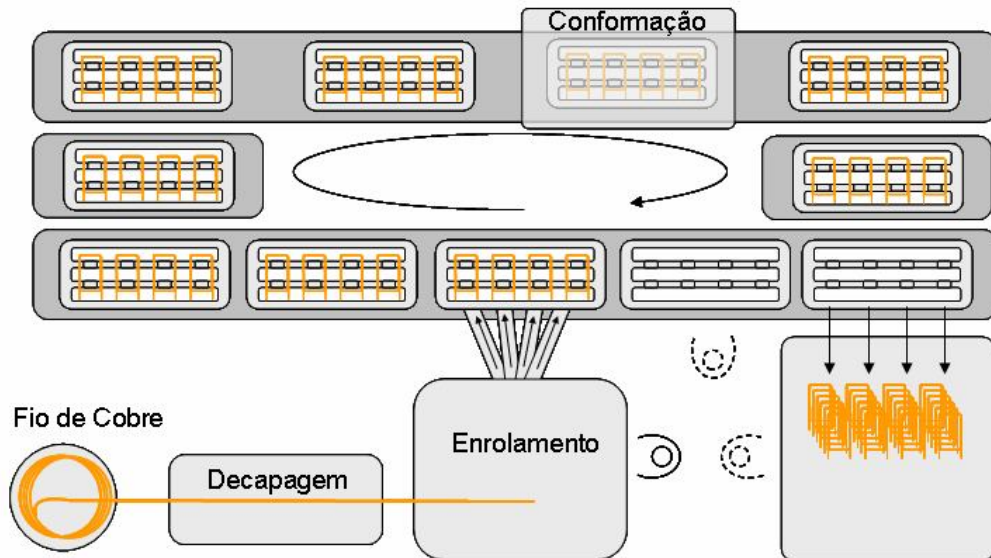


Figura 4.3 - Esquema da bobinadeira

À medida que o fio de cobre é tracionado para o interior da máquina, o decapador é acionado para remover sua isolação em ciclos determinados pelo acionamento de sensores, através de cames atrelados ao eixo principal da máquina. No estágio de enrolamento, o elemento adquire a forma inicial e é dividido em unidades. Um dos aspectos relevantes desta etapa é que o corte dos elementos é realizado com o fio em movimento, ou seja, não é possível o gilhotinamento do mesmo. A ferramenta de corte pressiona o fio entre a lâmina (*widea*) e a roldana de suporte até que este seja cisalhado. Neste caso, torna-se inevitável a existência de pontas curvadas nas extremidades do elemento. É de igual importância o correto posicionamento das regiões decapadas nas pontas dos elementos. Caso haja perda de sincronismo entre as etapas de decapagem e enrolamento ou erros de ajuste, a isolação pode ser retirada em regiões indesejadas do elemento, o que o torna inutilizável.

Uma vez enrolados e separados, os elementos são dispostos em pallets para transporte. Cada pallet suporta quatro elementos, um em cada guia. Para que sejam corretamente alocados, as calhas direcionam os elementos até o suporte que os dispõe sobre o pallet e só então este é liberado na esteira para transporte. Nesta etapa é essencial que os elementos se posicionem como na Figura 4.3. Caso haja sobreposição ou

deslocamento de algum dos elementos nos guias do pallet, estes serão danificados na etapa de conformação.

Durante o percurso, ao chegar à prensa de conformação, o pallet é alinhado com os guias da prensa, que eleva sua matriz inferior, de forma que os elementos encaixem-se nos moldes. O pallet é elevado com o conjunto, mas não recebe a força de prensagem das matrizes. Com a prensagem, os elementos adquirem os ângulos e formas necessárias para sua perfeita utilização no induzido.

Após a etapa de conformação, os elementos retornam ao pallet que segue na esteira até o fim do percurso, onde os pegadores os transferem para os suportes e os pallets retornam para o início da operação.

4.2 Prensar eixo no pacote de lamelas e inserir isolamento

O eixo do induzido é inserido no pacote de lamelas através de um processo semi-automático de prensagem (Figura 4.1-2). O operador primeiramente posiciona o pacote de lamelas no guia da gaveta prensa e então dispõe o eixo no furo central do pacote. Ao acionar o dispositivo bi-manual, a máquina recua a gaveta até o interior da prensa, que exerce a força necessária para a correta inserção do eixo no pacote.

Ao lado, no dispositivo de inserir isolamento (Figura 4.1-3), a máquina modela o papel isolante em formato sanfonado semelhante ao exterior do pacote de lamelas. O conjunto é então inserido na máquina e a isolamento é transferida para o pacote. Os induzidos são dispostos em carrinhos sobre a calha de transporte.

4.3 Inserir elementos

Nesta operação (Figura 4.1-4), os elementos de enrolamento são manualmente inseridos no pacote de lamelas protegidos pela isolamento de papel. Um a um, os elementos são posicionados nos canais do pacote de lamelas com as pontas viradas para o lado do eixo onde será inserido o coletor. A alavanca de posicionamento do dispositivo de inserir elementos é abaixada e a botoeira é acionada. Com o elemento posicionado e guiado pelo conjunto da alavanca, o dispositivo exerce a força necessária para inseri-lo no canal. Ao concluir o ciclo, o suporte que sustenta o induzido gira e a operação é repetida para inserir o próximo elemento, como mostra a Figura 4.4.

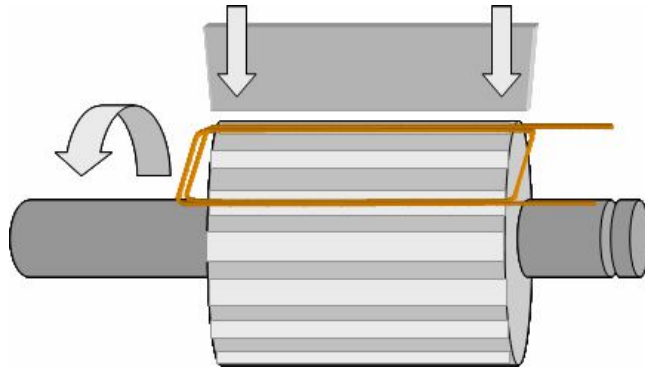


Figura 4.4 - Esquema do dispositivo de inserir elementos

Quando todos os elementos estiverem com um de seus lados inserido, puxa-se a alavanca de direcionamento da máquina, para inverter o sentido de rotação. A operação é repetida e o outro lado de todos os elementos é inserido, de forma que todo o enrolamento seja concluído, como mostra a Figura 4.5.

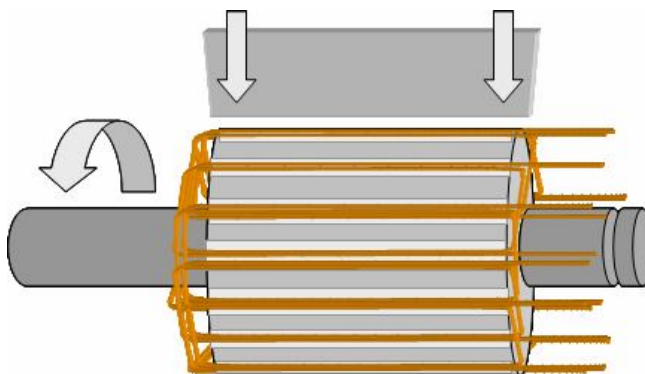


Figura 4.5 - Induzido com enrolamento completo no dispositivo de inserir elementos

Após o exame visual do induzido, este é disposto em carrinho na esteira de transporte.

4.4 Torcer, colofonar e estanhar pontas

Para que adquiram o passo de enrolamento adequado, as pontas dos elementos são torcidas com o auxílio de um dispositivo semi-automático (Figura 4.1-5). Para garantir o perfeito posicionamento do induzido e de todas as pontas dos enrolamentos no dispositivo, é inserida manualmente uma réplica da matriz nas pontas dos elementos, que são então alinhados. Em seguida, posiciona-se o induzido no dispositivo e o bimanual é acionado. As pontas externas do enrolamento são torcidas em sentido inverso de suas pontas internas.

O induzido é então transferido para a operação seguinte (Figura 4.1-6), onde as pontas dos fios são imersas em colofônio e em uma solução de estanho, que facilitam a solda.

4.5 Prensar coletor

A prensagem do coletor (Figura 4.1-7) é um processo semi-automático. A arruela-freio é posicionada sobre o furo central do coletor, na parte superior. O conjunto é então posicionado no flange superior da prensa. Em seguida, o induzido é inserido no flange inferior do dispositivo com as pontas dos fios voltadas para cima. Quando o operador aciona o bimanual, a prensa insere o coletor no eixo, respeitando a correta calagem, ou seja, os canais do coletor ficam alinhados com as pontas dos fios do enrolamento.

O sucesso desta operação depende diretamente de vários fatores. O diâmetro externo da ponta do eixo e interno do coletor, quando variam, podem ser responsáveis pelo deslocamento do coletor nas operações seguintes, ou até mesmo durante o funcionamento do motor de partida. A profundidade de prensagem e a posição final do conjunto coletor e arruela em relação ao induzido devem ser monitoradas, pois também influem no funcionamento do motor.

4.6 Travar pontas

Na operação de travar pontas (Figura 4.1-8), as pontas dos fios devem ser inseridas nos canais do coletor de forma que não se soltem nem se desloquem até que sejam soldadas. Para isto, o induzido é inserido no dispositivo de travar pontas na posição vertical, com o coletor voltado para cima. Ao fechar a tampa do dispositivo, os encalçadores dispostos em forma de íris são avançados pelas alavancas hidráulicas automaticamente e todos os fios são travados no coletor (Figura 4.6).

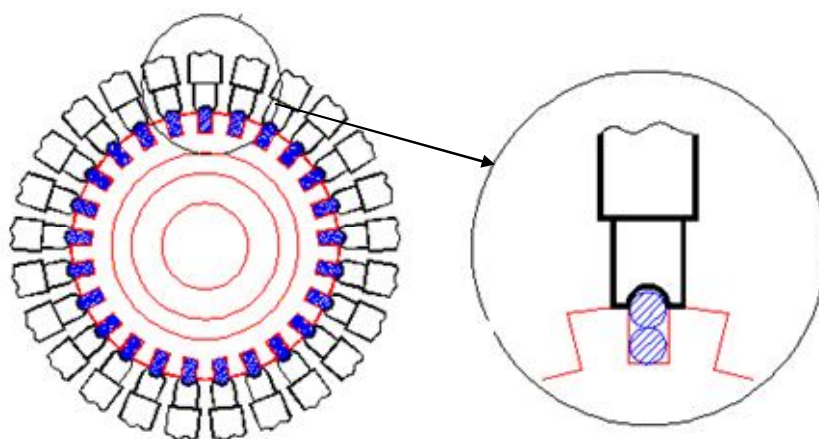


Figura 4.6 - Encalçadores da operação de travar pontas

A variação da força aplicada pelos encalçadores nos fios, a geometria do dispositivo e o perfil dos encalçadores são fatores determinantes no desempenho desta operação. No caso de uma ou mais pontas não serem devidamente travadas nos canais do

coletor é possível que nas próximas operações os elementos, o coletor ou algum outro componente do induzido sejam danificados.

4.7 Picotar papel e acamar elementos

O papel isolante deve existir somente no interior dos canais do pacote de lamelas. Como citado na seção 4.2, o papel é inserido em formato de sanfona, acompanhando toda a superfície externa do pacote. Na operação de picotar papel (Figura 4.1-9), o induzido é inserido em uma prensa hidráulica. A ferramenta afixada no braço da prensa possui um perfil que, com o impacto sobre o papel, corta-o através do canto vivo do pacote de lamelas, sem removê-lo. Ao mesmo tempo, flanges posicionadas nas extremidades da ferramenta acamam a região do enrolamento que resta fora da extensão do pacote, em ambos os lados.

4.8 Remover papel, cortar pontas e testar curto à massa

Inserese então o induzido no dispositivo de remover papel e cortar pontas dos fios (Figura 4.1-10). Este dispositivo rotaciona o induzido e fricciona um rolo abrasivo contra o pacote de lamelas. Como o papel já está picotado em toda a extensão do pacote, ele solta-se da superfície externa. Ao mesmo tempo, uma serra circular corta as pontas sobressalentes dos fios, acima e rente ao canal do coletor.

Para assegurar a qualidade do produto, nesta etapa realiza-se um teste de curto à massa, utilizando pistolas energizadas e fazendo contato entre o eixo e as lamelas do coletor. Caso haja curto, o dispositivo soa um alarme e o induzido é disposto para retrabalho.

4.9 Solda por difusão

Quando aprovados no teste de curto à massa, os induzidos são inseridos no dispositivo de solda por difusão (Figura 4.1-11). Através de eletrodos metálicos, que fazem contato com as lamelas do coletor e as pontas dos fios do enrolamento, dois a dois, o dispositivo injeta uma alta corrente elétrica que funde as pontas dos fios, sem danificar o coletor nem o restante do enrolamento. A garantia de qualidade da solda é feita diariamente através de um exame de extração. As pontas dos fios devem suportar uma força de 300N até que rompam e soltem-se do coletor.

Após esta etapa, o induzido é transferido para a linha de acabamento, que acama novamente o enrolamento nos canais do pacote de lamelas, impregna-o com resina protetora, usina o coletor e o pacote de lamelas e faz os testes elétrico e visual final. O

induzido acabado é então fornecido à linha de montagem final, que o utiliza na montagem dos motores de partida.

A linha de acabamento não é objeto de estudo deste trabalho, porém, cabe ressaltar que projetos similares são desenvolvidos em todas as linhas de produção de subconjuntos e montagem final, buscando sempre a melhoria contínua dos processos e produtos.

5 Ferramentas de análise e projeto

Para Deming, citado por Sachkin e Kiser (1994), Ishikawa (1993) e Paladini (1994), podem-se resolver a maioria dos problemas de uma organização utilizando as principais ferramentas de qualidade e produtividade aplicadas a processos e produtos. A seguir são apresentadas as ferramentas de análise e projeto utilizadas neste trabalho.

5.1 Seis Sigma

O Seis Sigma é uma metodologia que busca a redução dos índices de refugo para uma escala próxima de zero defeito, diminuindo custos, melhorando a qualidade dos processos e produtos, aumentando lucros, competitividade e satisfação dos clientes. É uma filosofia que faz o uso de ferramentas estatísticas para a melhoria contínua e monitoramento dos processos (Werkema, 2002).

Para Blauth (2003), a estratégia seis sigma é uma extensão dos conceitos da Qualidade Total com foco na melhoria contínua dos processos, iniciando por aqueles que atingem diretamente o cliente. A estratégia seis sigma não é uma proposta inovadora. Ela aproveita todas as iniciativas de qualidade que estão em andamento ou que já foram implantadas na instituição, harmonizando-as e estabelecendo metas desafiadoras de redução de desperdício.

Segundo Rotondaro et al. (2002), a metodologia seis sigma faz o uso de ferramentas estatísticas para definir, medir, analisar, incorporar e controlar os processos e produtos, por meio da compreensão das necessidades dos clientes e da melhoria contínua.

Para Blauth (2003), Pande et al. (2001) e Werkema (2002), os cinco passos para a execução de trabalhos sob a filosofia Seis Sigma são estabelecidos pelo ciclo DMAIC descrito a seguir.

D – *Define* (Definir): Nesta etapa é necessário definir com precisão as necessidades e desejos dos clientes. Transformar essas necessidades e desejos em especificações do processo, considerando a disponibilidade de fornecimento de insumos, a capacidade produtiva e o posicionamento do serviço ou produto no mercado, tendo em conta as ofertas dos concorrentes.

M – *Measure* (Medir): Nesta etapa é necessário medir com precisão o desempenho de cada etapa do processo, identificando os pontos críticos e passíveis de melhoria. Todas as vezes que ocorrem defeitos no processo ocorrem gastos adicionais de

recursos para repor o nível de produção, insumos, tempo, mão-de-obra para executar a atividade. Esses custos precisam ser mensurados.

A – *Analyse* (Analisar): Analisar os resultados das medições permite identificar as “lacunas”, ou seja, determinar o que falta nos processos para atender e encantar os clientes. A busca da causa-raiz dos problemas leva ao desenvolvimento de hipóteses e à formulação de experimentos, visando à eficácia dos processos. Para realizar as melhorias nos processos são elaborados projetos ou planos de ação acompanhados de cronogramas, dimensionamento de recursos necessários, custos e retorno do investimento.

I – *Improve* (Implementar): O sucesso da implementação das melhorias está relacionado com a forma de venda do plano às pessoas, que deve contemplar a demonstração das vantagens que a mudança vai trazer e, sempre que possível, aproveitar suas contribuições na forma de operacionalizar a estratégia.

C – *Control* (Controlar): O estabelecimento de um sistema permanente de avaliação e controle é fundamental para garantia da qualidade alcançada e identificação de desvios ou novos problemas, os quais devem exigir ações corretivas e padronizações de procedimentos.

A Figura 5.1 apresenta o DMAIC na sua forma geral.

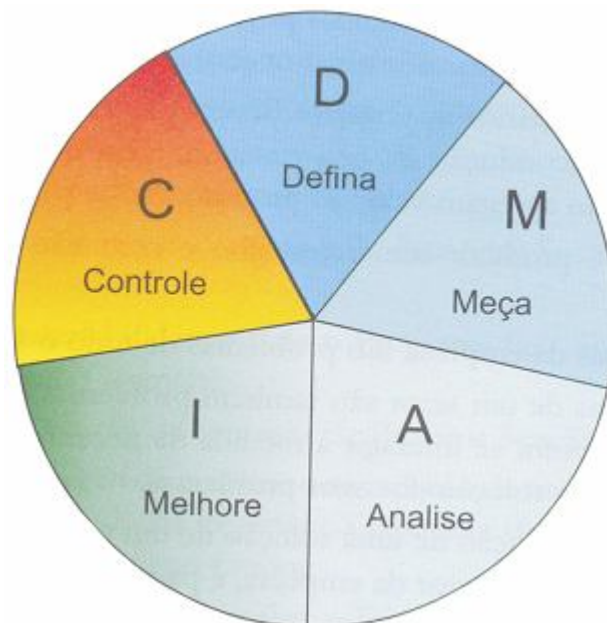


Figura 5.1 - Método DMAIC de controle de processos. Fonte: Aguiar, 2002, p.204.

Na etapa de definição, são necessárias algumas análises do problema sob a ótica da organização e sob a ótica do cliente. Utilizam-se os diagramas SIPOC e VOC, como demonstrados a seguir.

5.1.1 SIPOC

Segundo Saxena (2008), o diagrama SIPOC é um mapa de alto nível do processo, que mostra como cada uma de suas etapas está servindo ao cliente. A palavra é um acróstico para *Suppliers* (Fornecedores) – *Inputs* (Matérias-primas) – *Process* (Processos) – *Outputs* (Produtos) – *Customers* (Clientes).

É tipicamente usado durante a fase de definição de um projeto de melhoria, pois ajuda a entender claramente os propósitos e o escopo do processo. É o ponto de partida para a definição da voz do cliente (VOC – *Voice of Customer*).

5.1.2 VOC

A Voz do Cliente é um processo utilizado para capturar as necessidades e requisitos do cliente (seja ele interno ou externo) para provê-lo com o produto ou serviço de melhor qualidade. Este processo consiste basicamente de atualizar-se de forma constante sobre as necessidades e anseios do cliente.

Para obter estas informações, pode-se discutir diretamente com o cliente suas necessidades, elaborar pesquisas de mercado, realizar trabalhos de observação, analisar relatórios de requisitos, registros de reclamações, entre outros métodos. Estes dados são utilizados para identificar os atributos de qualidade que um material ou componente fornecido necessita para ser consumido ou incorporado ao processo do cliente (iSixsigma, 2003).

5.2 PDSA

O ciclo PDSA (ciclo de Shewhart) é importante na preparação e execução de planos que reduzem as necessidades dos clientes e o desempenho dos processos. É dividido em quatro etapas: *Plan* (Planejar), *Do* (Fazer), *Study* (Estudar/Analisar), *Act* (Agir). Ele opera reconhecendo que problemas de um processo, ou oportunidades de melhorias, são determinados pelas diferenças entre as necessidades do cliente e o desempenho do processo (Ferreira, 2005)

Na etapa de planejar é feita a coleta de dados para a definição de um plano de ações para a redução da diferença entre as necessidades do cliente e o desempenho do processo. Na segunda etapa, fazer, o plano que foi estabelecido anteriormente é colocado

em prática, conduzido no ambiente de trabalho, com os clientes internos e/ou externos. Em seguida, na etapa de estudar é feito o contínuo monitoramento do plano colocado em operação, respondendo a duas questões básicas: As variáveis do processo manipuladas estão diminuindo as diferenças entre as necessidades do cliente e o desempenho do processo? E, os efeitos resultantes do plano estão criando problemas ou melhorias? (Ferreira, 2005)

Uma vez analisados os resultados obtidos do plano, é na etapa de agir que são implementadas as modificações do plano descobertas na etapa de estudar, estreitando-se ainda mais a diferença entre as necessidades do cliente e o desempenho do processo.

A Figura 5.2 faz uma relação entre as etapas do ciclo PDSA e o DMAIC. Exemplos de PDSAs estão disponíveis nos Anexos II a V.

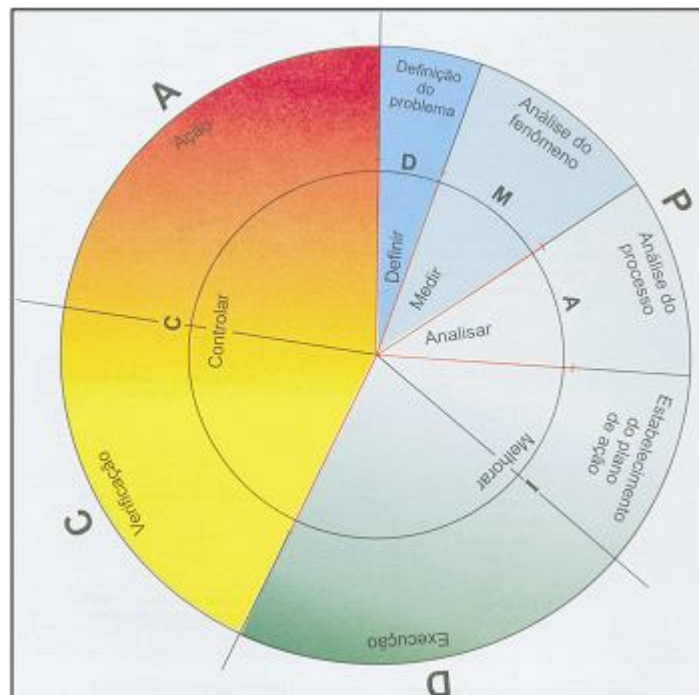


Figura 5.2 - Comparação entre os métodos DMAIC e PDCA de melhorias. Fonte: Aguiar, 2002, p.205.

5.3 Gráfico de Controle

Esta ferramenta indica através dos dados coletados e anotados nos gráficos, se o processo se enquadra dentro de uma curva normal, por serem visuais e nítidos podem dizer qual a situação atual do processo, se esta sob controle ou não, caso esteja fora de controle pode ser colocado sob controle rapidamente (Sachkin e Kiser, 1994).

Em uma distribuição normal a maioria das medidas tende a se aproximar da média geral, e poucas são iguais, a diferença entre a média das amostras e a média geral é

denominada de desvio padrão representado pela letra grega sigma (σ), e informa o quão variável é uma medida. Se as medidas se comportarem dentro de uma distribuição normal, então 99% delas ficarão compreendidas entre $\sigma 3 \pm$ a partir da média, esses valores são conhecidos como Limite Superior de controle (LSC) e Limite Inferior de controle (LIC), o que implica em um nível de refugo muito baixo, sendo de aproximadamente 1%. A Figura 5.3 mostra um exemplo de gráfico de controle.

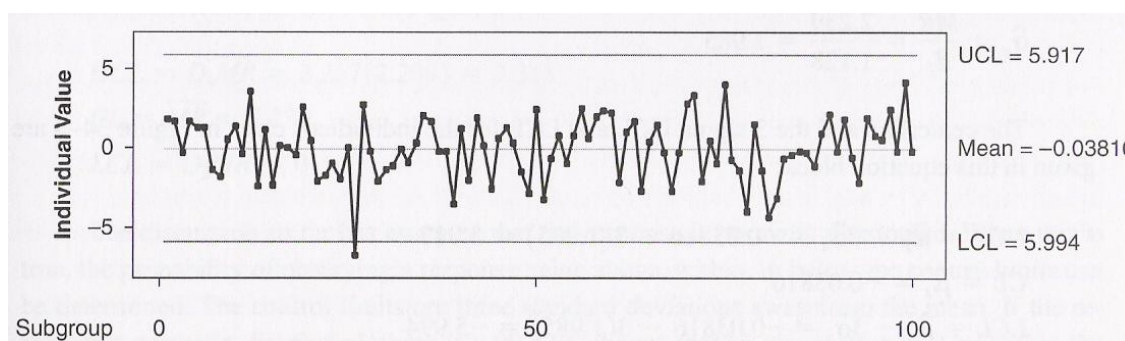


Figura 5.3 - Gráfico de controle. Fonte: Creveling, Slutsky e Antis, 2003, p.711.

Em Hradesky (1989), Programa Seis Sigma (2008) e Creveling, Slutsky e Antis (2003), encontram-se mais informações, especificações e detalhes sobre gráfico de controle.

5.4 Capacidade

Capabilidade, ou capacidade, de um processo refere-se em produzir produtos cujos resultados atendam as especificações do projeto. Segundo Sommer (2000), a capacidade de um processo envolve a comparação entre os “Limites Naturais” do processo com os “Limites Especificados”.

Baseado nesse conceito, um processo pode ser classificado, quanto à sua capacidade, em:

- Processo capaz: quando os resultados das medições encontram-se dentro dos limites das especificações do projeto, ou seja, estatisticamente não estão sendo produzidos produtos defeituosos (Sommer, 2000).

- Processo não-capaz: quando os resultados das medições encontram-se fora dos limites das especificações do projeto, ou seja, estatisticamente existem indicações que estão sendo produzidos produtos defeituosos (Sommer, 2000).

Para se medir o quanto o processo é capaz de atender as especificações utilizam-se dois índices de capacidade:

- Índice de Potencial do Processo (C_p)

- Índice de Desempenho do Processo (C_{pk})

Para que o processo seja considerado excelente, o ideal é que o valor do índice C_{pk} seja maior ou igual a dois e pode-se dizer que os operadores têm controle do processo; quando o valor de C_{pk} estiver no intervalo entre um vírgula trinta e três e dois, o processo é considerado capaz e os operadores têm que monitorar o processo para evitar deterioração; quando o valor de C_{pk} estiver entre um e um vírgula trinta e três, o processo é considerado relativamente incapaz e exige controle contínuo dos operadores; quando o valor de C_{pk} estiver entre zero e um, exige que os operadores controlem toda a produção pois pode ter produção defeituosa e finalmente quando o valor de C_{pk} for negativo, o processo é considerado totalmente incapaz e também exige que os operadores controlem toda a produção (Silva, 2005 e Programa Seis Sigma, 2008).

5.5 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa é a representação gráfica da relação entre causas que geram um resultado. É uma ferramenta para a discussão de um determinado assunto dentro de um grupo, sempre relacionando as causas encontradas a um dos 6'Ms: Máquina, Método, Meio Ambiente, Mão de Obra, Matéria-prima e Meio de Medição. Também pode ser encontrado em algumas literaturas como, diagrama de espinha de peixe ou diagrama de causa-efeito. A Figura 5.4 apresenta um diagrama de Ishikawa (Ishikawa, 1993).

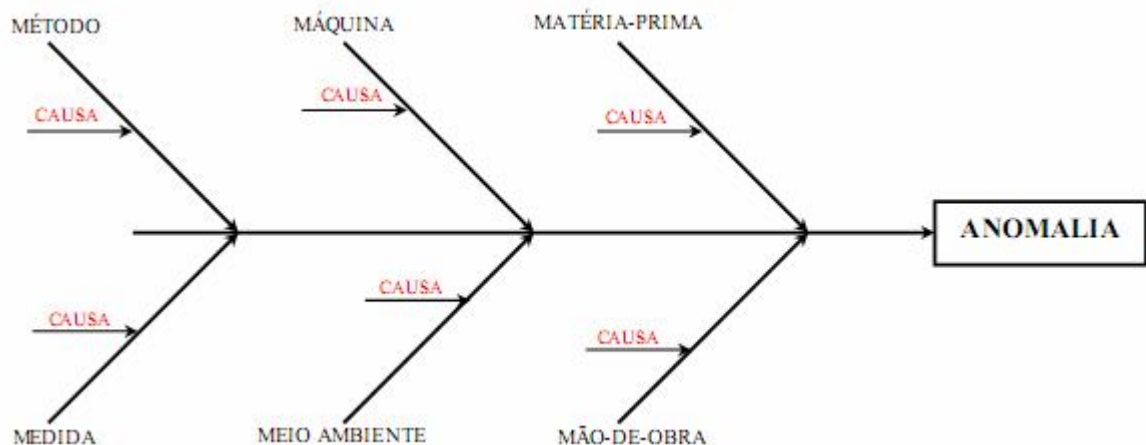


Figura 5.4 - Diagrama de Ishikawa. Adaptado de Ishikawa, 1993, p.64.

5.6 Cinco porquês

Segundo Ohno (1988), um dos criadores do Sistema Toyota de Produção, baseado no princípio da produção enxuta, quando existe um problema, não se pode atacar seu sintoma mais evidente, na intenção de solucioná-lo definitivamente.

Para que possa ser descoberta a causa raiz do problema, deve-se perguntar, consecutivamente, ao menos cinco vezes porque o problema aconteceu. O motivo principal atingido ao final deste questionamento cumulativo é muito mais provável de ser a raiz do problema do que o sintoma mais evidente.

Com esta simples técnica, que pode ser utilizada em qualquer investigação de causa de problema, as ações de melhoria aplicadas tornam-se mais efetivas, uma vez que erradicam a causa do problema e, se bem estruturadas, previnem que este volte a acontecer sob as mesmas circunstâncias.

6 Melhorias de produtividade

A produtividade é um dos principais indicadores de eficiência de um processo produtivo. Aumentar a eficiência das operações produtivas e reduzir o desperdício de tempo, materiais e mão de obra são ações importantes na melhoria da produtividade e, conseqüentemente, da lucratividade de uma fábrica. Assim, com o objetivo de melhorar a produtividade da linha de produção de induzidos que é objeto deste estudo, utilizando as ferramentas de análise e projeto já enunciadas, foi desenvolvido o projeto de melhoria de produtividade.

A metodologia utilizada baseia-se nos conceitos do Seis Sigma, com suporte de algumas ferramentas para análise e implementação de melhorias. O elemento estruturador do projeto é o ciclo PDSA, obedecida a seqüência de conhecer a situação atual dos indicadores de interesse, levantar possíveis causas dos problemas, agir para corrigir a causa raiz e verificar a eficiência da melhoria implementada.

As etapas apresentadas a seguir correspondem aos passos do projeto, em seqüência de aplicação.

6.1 Contrato

O primeiro passo do projeto de melhoria de produtividade baseado em Seis Sigma é a elaboração de um contrato, a fase de definição da metodologia DMAIC. O objetivo do contrato é definir as premissas básicas de desenvolvimento do projeto: objetivo, importância do projeto e incômodos do problema a ser resolvido para o negócio e para o cliente, conseqüências destes incômodos, resultados esperados, restrições, nomeação do time de trabalho e cronograma com prazos para a realização de cada etapa do DMAIC.

Em seguida, elabora-se o diagrama SIPOC, que nomeia os fornecedores, matérias primas (*inputs*), estabelece a ordem dos processos, nomeia os produtos fornecidos (*outputs*) e os clientes. Uma vez citados os elementos estruturadores do processo produtivo, elabora-se o diagrama VOC, que estabelece as necessidades do cliente de um nível genérico, difícil de medir, a um nível específico, mais fácil de medir. As necessidades específicas são convertidas em CTQs (características críticas à qualidade – *critical-to-quality*). Classificam-se estas CTQs em relação ao tipo de dado, distribuição estatística, amostra padrão e tipo de gráfico de controle.

O contrato elaborado para o projeto de melhoria de produtividade é descrito a seguir e está disponível no Anexo I.

A motivação para o projeto surgiu do fato de que os indicadores de produtividade diária e quantidade de produção horária não eram atingidos na linha de produção. Eram necessárias melhorias nos processos e na lucratividade, com a redução do desperdício de materiais, tempo e mão de obra. Estes fatores trazem a baixa confiabilidade na capacidade produtiva da linha e a não previsibilidade de desvios nas características de produção, por conta da instabilidade do processo. Para a empresa, a principal consequência do problema é a perda de competitividade. Já para o cliente, o custo elevado de produção acarreta o aumento do preço final do produto, além da possibilidade de não fornecimento em caso de aumento de demanda ou de ocorrência de falhas com fornecedores.

Também foram estabelecidos os resultados esperados para o projeto. Baseando-se nas CTQs produtividade (diária) e quantidade (horária) para obtenção de medidas de desempenho. A escolha destas CTQs ocorreu pelo fato de que a quantidade horária produzida, por si só, não demonstra a eficiência do processo. Ela não está atrelada ao recurso utilizado e, portanto, não é suficiente para demonstrar melhorias em produtividade. Utiliza-se também a produtividade diária, que relaciona a produção acumulada nos turnos do dia com a quantidade de operadores necessários para realizá-la. Assim, caso haja um volume de produção maior, porém com a utilização de mais mão de obra, não haverá melhoria na eficiência do processo e esta característica poderá ser controlada. Espera-se que ao final do projeto as CTQs estejam variando em torno da meta estabelecida.

O time responsável pelo projeto é composto pelo chefe de produção, engenheiro de planejamento técnico, supervisor de produção, estagiário, preparadores e operadores. O prazo para a conclusão do projeto é de 31/12/2008.

No SIPOC foram indicados os fornecedores dos principais materiais (fio de cobre, eixo, lamelas e coletor), o produto fornecido (induzido) e o cliente (linha de montagem final). Os passos do processo foram descritos em ordem de montagem, como demonstrado no capítulo 4 (Produção do Induzido).

Para a determinação da voz do cliente (VOC – *Voice of Customer*), observou-se que o corpo gerencial e o cliente, linha de montagem final, necessitam da quantidade de peças solicitadas com o mínimo consumo de recursos possível. Esta necessidade se reflete diretamente na quantidade de peças produzidas e na eficiência do processo. A quantidade de peças produzidas é então monitorada pela CTQ quantidade (pçs/h) e a eficiência pela CTQ produtividade (pçs/op/h). A CTQ quantidade possui meta especificada pelo corpo gerencial da empresa de 85 pçs/h e a CTQ produtividade 9,2 pçs/op/h.

As CTQs são então classificadas por quanto ao tipo de dados que representam. A quantidade é uma variável discreta de Poisson, com amostragem horária e gráfico de controle do tipo C. A produtividade é uma variável contínua, com distribuição normal, amostragem diária e gráfico de controle do tipo X.

6.2 Conhecer o processo atual

O primeiro PDSA, disponível no Anexo II, tem como objetivo conhecer o comportamento estatístico atual da linha de produção de induzidos, quanto às CTQs produtividade e quantidade. É necessário confirmar se a produtividade se encaixa na distribuição normal. Para ambas as CTQs, pesquisa-se então os critérios de estabilidade e capacidade do processo.

Para a análise, durante 15 dias corridos, foram coletados dados de produtividade e produção horária em formulários específicos disponíveis na fábrica e preenchidos pelos operadores durante a produção. Vale ressaltar que aos finais de semana não é regular a escala de trabalho na fábrica. Somente em casos de hora-extra há expediente de produção.

Para que possa ser analisada através de um gráfico de controle do tipo X, a CTQ produtividade precisa possuir comportamento normal. Através do software Minitab 15, os dados obtidos foram analisados e gerou-se um gráfico de probabilidade (Figura 6.1).

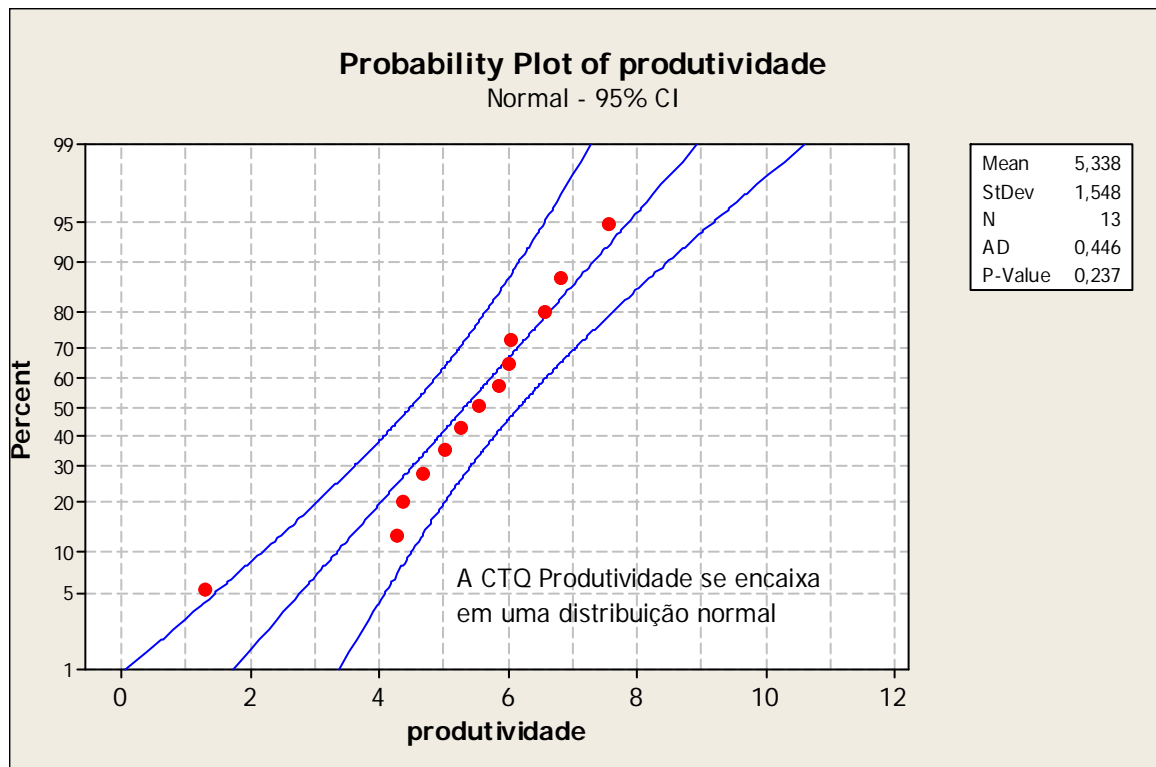


Figura 6.1 - Gráfico de probabilidade para a CTQ produtividade

A amostra apresenta média de produtividade de 5,3 pçs/op/h e desvio padrão de 1,5 pçs/op/h. Como das 13 medidas somente uma desviou-se dos limites estabelecidos pelo desvio padrão, a amostra da CTQ produtividade encaixa-se em uma distribuição normal. Este fato possibilita a criação de um gráfico de controle X para análise da estabilidade do processo, como mostra a Figura 6.2.

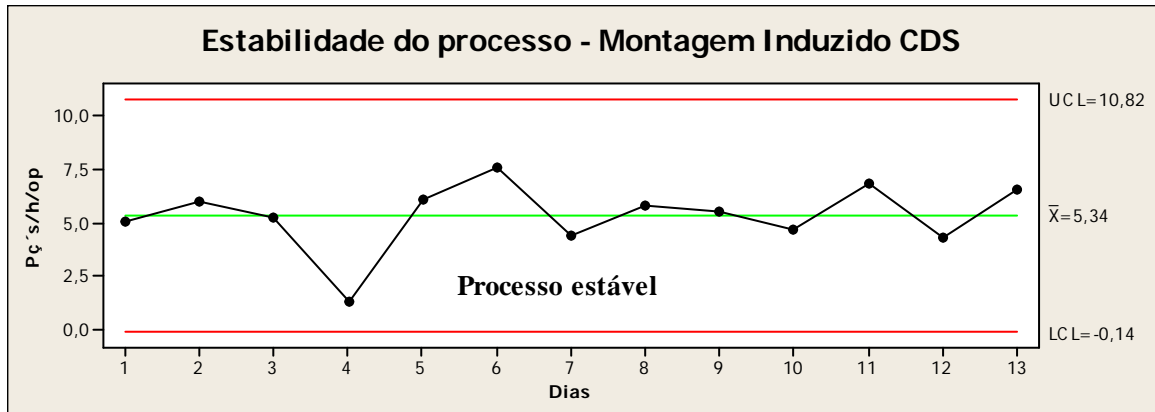


Figura 6.2 - Gráfico de controle para a CTQ produtividade

O gráfico de controle da CTQ produtividade no estado atual da linha de produção de induzidos apresenta um processo estável. As medições variam em torno da média e não são extrapolados os limites de tolerância superior e nem inferior. A capacidade do processo é obtida através do gráfico de capacidade (Figura 6.3).

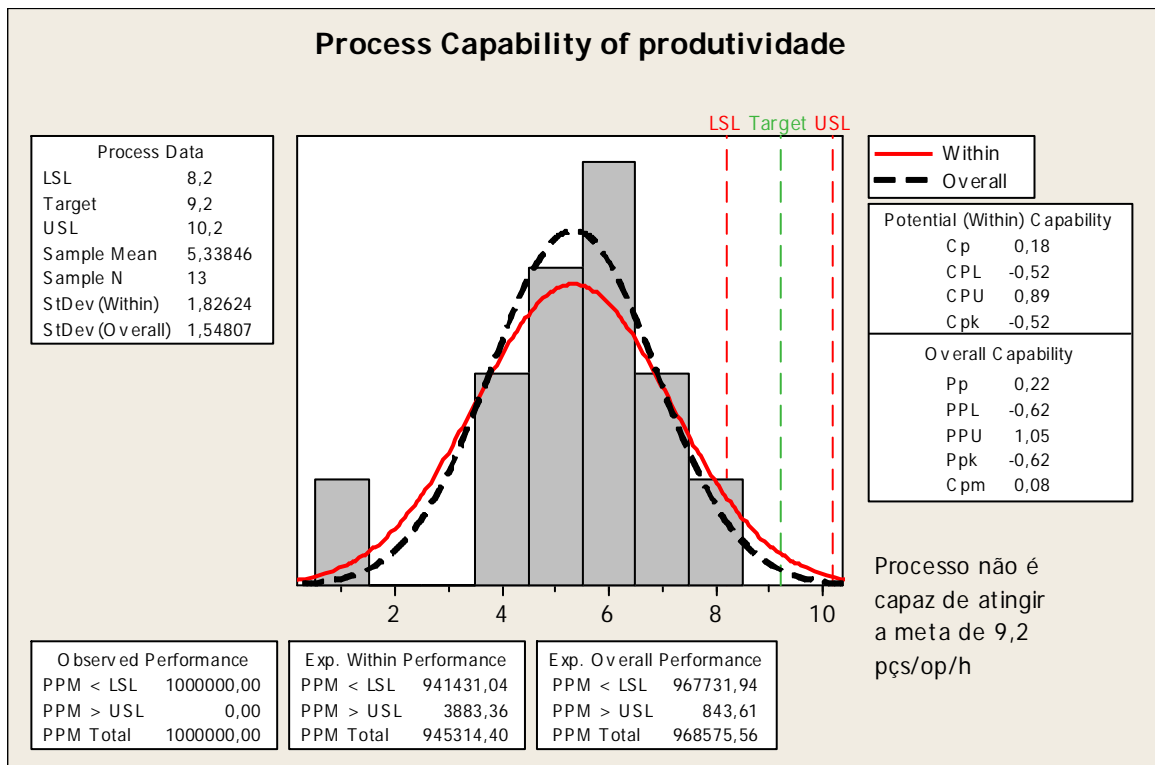


Figura 6.3 - Gráfico de capacidade para a CTQ produtividade

A meta estabelecida pelo corpo gerencial da empresa é de 9,2 pçs/op/h. O gráfico de capacidade possui média muito distante desta meta. Como os índices de capacidade potencial ($C_p=0,18$) e de performance ($C_{pk}=-0,52$) estão muito baixos, conclui-se que o processo, em relação à CTQ produtividade, não é capaz. A implementação de melhorias mostra-se urgente.

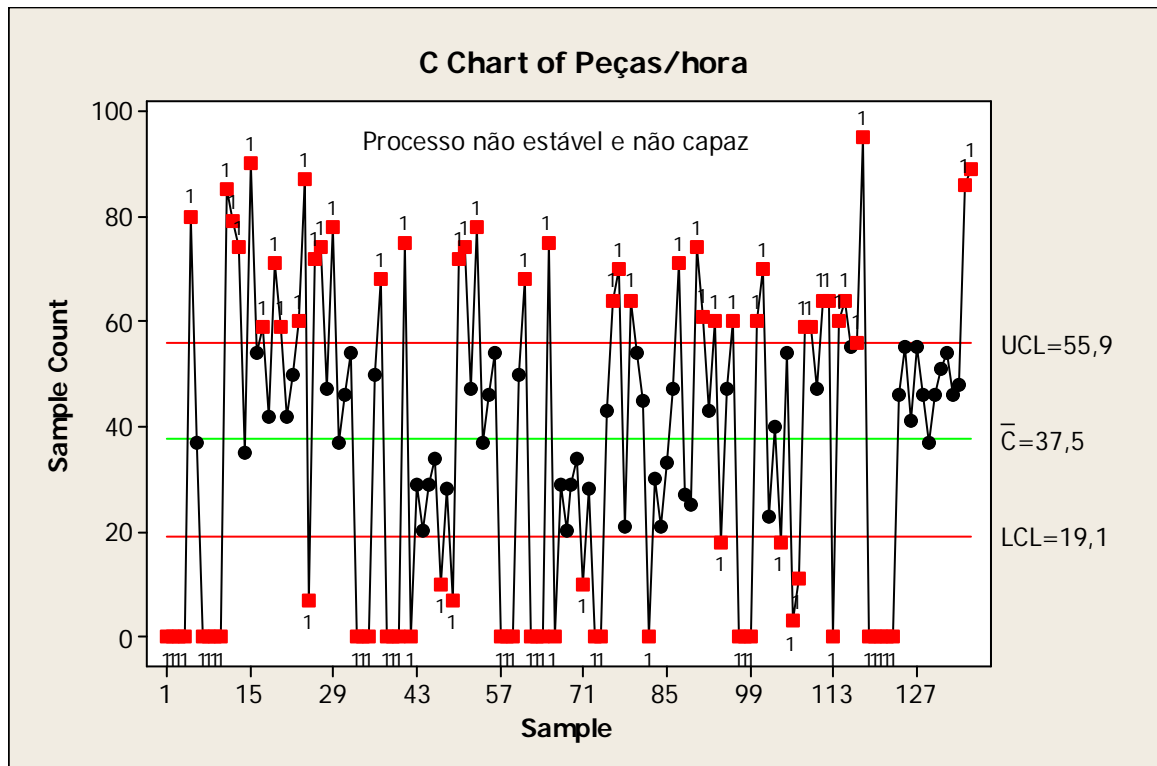


Figura 6.4 - Gráfico de controle para a CTQ quantidade

O gráfico de controle da CTQ quantidade (Figura 6.4) revela que quanto a esta característica o processo não é estável, pois existem muitas ocorrências de desvios em relação aos limites de controle. O processo também não é capaz, já que sua média não é próxima à quantidade especificada na meta (85 pçs/h).

As informações obtidas nesta fase do projeto serão de suma importância na determinação futura da eficiência das ações a serem aplicadas. A comparação com os índices atuais de estabilidade e capacidade para as duas CTQs poderá demonstrar se as ações tomadas foram capazes de eliminar a causa raiz dos problemas envolvidos com a baixa quantidade de produção e produtividade da linha.

6.3 Levantamento de problemas e suas causas

Para que possam ser aplicadas ações de melhorias nos processos produtivos, é necessário que sejam conhecidos os problemas que acarretam na queda de quantidade e

produtividade e suas principais causas. Este passo do projeto é apresentado no PDSA2, disponível no Anexo III.

Através da observação e análise de cada operação da linha de produção de induzidos, foi elaborado um diagrama de Ishikawa (Figura 6.5).

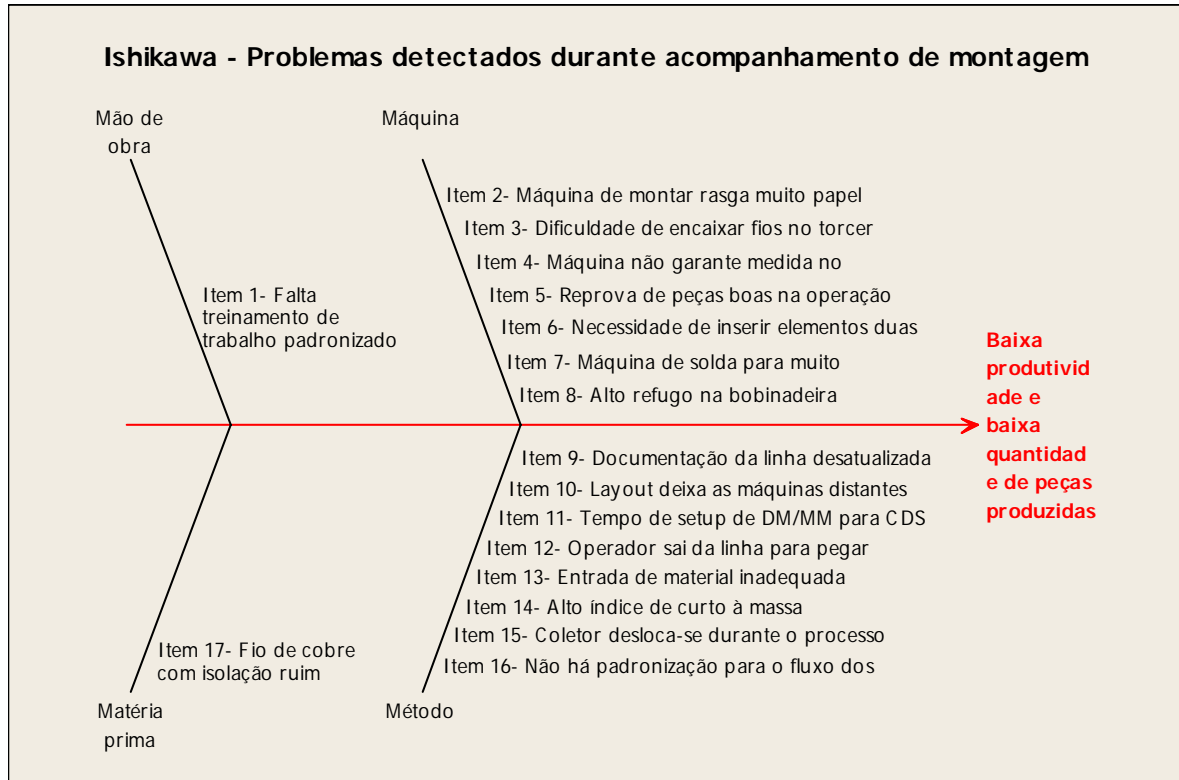


Figura 6.5 - Diagrama de Ishikawa para a baixa produtividade e quantidade de peças produzidas

O problema principal, como já citado, é a baixa produtividade e quantidade de peças produzidas. Todas as causas citadas no diagrama de Ishikawa da Figura 6.5 causam impacto direto no problema, porém, os itens que demonstraram indícios de maior impacto são: 2, 3, 5, 6, 14 e 16.

As ações de melhorias serão implementadas primeiramente sobre os itens citados, devido a sua maior importância na existência do problema. Até que se conclua o projeto, deve-se atacar o maior número possível de causas apontadas neste diagrama e, sempre que necessário, este deve ser revisado para alterar ou inserir novas causas.

6.4 Implementação de melhorias

De acordo com o diagrama de Ishikawa elaborado no PDSA2 e com as causas citadas como mais importantes do problema, decidiu-se realizar melhorias relacionadas aos itens 2 e 6 deste diagrama. Esta etapa do projeto é o PDSA3 e está disponível no Anexo IV.

A primeira causa de baixa produtividade e quantidade de produção é o grande número de ocorrências de papel isolante rasgado na operação de inserir elementos. Outra causa de igual importância é a ineficiência da operação de travar pontas. Há várias ocorrências de pontas não travadas após a operação, o que exige a repetição do processo e conseqüente perda de produtividade e garantia de qualidade. Em ambos os casos foram elaborados 5 porquês. O primeiro é mostrado na Figura 6.6.

Problema: Papel rasga na operação de inserir elementos	
Por quê?	O papel é friccionado contra a lamela
Por quê?	O fio exerce pressão contra o papel no momento da inserção
Por quê?	O fio está desalinhado com relação ao encaixador
Por quê?	Posicionamento manual feito pelo operador não garante o alinhamento
Por quê?	Não existem guias para alinhar os fios depois de posicionados

Figura 6.6 - Cinco porquês para o defeito de papel rasgado na operação de inserir elementos

Na operação de inserir elementos, descrita na seção 4.3, não há guias para garantir o alinhamento do elemento em relação ao dispositivo de inserção e ao canal da lamela. Como o posicionamento do elemento é manual, no momento da inserção este pode estar desalinhado em relação ao encaixador. Com isso, o fio exerce pressão contra o papel isolante enquanto inserido. O papel, quando friccionado contra a lamela, acaba rasgando e o induzido necessita de retrabalho.

Para recuperar o induzido, o elemento inserido no canal que está com o papel rasgado é removido, posiciona-se então um pedaço de papel avulso na região do rasgo e, quando possível, insere-se o mesmo elemento novamente. Caso este tenha sido danificado, ele é refogado e insere-se um novo elemento na posição. Toda esta operação, além de possíveis problemas de qualidade, causa perda de produtividade, pois tempo, mão de obra e matéria prima são desperdiçados.

Como a causa raiz encontrada para o problema foi a falta de guias para garantir o alinhamento do elemento no momento da inserção, foram elaborados guias metálicos em forma de “U”, posicionados no dispositivo como mostrado na Figura 6.7.

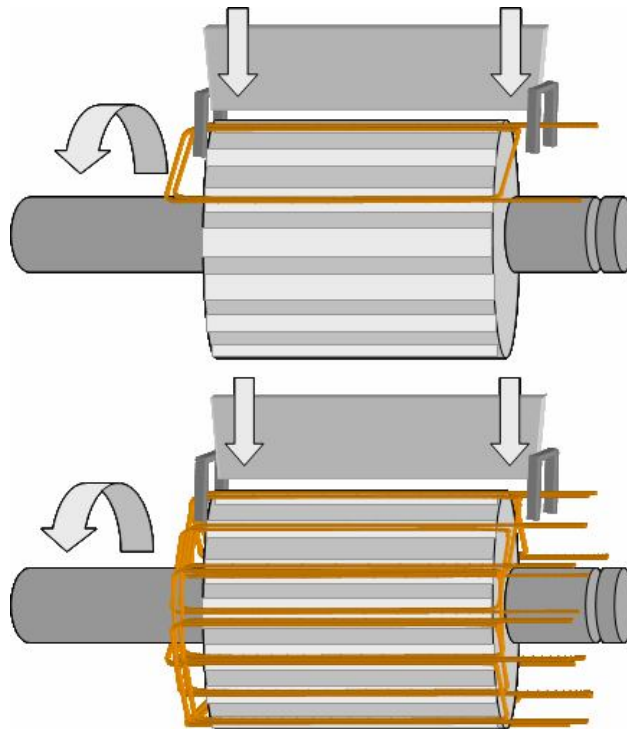


Figura 6.7 - Esquema do guia implementado na operação de inserir elementos

O problema de desalinhamento do elemento durante a inserção foi solucionado e as ocorrências de rasgo do papel por decorrência deste defeito diminuiram consideravelmente.

Os 5 porquês para o problema de ineficiência da operação de travar pontas são mostrados na Figura 6.8.

Problema: Operação de travar pontas não trava todas as pontas dos fios		
Por quê?	As pontas dos fios soltam-se dos canais do coletor mesmo após a prensagem	
Por quê?	As quinas dos canais do coletor não ajudam no travamento	A pressão exercida pelos encalçadores nos fios não é suficiente para travá-los
Por quê?	As quinas não foram amassadas e o canal fica livre para sair o fio	Os encalçadores não atingem corretamente o fim de curso
Por quê?	O encalçador não consegue amassar as quinas	O sistema de deslocamento trava durante o percurso
Por quê?	A face do encalçador é plana nas extremidades laterais.	Os encalçadores não possuem guias que previnam que estes travem ao virar dentro do canal do dispositivo.

Figura 6.8 - Cinco porquês para o defeito de pontas soltas na operação de travar pontas

No caso da operação de travar pontas dos fios nos canais do coletor (seção 4.6), através dos 5 porquês foram descobertas duas causas principais para o problema. Por conta da concepção do encaçador, o perfil não possui formato ideal para amassar as quinas dos canais do coletor e, com isso, auxiliar na fixação do fio até que este seja soldado.. Também ocorria o travamento dos encaçadores durante o deslocamento nos canais do dispositivo por falta de guias que prevenissem que estes girassem de forma indevida. Assim, os encaçadores não atingiam o fim de curso estabelecido. Ambas as causas eram determinantes para que a pressão exercida pelos encaçadores sobre as pontas dos fios não fosse suficiente para travá-las nos canais do coletor e algumas se soltavam mesmo após a operação.

A primeira ação aplicada foi a adaptação do sistema de abertura e fechamento da íris. Foram criados guias que previnem o deslocamento incorreto dos encaçadores e o travamento do sistema antes que atinja o fim de curso. A transferência de força dos pistões hidráulicos para a ponta dos encaçadores deu-se de forma mais efetiva e a qualidade do travamento melhorou de forma considerável. Quanto à concepção do dispositivo, foi alterado o perfil do encaçador, como é mostrado na Figura 6.9 a seguir.

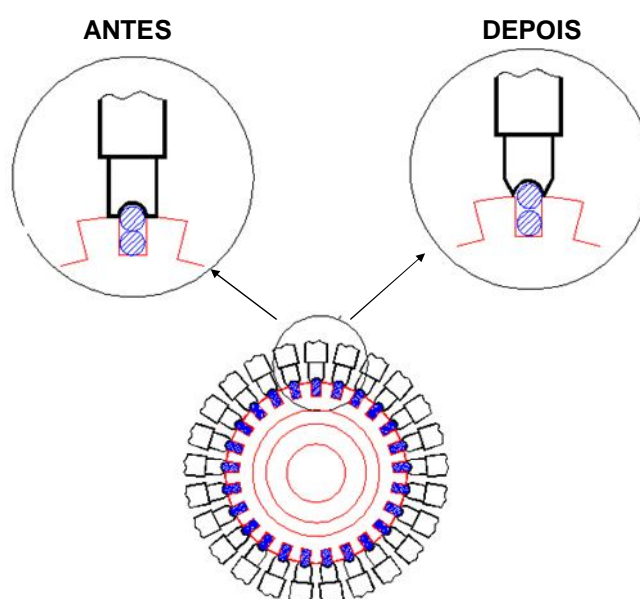


Figura 6.9 - Alteração no perfil do encaçador na operação de travar pontas

Desta forma, o encaçador, além de pressionar o fio para que trave, ainda causa o ligeiro amassamento da quina do canal do coletor, o que ajuda na fixação do fio de cobre.

6.5 Medir a eficácia das melhorias

Para verificar a eficácia das ações de melhoria implementadas, foi elaborado o PDSA4, disponível no Anexo V. A estrutura desta etapa é similar àquela da primeira

medição. As CTQs produtividade e quantidade são analisadas quanto à estabilidade e capacidade, em amostra de 15 dias corridos, e são comparadas com os dados obtidos anteriormente.

O gráfico de controle da CTQ produtividade é apresentado na Figura 6.10.

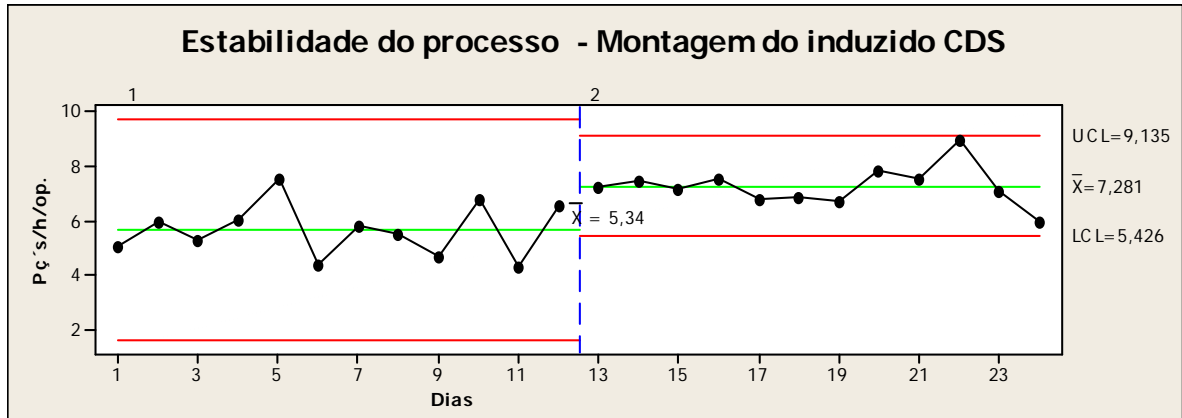


Figura 6.10 - Gráfico de controle para a CTQ produtividade pós melhorias

Observa-se que o processo continua estável para a CTQ produtividade, porém, os limites de controle foram estreitados e a média aumentou, aproximando-se da meta estabelecida. O gráfico de capacidade para a CTQ produtividade é apresentado na Figura 6.11.

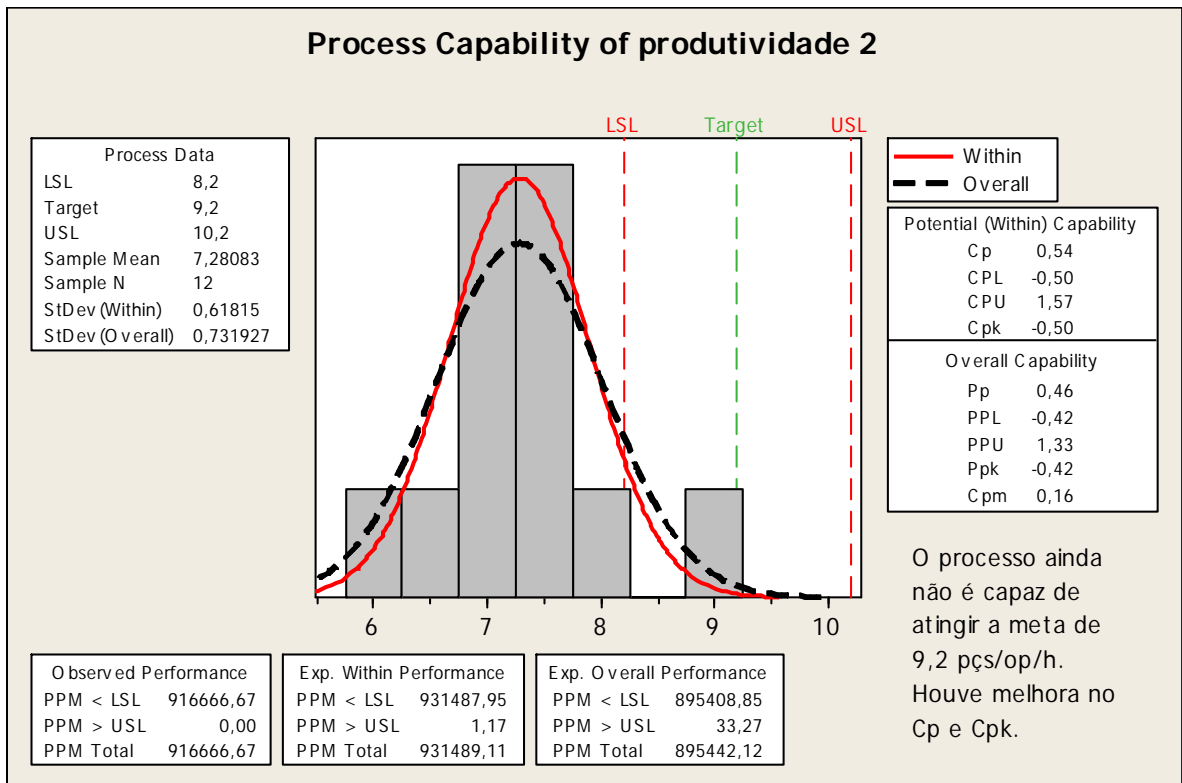


Figura 6.11 - Gráfico de capacidade para a CTQ produtividade pós melhorias

Com as ações de melhoria implementadas, houve notável crescimento nos índices de capacidade. A capacidade potencial (C_p) que era 0,18 passou para 0,54 e a performance (C_{pk}) subiu de -0,52 para -0,5. Embora a capacidade que o processo pode atingir (C_p) tenha triplicado, ainda espera-se que este índice alcance valores mais elevados. A necessidade atual é de corrigir problemas de performance, pois o processo que já não atingia o potencial (C_{pk}) anterior, agora, mesmo com ligeira melhora, continua muito distante da performance possível. Vale ressaltar que a média de produtividade aumentou e aproxima-se da meta.

Quanto à CTQ produtividade, o gráfico de controle é apresentado na Figura 6.12.

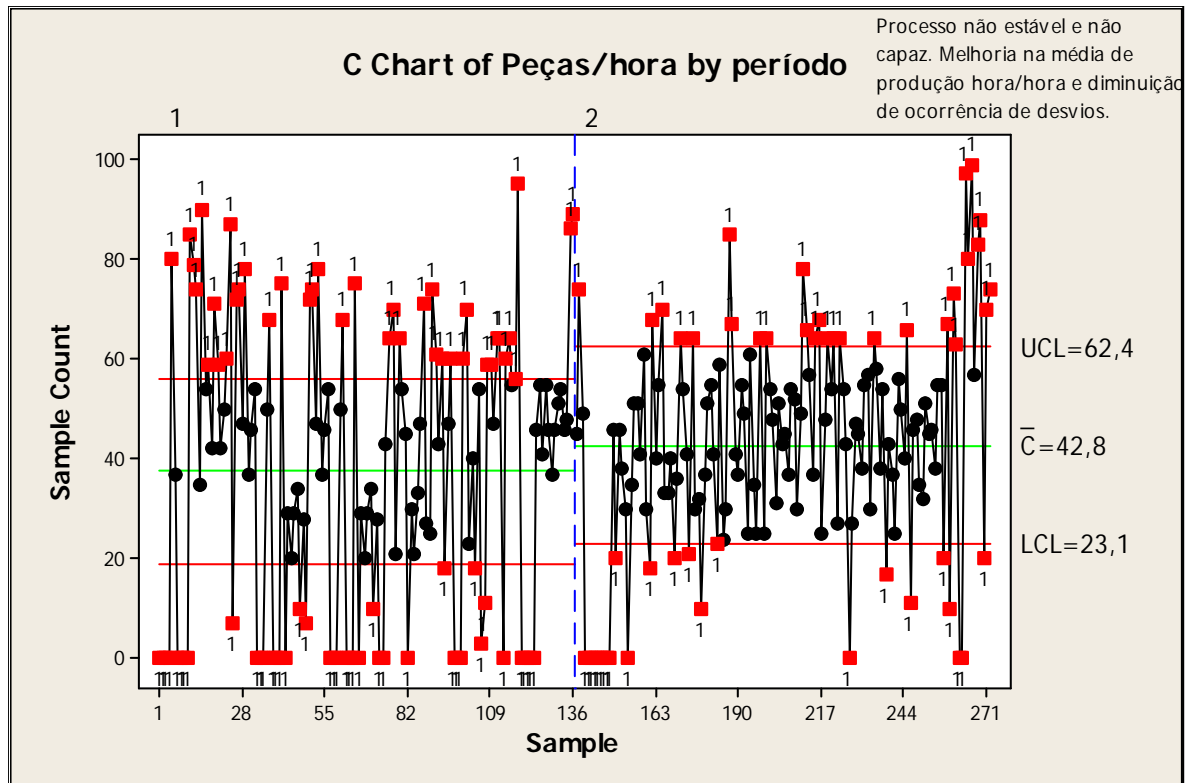


Figura 6.12 - Gráfico de controle para a CTQ quantidade pós melhorias

A quantidade de peças produzidas continua com comportamento estatístico não estável e não é capaz de atingir a meta de 85 pçs/h. Isto deve-se ao fato de que existem ainda muitos desvios para além de ambos os limites de controle e porque a média ainda não é próxima daquela estabelecida como meta. Ainda assim houve melhora na média e diminuição da quantidade de desvios.

A análise dos dados obtidos mostra que as ações de melhoria aplicadas foram eficientes e atacaram as causas mais importantes dos problemas. Mesmo ainda estando

aquém dos resultados finais esperados, estes indicadores mostram que o caminho e a metodologia do projeto estão sendo aplicados na direção correta.

6.6 Repetição do ciclo

Até o momento da elaboração deste texto, as etapas que haviam sido concluídas no projeto estão apresentadas até o PDSA4. Entretanto, de acordo com o calendário estipulado no contrato e com os objetivos a serem atingidos, o projeto continua em desenvolvimento. A próxima etapa em elaboração está inserida no PDSA5, disponível no Anexo VI. Trata-se da implementação de melhorias com relação ao item 14 do diagrama de Ishikawa do PDSA2, alto índice de curto à massa. O método utilizado é semelhante ao do PDSA3. Elabora-se o 5 porquês sobre o problema e implementam-se ações para solucionar a causa raiz.

Sugere-se a utilização de papel isolante revestido com plástico, que facilita o deslizamento do elemento no momento da inserção no pacote de lamelas e previne-se que o papel rasgue e ocorra o curto à massa. Além disso, o papel revestido é mais resistente. O experimento deve ser realizado através da fabricação de amostras de induzidos com o papel sugerido e devem ser analisados os possíveis desvios de qualidade e produtividade que esta alteração pode acarretar. Em seguida, para verificar a eficiência da ação, deve-se repetir a etapa de medição das CTQs, como nos PDSAs 1 e 4.

Este ciclo de etapas de melhoria deve ser repetido até que se esgote o prazo do projeto, as causas de problemas ou atinja-se a meta estipulada. A partir deste ponto, inicia-se a etapa de controle. Os gráficos de controle devem ser periodicamente atualizados de forma a garantir que as melhorias sejam mantidas e que o processo continue estável e capaz.

7 Conclusão

Durante o desenvolvimento do projeto, ao analisar as características dos processos produtivos, problemas e suas causas e possíveis ações de melhorias, fica clara a necessidade de um controle apurado e constante dos indicadores de produtividade da linha de produção. É através deste controle estatístico que as possíveis falhas serão mais facilmente detectadas e o desperdício de material, tempo e mão de obra será evitado. Com isto, a lucratividade e a competitividade do negócio são mantidas, garantindo a sustentabilidade.

Os métodos e sistemas de análise e projeto utilizados neste trabalho são bastante didáticos e ajudaram no esclarecimento das causas principais, do caminho a ser seguido e na demonstração dos resultados obtidos. Estes resultados, ainda que tímidos, se comparados à meta estabelecida para o projeto, já indicam que as ações tomadas foram eficazes e que a repetição do ciclo PDSA, com foco em melhoria contínua, contribuirá para atingir os objetivos propostos.

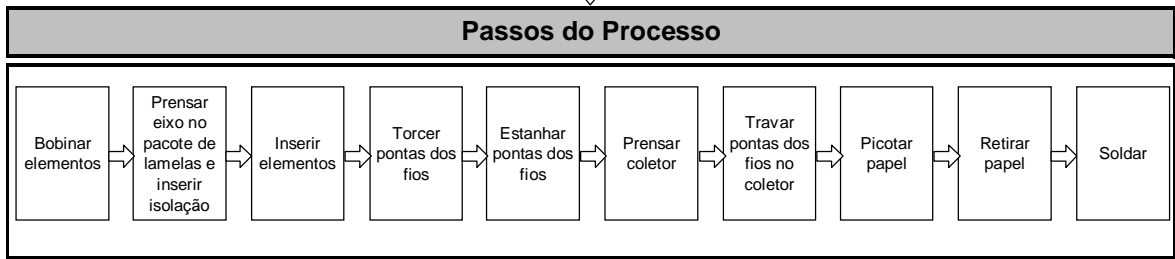
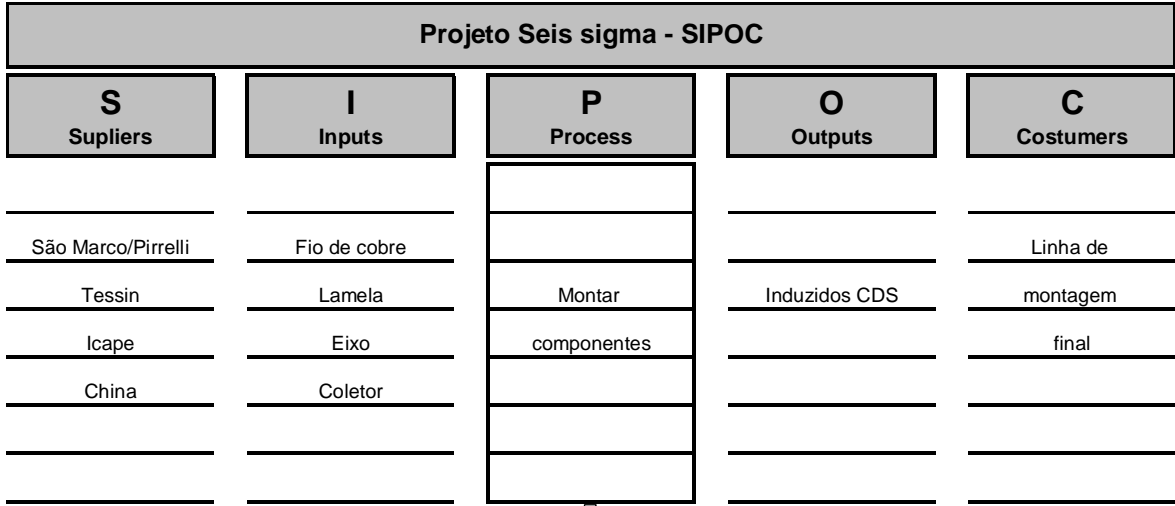
A eliminação das causas de desvios de produtividade também contribui para a estabilidade e capacidade do processo; linhas mais estáveis tornam-se mais confiáveis. A estabilidade de produção também influi no clima organizacional. Os operadores de produção sentem-se mais a vontade em trabalhar em um processo rentável, controlado e no qual possam opinar e ajudar na melhoria contínua. Por isto, a delegação de responsabilidades inerentes ao processo aos operadores é um caminho muito almejado para o futuro.

Cabe também ressaltar que o projeto foi bastante desafiador quanto aos conhecimentos acadêmicos. A necessidade de possuir noções aprofundadas de engenharia mecânica e de produção, aliadas às de engenharia elétrica puderam complementar os conhecimentos obtidos durante a graduação e desenvolver as habilidades técnicas voltadas ao meio industrial.

Anexos

I Contrato

Projeto Seis sigma - Contrato			
Data de inicio:	1/9/2008	Elaborado por:	Edson/Ediléu
		Revisão:	0
Nome do projeto			
Melhorias de Produtividade na Linha de Produção de Induzidos			
Porque estamos realizando esse projeto?			
A meta de produtividade da linha de produção de induzidos não tem sido atingida. Necessidade de melhorias nos processos e consequente melhoria na lucratividade dos mesmos.			
Importância do projeto para o negócio			
Qual é o incômodo para a organização?			
Alto custo de produção, alto desperdício de materiais, tempo e mão de obra, baixa confiabilidade na capacidade produtiva, possibilidade de ocorrência de problemas inesperados.			
Importância do projeto para o negócio			
Diminuição no custo de produção, ganho em competitividade.			
Consequência do Incômodo			
1- Para o negócio			
Alto custo de produção, que gera perda de competitividade do produto no mercado e de lucratividade no preço final do produto. Garantia de confiabilidade e estabilidade do processo.			
2- Para o cliente			
Possibilidade de aumento do preço do produto e de não fornecimento por não atendimento à meta de produção horária e produtividade.			
3- Caso não se faça nada			
A empresa continuará perdendo recursos investidos na produção, possibilidade de não atendimento ao cliente caso aumente a demanda, possibilidade de problemas de qualidade com altos volumes de produção.			
Resultados esperados			
Quais os indicadores que usaremos para saber se as mudanças resultarão em uma melhoria?			
Os indicadores de melhoria serão as ctq's produtividade e quantidade.			
O que se pretende conseguir com o resultado?			
Melhorar as ctq's produtividade e quantidade.			
Quanto se espera conseguir?			
Espera-se atingir as metas de produtividade (9,2 pçs/op/h) e quantidade (85 pçs/h).			
Quando se espera finalizar o projeto?			
Vide cronograma abaixo.			
Restrições			
1- De fronteira:	Cliente	3- De recursos:	Novos equipamentos
2- De mudanças:		4- De indicadores:	Produtividade/Quantidade
Time de melhoria			
1- Patrocinador:	Chefe de Produção	3- Coach:	Supervisor de Produção
2- Líder do projeto:	Planejador Técnico	4- Demais membros:	Estagiário, Preparador, Operadores
Cronograma			
Define:	3/9/2008	Improve:	1/12/2008
Analyse:	8/9/2008	Control:	31/12/2008
Measure:	15/9/2008		



Projeto Seis sigma - Classificação dos tipos de dados

CTQ's	Tipo de dado	Variação	Amostragem	Gráfico de Controle	OBSERVAÇÕES
Quantidade	Contagem	Poisson	Pç/h	C	
Produtividade	Contínuo	Normal	Diário	X	

II PDSA1

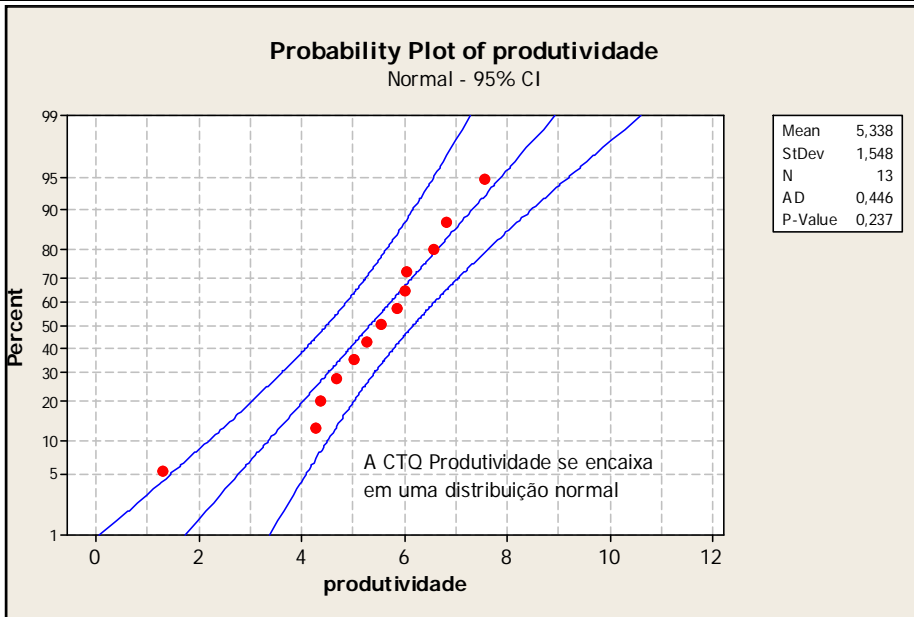
Projeto Seis sigma - PDSA							
N ° PDSA:	1	Elaborado por:	Edson/Ediléu	Data:	1/9/2008	Revisão:	0
Objetivo							
Conhecer o processo atual da linha de induzido							
PLAN							
Questões				Predições			
Os dados da CTQ produtividade se encaixa em uma distribuição normal?				Sim; os dados são contínuos.(confirmado)			
O processo para a CTQ produtividade é estável?				Não; o processo não é estável (O processo é estável)			
O processo para a CTQ produtividade é capaz?				Não; hoje não atendemos a meta de produtividade estipulada (confirmado)			
O processo para a CTQ quantidade é estável?				Não; o processo não é estável			
O processo para a CTQ quantidade é capaz?				Não; hoje não atendemos a meta de peças por hora			
Que dados serão coletados para responder as questões acima?							
Para a ctq Quantidade: Serão coletados a quantidade de peças horas/durante 15 dias Para a ctq Produtividade: Será levantada a produtividade do dia durante 15 dias							
Como os dados serão analisados? Quais gráficos e as técnicas que serão usados para análise?							
Serão analisados através de gráficos de controle e de capacidade conforme tabela abaixo:							
CTQ's	Tipo de dado	Variação	Amostragem	Gráfico de Controle			
Quantidade	Contagem	Poisson	Pç/h	C			
Produtividade	Contínuo	Normal	Diário	X			
O que pode sair errado na condução desse plano?							
Coleta de dados incorreta							
Como você vai registrar os dados? Construa um formulário de coleta de dados.							
Os dados serão registrados hora a hora para a ctq quantidade e diariamente para a ctq produtividade, através de um quadro de acompanhamento de produção existente na seção							
DO (the action plan)							
Quais pendências terão que ser eliminadas para realizar o que foi planejado? (Liste um plano de ação)							
Pendência	Ação			Resp	Prazo	Status	
Levantar dados de produtividade	Copiar os valores do quadro de acompanhamento hora/hora da seção			Edson	15/set	Fechado	
Levantar dados de quantidade	Copiar os valores do quadro de acompanhamento hora/hora da seção			Ediléu	15/set	Fechado	

O que saiu errado? O que aconteceu que não fazia parte do plano? Qual foi a consequencia?

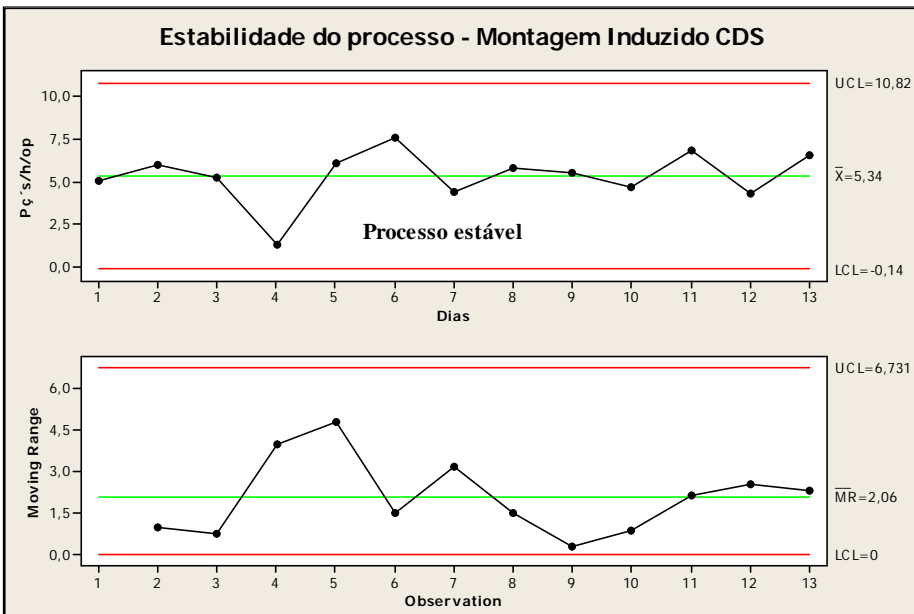
STUDY

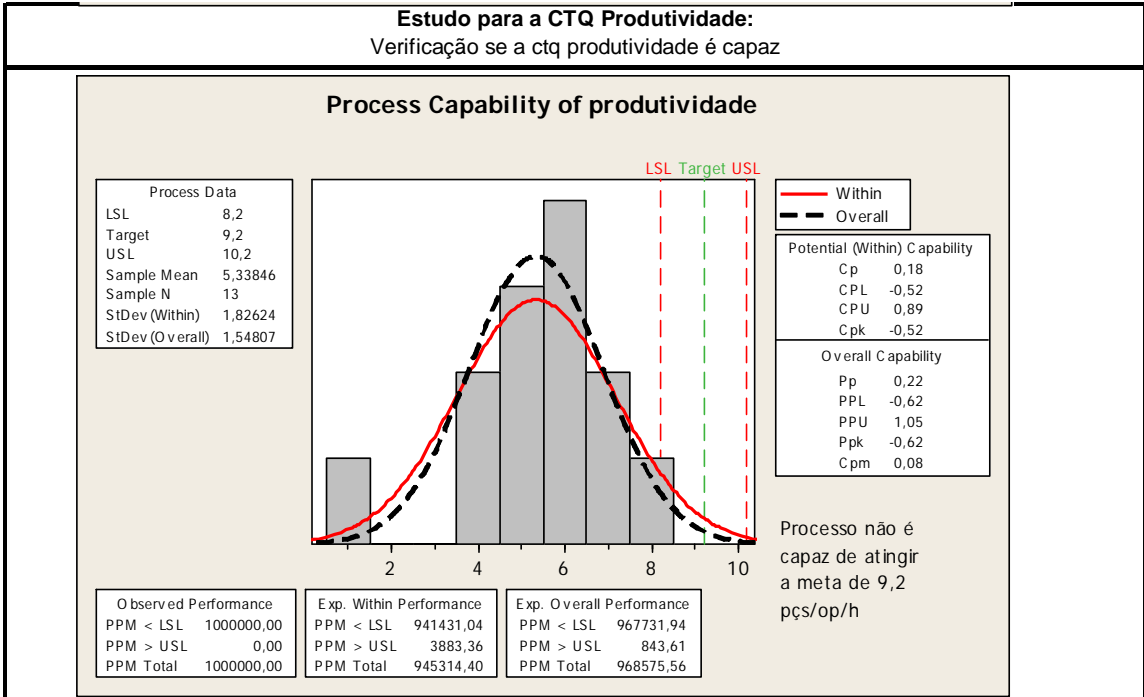
Complete a análise dos dados. Sintetize o que foi aprendido. Inclua a comparação com o que foi previsto

Estudo para a CTQ Produtividade:
Verificação de de a ctq se encaixa em uma distribuição normal

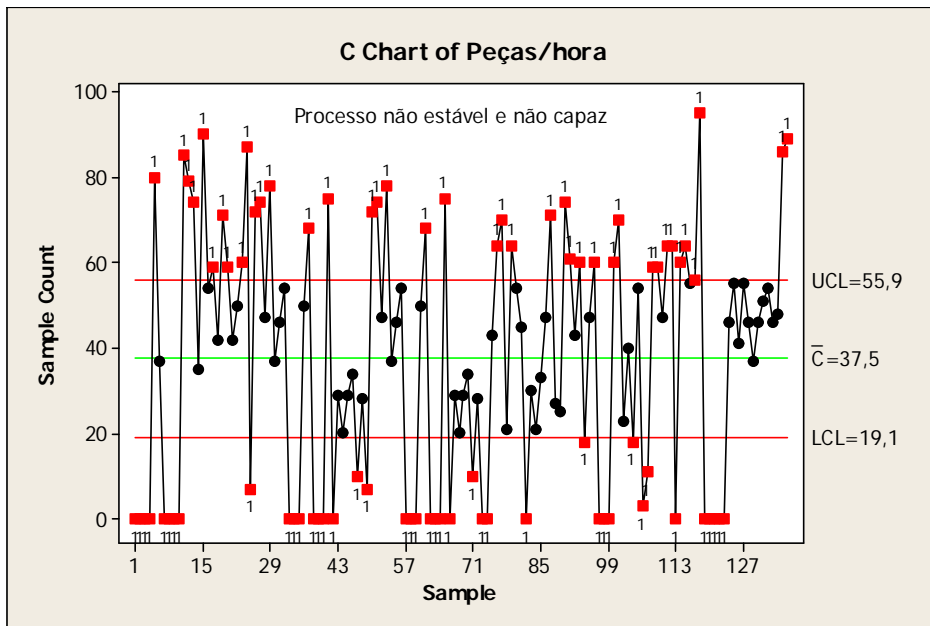


Estudo para a CTQ Produtividade:
Verificação se o processo para a ctq produtividade é estável





Estudo para a CTQ Quantidade: Verificação se a ctq quantidade é estável e capaz



ACT

Que decisões foram tomadas com o que foi aprendido?

Qual será o objetivo do próximo ciclo PDSA?

Estudar os problemas que afetam a quantidade de peças produzidas e a produtividade

III PDSA2

Projeto Seis sigma - PDSA							
N ° PDSA:	2	Elaborado por:	Edson/Ediléu	Data:	5/9/2008	Revisão:	0
Objetivo							
Conhecer os problemas do processo que atrapalham o atingimento da meta de produtividade e quantidade							
PLAN							
Questões				Predições			
Quais operações contribuem para o não atingimento da meta?				Será necessário o estudo para ter completa idéia, porém a falta de padronização do fluxo do processo é uma delas			
Que dados serão coletados para responder as questões acima?							
1- Levantamento de tempos das operações 2- Verificação dos problemas que atrapalham o atingimento das metas							
Como os dados serão analisados? Quais gráficos e as técnicas que serão usados para análise?							
1- Para os tempos levantados será feito um gráfico de capacidade para verificar se a linha atende a capacidade exigida 2- Para os problemas observados será feito um diagrama de causa e efeito (Ishikawa)							
O que pode sair errado na condução desse plano?							
Como você vai registrar os dados? Construa um formulário de coleta de dados.							
Os dados serão registrados utilizando um diagrama de causa e efeito							
DO (the action plan)							
Quais pendências terão que ser eliminadas para realizar o que foi planejado? (Liste um plano de ação)							
Pendência	Ação			Resp	Prazo	Status	
Conhecer processo	Levantar causas que atrapalham a eficiência e eficácia da linha			Time	15/9/2008	Fechado	
O que saiu errado? O que aconteceu que não fazia parte do plano? Qual foi a consequencia?							

STUDY	
Complete a análise dos dados. Sintetize o que foi aprendido. Inclua a comparação com o que foi previsto	
<p>Ishikawa - Problemas detectados durante acompanhamento de montagem</p> <p>The Ishikawa diagram is structured as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> Mão de obra (Left side): <ul style="list-style-type: none"> Item 1- Falta treinamento de trabalho padronizado Item 17- Fio de cobre com isolamento ruim Máquina (Top side): <ul style="list-style-type: none"> Item 2- Máquina de montar rasga muito papel Item 3- Dificuldade de encaixar fios no torcer Item 4- Máquina não garante medida no Item 5- Reprova de peças boas na operação Item 6- Necessidade de inserir elementos duas Item 7- Máquina de solda para muito Item 8- Alto refugo na bobinadeira Método (Bottom side): <ul style="list-style-type: none"> Item 9- Documentação da linha desatualizada Item 10- Layout deixa as máquinas distantes Item 11- Tempo de setup de DM/MM para CDS Item 12- Operador sai da linha para pegar Item 13- Entrada de material inadequada Item 14- Alto índice de curto à massa Item 15- Coletor desloca-se durante o processo Item 16- Não há padronização para o fluxo dos <p>A red arrow points from the center of the diagram to the right, with the text: Baixa produtividade e baixa quantidade de peças produzidas</p>	
ACT	
Que decisões foram tomadas com o que foi aprendido?	
<p>Todos os itens relacionados atingem diretamente a produtividade da linha. Pelo que foi observado os itens que possuem maior impactos na produção são os itens: 2; 3; 5; 6; 14; 16. Sendo assim esses itens serão desenvolvidos em primeiro lugar</p>	
Qual será o objetivo do próximo ciclo PDSA?	
Fazer melhorias relacionadas aos itens 2 e 6	

IV PDSA3

Projeto Seis sigma - PDSA					
N ° PDSA:	3	Elaborado por:	Ediléu	Data:	16/9/2008
		Revisão:			0
Objetivo					
Fazer melhorias relacionadas aos itens 2 e 6 do PDSA 2: operações de inserir elementos (papel rasgado) e travar pontas (pontas não encaixadas)					
PLAN					
Questões	Predições				
O papel rasga por efeito de alguma ferramenta?	Não, o atrito com o fio no momento da inserção rasga o papel.				
O papel rasga por ação do operador?	Não, uma vez inserido o elemento, o dispositivo pressiona sozinho.				
O papel rasga porque possui baixa resistência/qualidade?	Talvez. Em condições ideais, não rasga. Mas se ocorrer desalinhamento do elemento, a resistência do papel não é suficiente.				
Realizar a operação de travar pontas uma única vez é suficiente?	Não. Em alguns casos, as pontas não ficam alojadas nos canais do coletor.				
O posicionamento do induzido no dispositivo influi no travamento?	Não. Nas regiões do dispositivo onde a força não é suficiente, a inserção não é boa, independente do induzido.				
Os encaixadores estão em boas condições de uso?	Sim. Aparentemente não há encaixadores danificados				
A força aplicada pelo dispositivo é suficiente?	Sim. A força aplicada é superior à prescrição de processo.				
Que dados serão coletados para responder as questões acima?					
1- Parâmetros e condições da operação de inserir elementos e potenciais de melhoria; 2- Parâmetros e condições da operação de travar pontas e potenciais de melhoria;					
Como os dados serão analisados? Quais gráficos e as técnicas que serão usados para análise?					
Para cada problema, será realizado um 5 porquês.					
O que pode sair errado na condução desse plano?					
Levantamento de causas não-potenciais de melhorias.					
Como você vai registrar os dados? Construa um formulário de coleta de dados.					
Os dados serão registrados na etapa de estudo deste PDSA, nos 5 porquês.					
DO (the action plan)					
Quais pendências terão que ser eliminadas para realizar o que foi planejado? (Liste um plano de ação)					
Pendência	Ação	Resp	Prazo	Status	
Conhecer a causa raiz do problema no inserir elementos	Analisar o processo e elaborar 5 porquês do problema	Ediléu	19/9/2008	Fechado	
Conhecer a causa raiz do problema no travar pontas	Analisar o processo e elaborar 5 porquês do problema	Ediléu	19/9/2008	Fechado	
O que saiu errado? O que aconteceu que não fazia parte do plano? Qual foi a consequência?					

STUDY

Complete a análise dos dados. Sintetize o que foi aprendido. Inclua a comparação com o que foi previsto

Problema: Paspel rasga na operação de inserir elementos	
Porque?	O papel é friccionado contra a lamela
Porque?	O fio exerce pressão no momento da inserção
Porque?	O fio está desalinhado com relação ao encaçador
Porque?	Posicionamento manual feito pelo operador não garante o alinhamento
Porque?	Não existem guias para alinhar os fios depois de posicionados.

Problema: Operação de travar pontas não trava todas as pontas dos fios		
Porque?	As pontas dos fios soltam-se dos canais do coletor mesmo após a prensagem	
Porque?	As quinas dos canais do coletor não ajudam no travamento	A pressão exercida pelos encaçadores nos fios não é suficiente para travá-los
Porque?	As quinas não foram amassadas e o canal fica livre para sair o fio	Os encaçadores não atingem corretamente o fim de curso
Porque?	O encaçador não consegue amassar as quinas	O sistema de deslocamento trava durante o percurso
Porque?	A face do encaçador é plana nas extremidades laterais.	Os encaçadores não possuem guias que previnam que estes travem ao virar dentro do canal do dispositivo.

ACT

Que decisões foram tomadas com o que foi aprendido?

Implementar as modificações e melhorias nas causas raiz apontadas pelos 5 porquês dos dois problemas

Qual será o objetivo do próximo ciclo PDSA?

Medir a eficácia das ações.

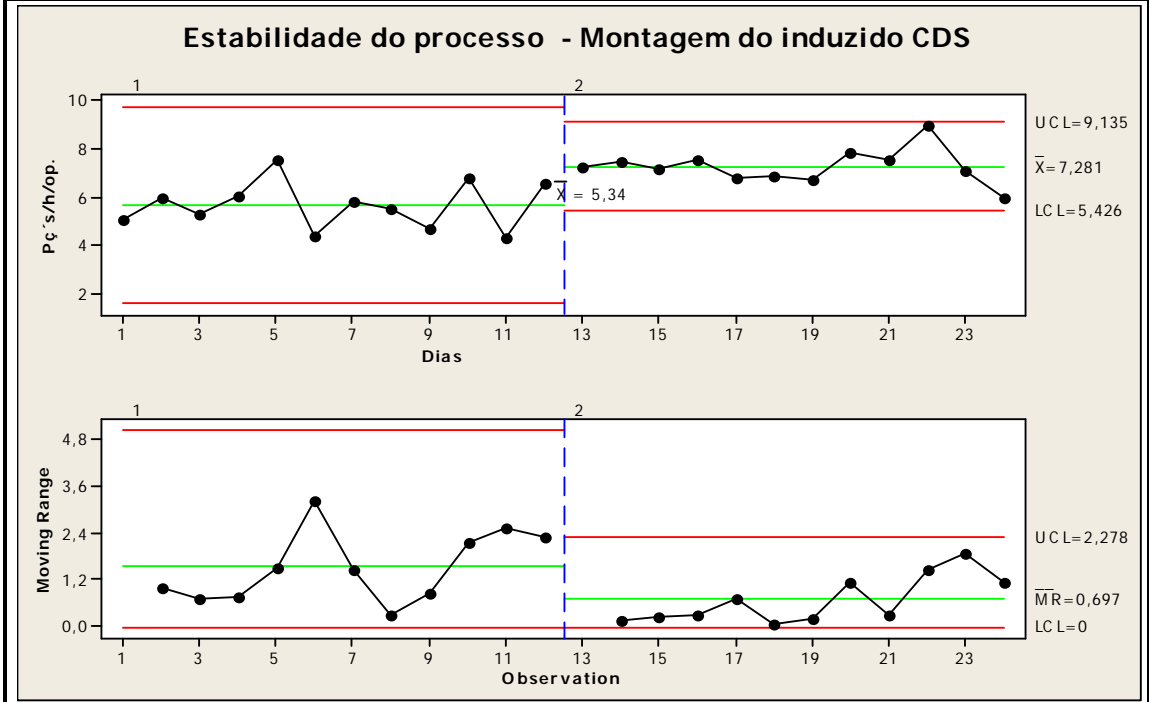
V PDSA4

Projeto Seis sigma - PDSA							
N ° PDSA:	4	Elaborado por:	Ediléu	Data:	23/9/2008	Revisão:	0
Objetivo							
Medir a eficiência das ações implementadas quanto às CTQs produtividade e quantidade.							
PLAN							
Questões				Predições			
O processo para a CTQ produtividade é estável?				Sim, o processo é estável.			
O processo para a CTQ produtividade é capaz?				Não; hoje não atendemos a meta de produtividade estipulada (confirmado)			
O processo para a CTQ quantidade é estável?				Não; o processo não é estável. (confirmado, porém houve melhorias quanto à estabilidade)			
O processo para a CTQ quantidade é capaz?				Não; hoje não atendemos a meta de peças por hora			
Que dados serão coletados para responder as questões acima?							
Para a ctq Quantidade: Serão coletados a quantidade de peças horas/durante 15 dias Para a ctq Produtividade: Será levantada a produtividade do dia durante 15 dias							
Como os dados serão analisados? Quais gráficos e as técnicas que serão usados para análise?							
Serão analisados através de gráficos de controle e de capacidade conforme tabela abaixo:							
CTQ's	Tipo de dado	Variação	Amostragem	Gráfico de Controle			
Quantidade	Contagem	Poisson	Pç/h	C			
Produtividade	Contínuo	Normal	Diário	X			
O que pode sair errado na condução desse plano?							
Coleta de dados incorreta							
Como você vai registrar os dados? Construa um formulário de coleta de dados.							
Os dados serão registrados hora a hora para a ctq quantidade e diariamente para a ctq produtividade, através de um quadro de acompanhamento de produção existente na seção							
DO (the action plan)							
Quais pendências terão que ser eliminadas para realizar o que foi planejado? (Liste um plano de ação)							
Pendência	Ação	Resp	Prazo	Status			
Levantar dados de produtividade	Copiar os valores do quadro de acompanhamento hora/hora da seção	Ediléu	8/10/2008	Fechado			
Levantar dados de quantidade	Copiar os valores do quadro de acompanhamento hora/hora da seção	Ediléu	8/10/2008	Fechado			
O que saiu errado? O que aconteceu que não fazia parte do plano? Qual foi a consequencia?							

STUDY

Complete a análise dos dados. Sintetize o que foi aprendido. Inclua a comparação com o que foi previsto

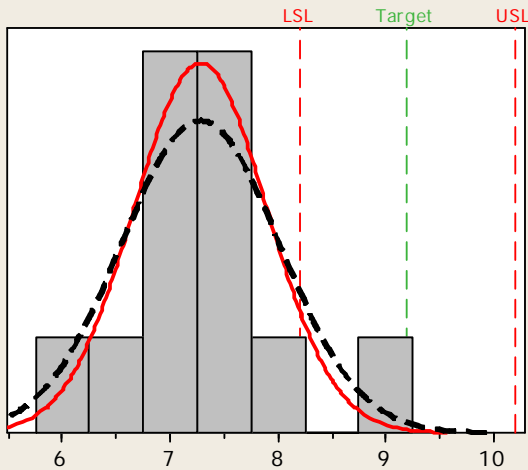
Estudo para a CTQ Produtividade:
Verificação se o processo para a ctq produtividade é estável



Estudo para a CTQ Produtividade:
Verificação se a ctq produtividade é capaz

Process Capability of produtividade 2

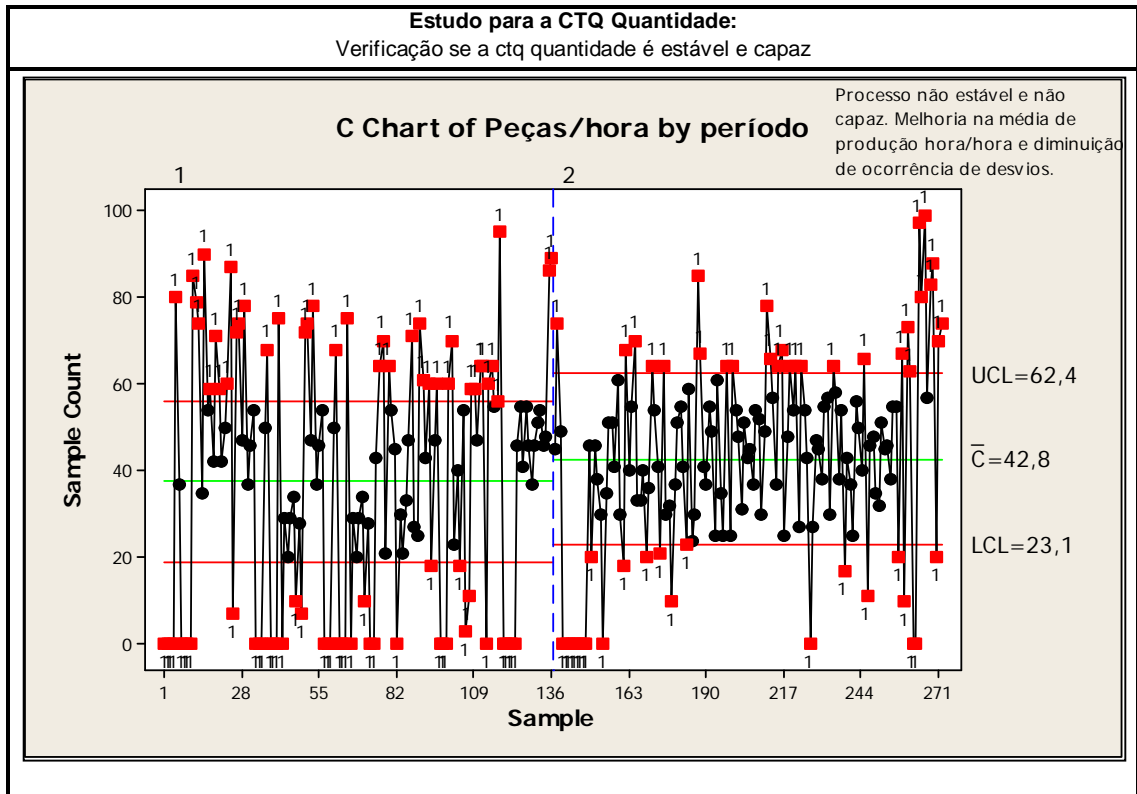
Process Data	
LSL	8,2
Target	9,2
USL	10,2
Sample Mean	7,28083
Sample N	12
StDev (Within)	0,61815
StDev (Overall)	0,731927



Potential (Within) Capability	
Cp	0,54
CPL	-0,50
CPU	1,57
Cpk	-0,50
Overall Capability	
Pp	0,46
PPL	-0,42
PPU	1,33
Ppk	-0,42
Cpm	0,16

Observed Performance	Exp. Within Performance	Exp. Overall Performance
PPM < LSL	931487,95	895408,85
PPM > USL	1,17	33,27
PPM Total	931489,11	895442,12

O processo ainda não é capaz de atingir a meta de 9,2 pçs/op/h. Houve melhora no Cp e Cpk.



ACT

Que decisões foram tomadas com o que foi aprendido?

Verificada a eficácia das ações tomadas, manter as alterações na linha de produção.

Qual será o objetivo do próximo ciclo PDSA?

Fazer melhorias relacionadas ao item 4 do Diagrama de Ishikawa (PDSA 2): Alto índice de curto à massa.

VI PDSA5

Projeto Seis sigma - PDSA				
N ° PDSA:	5	Elaborado por:	Ediléu	Data: 17/10/2008 Revisão: 0
Objetivo				
Fazer melhorias relacionadas ao item 4 diagrama de Ishikawa do PDSA 2: Alto índice de curto à massa				
PLAN				
Questões		Predições		
O curto à massa ocorre por contato do enrolamento ou do coletor com a massa?	O curto ocorre entre os elementos de enrolamento e a massa. O coletor não apresenta problema de curto.			
Em qual região é mais comum ocorrer o curto à massa?	O curto é mais comum entre os elementos e o pacote de lamelas.			
O curto à massa ocorre por interferência do operador?	Talvez. Quando o elemento não é inserido corretamente, o operador insere com o uso de uma ferramenta.			
Em qual operação é gerado o curto à massa?	É muito provável que danos causados na operação de inserir elementos sejam os mais importantes na ocorrência do curto à massa.			
O papel é apropriado para a operação?	É apropriado, pois já são produzidas peças boas utilizando este tipo de papel, mas pode-se testar outros tipos que previnam a ocorrência de rasgos.			
Que dados serão coletados para responder as questões acima?				
Analisar induzidos com curto à massa, levantar dados sobre a região e natureza do curto. Analisar as operações para verificar qual delas gera o curto.				
Como os dados serão analisados? Quais gráficos e as técnicas que serão usados para análise?				
Será realizado um 5 porquês do problema e experimentos de melhoria,				
O que pode sair errado na condução desse plano?				
Levantamento de causas não-potenciais de melhorias.				
Como você vai registrar os dados? Construa um formulário de coleta de dados.				
Os dados serão registrados na etapa de estudo deste PDSA, no 5 porquês e através de análises dos experimentos realizados.				
DO (the action plan)				
Quais pendências terão que ser eliminadas para realizar o que foi planejado? (Liste um plano de ação)				
Pendência	Ação	Resp	Prazo	Status
Conhecer a causa raiz do curto à massa	Analisar os induzidos com curto e as operações de produção	Ediléu	24/10/2008	Fechado
Testar papéis mais resistentes	Produzir induzidos com papel mais resistente e verificar efeitos de processo e produto implicados na alteração	Ediléu/Edson	14/11/2008	Efetivação
O que saiu errado? O que aconteceu que não fazia parte do plano? Qual foi a consequência?				

STUDY

Complete a análise dos dados. Sintetize o que foi aprendido. Inclua a comparação com o que foi previsto

Problema: Curto à massa	
Porque?	Há contato elétrico entre os elementos de enrolamento e a estrutura metálica do induzido
Porque?	O fio perde a isolamento e o papel é rasgado, permitindo o contato elétrico
Porque?	No momento da inserção do fio, o mesmo não desliza sobre o papel isolante, o que facilita que o papel seja rasgado.
Porque?	A resistência mecânica do papel não é suficiente para a operação e a superfície do papel não é lisa o suficiente.
Porque?	Parâmetros físicos do material.

Referências

AGUIAR, S. **Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. Volume 1. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2002.

BLAUTH, R. **Revista FAE Business**, n.5, abr. 2003.

CAMPOS, V. F. **TQC: Controle da Qualidade Total** (no estilo japonês). Belo Horizonte, MG: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

CHASE, R. B.; JACOBS, F. R.; AQUILANO, N. J. **Administração da Produção para a Vantagem Competitiva**. 10a ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

CONTADOR, J. C., et al. **Gestão de Operações: a Engenharia de Produção a Serviço da Modernização da Empresa**. 2a ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

CREVELING, C. M.; SLUTSKY, J. L. e ANTIS, D. **Design for six sigma**. Upper Saddle River, NJ: PH PTR, 2003.

FERREIRA, E. **Metodologia para análise e solução de problemas**. UFBA, 2005. Disponível em http://www.gerenciamento.ufba.br/Disciplinas_arquivos/M%C3%B3dulo%20XVI%20Ferramentas/Ferramentas%20da%20Qualidade.pdf. Acesso em 01/11/2008.

GARCIA, P. L. C.; BARROS, J. G. M. e PANHOCA, L. Implantação de um programa de melhoria da produtividade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. G&DR, v. 3, n. 3, p. 87-112, set-dez/2007.

HRADESKY, J. L. **Aperfeiçoamento da qualidade e da produtividade: guia prático para a implementação do CEP: controle estatístico de processos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1989.

ISHIKAWA, K. **Controle de Qualidade Total**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1993.

iSIXSIGMA. **VOC**. Disponível em [http://www.isixsigma.com/dictionary/Voice_Of_the_Customer_\(VOC\)-391.htm](http://www.isixsigma.com/dictionary/Voice_Of_the_Customer_(VOC)-391.htm). Acesso em 15/09/2008

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Produtividade no Brasil: a chave do desenvolvimento acelerado**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

OHNO, T. **Toyota Production System: beyond large scale production**. Portland: Productivity Press, 1988.

PALADINI, E. P. **Qualidade Total na Prática**. São Paulo; Editora Atlas, 2ª Ed., 1994.

PANDE, P. S. et al. **Estratégia Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001.

PROGRAMA SEIS SIGMA. **Curso Green Belt: Manual de Melhoria**. Campinas, SP: Unicamp, 2008.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKY, L. J. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

ROBERT BOSCH, GmbH. **The Bosch Yellow Jackets**. Alternators and Starter Motors. Ed. 2003.

ROTONDARO, R. G. **Seis Sigma. Estratégia Gerencial para controle de processos produtos e serviços**. São Paulo; Editora Atlas, 2002.

SASHKIN, M.; KISER, K. J. **Gestão da Qualidade Total na Prática**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1994.

SAXENA, S. K. **Discover 6 Sigma**. Disponível em <http://www.discover6sigma.org/post/2007/06/sipoc/>. Acesso em 01/11/2008.

SILVA, P. R. **Controle Estatístico do Processo**. Santana da Parnaíba: Qualinter Assessoria Empresarial, Revisão 01, 10/05/2005.

SOARES, H. **Globalização do sistema de manufatura baseado nas estratégias de melhoria contínua em uma empresa do setor automotivo**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica. USP, 2007. Disponível em http://www.automotiva-poliusp.org.br/mest/banc/pdf/Soares_Henry.pdf. Acesso em 01/11/2008.

SOMMER, W. A. **Avaliação da qualidade**. Apostila da disciplina de Avaliação da Qualidade. Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

WERKEMA, M. C. C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Rio de Janeiro: Editora Werkema, Edição 1, 2002.