

ANÁLISE DE CAUSA-RAIZ DE UM COMPONENTE AUTOMOTIVO EM UMA INDÚSTRIA DO SETOR METAL MECÂNICO

ROOT CAUSE ANALYSIS OF AN AUTOMOTIVE COMPONENT IN INDUSTRY OF THE MECHANICAL METAL SECTOR

LUCAS PACHECO FANUCCHI

TAMIRES SOARES FERREIRA

Resumo

O desenvolvimento deste trabalho objetivou apresentar a aplicação da ferramenta de análise de causa-raiz como forma de identificar problemas crônicos de variabilidade no processo de fabricação de uma peça automotiva da linha pesada, como caminhões e carretas. A empresa é do setor metal mecânico e está situada no norte do Paraná. A dificuldade em entregar produtos de acordo com as especificações faz com que a empresa não atenda clientes importantes no mercado, como distribuidoras e montadoras. Através da aplicação do método dos 5 por quês pôde-se identificar alguns problemas que afetavam a capacidade do processo produtivo. Para a resolução destes problemas, utilizou-se o ciclo PDCA. Após o levantamento dos dados, foi possível notar que, além da alta variabilidade do processo, a média das medidas estava longe do valor nominal, impactando de forma negativa a produção das peças. Com a identificação e solução dos problemas, o processo teve seu índice de capacidade aumentado de 0,27 para 1,29. O índice utilizado foi o CPK que representa melhor o processo quando descentralizado. Enquanto o valor nominal era de 94mm, a média aumentou de 90,84 para 92,83. O desvio-padrão, que representa a variabilidade do processo, diminuiu de 1,03 para 0,73. Concluiu-se que as máquinas pouco influenciavam no processo, enquanto as especificações de processo eram as principais causas de baixa capacidade do processo.

Palavras-chave: *variabilidade; capacidade do processo; 5 por quês.*

Abstract

The development of this work aimed to present the application of the root cause analysis tool as a way to identify chronic problems of variability in the manufacturing process of a heavy-duty automotive part such as trucks and wagons. The company is of the metal mechanic sector and is located in the north of Paraná. The difficulty in delivering products according to specifications means that the company does not serve important customers in the market, such as distributors and assemblers. Through the application of the method of 5 why some problems could be identified that affected the capacity of the productive process. To solve these problems, the PDCA cycle was used. After the data collection, it was possible to notice that, in addition to the high process variability, the average of the measures was far from the nominal value, negatively impacting the production of the parts. With the identification and solution of problems, the process had its capacity index increased from 0.27 to 1.29. The index used was the CPK that best represents the process when decentralized. While the nominal value was 94mm, the average increased from 90.84 to 92.83. The standard deviation, which represents the variability of the process, decreased from 1.03 to 0.73. It was concluded that the machines

had little influence on the process, while the process specifications were the main causes of low processability.

Key-words: *variability; capacity of the process; 5-why.*

1. Introdução

Em um cenário de extrema competitividade o qual as organizações se encontram atualmente, a qualidade de seus produtos e serviços, tem mais do que nunca, a necessidade de colocar em foco o cliente. A qualidade, mais do que um fator de diferenciação, se torna uma decisão estratégica que a empresa deve tomar para a sua manutenção e crescimento no mercado.

Segundo Carpinetti (2012), o princípio de foco no cliente deve ter 2 enfoques principais: conhecer quais são os requisitos do cliente perante o produto e garantir que toda a organização tenha como foco atender estes requisitos. Assim sendo, questionamentos como: quem são seus clientes, o que eles requerem e como a organização pode atendê-los são fundamentais para gerenciar a qualidade.

Como fator estratégico, a qualidade não deve ser vista com singularidade pelas organizações, mas sim tratada com gestão para que as decisões sejam tomadas de forma alinhada aos objetivos e metas da empresa. A decisão em investir recursos voltados para o aprimoramento da qualidade é o que pode decidir o sucesso ou a falta dele no mercado.

Os requisitos do cliente devem se tornar parâmetros de engenharia, que são indicadores de propriedades mensuráveis. Logo, a qualidade de um produto pode ser vista de vários aspectos diferentes. Isto dependerá do que será produzido e para quem será comercializado. Além de cada produto ter diferentes requisitos e parâmetros, o mesmo produto pode ter diferentes requisitos, ou ainda, o que é tolerável dentro dos parâmetros definidos para atender as necessidades de cada cliente.

Sendo assim, o presente estudo consiste em uma análise do grau de padronização de uma peça automotiva produzida por uma empresa de componentes de caminhão, localizada no norte do Paraná, no município de Sarandi. A empresa, de médio porte, conta com 120 funcionários e opera em 2 turnos. A empresa em questão, inserida no setor metal-mecânico, atualmente fornece peças apenas para comércios em vários estados do Brasil e tem por objetivo expandir sua fatia de mercado, focando principalmente para distribuidoras e montadoras. Porém, para que isto seja possível, será necessário que suas peças tenham um grau de padronização aumentado, diminuindo assim a variabilidade dimensional apresentada no processo atualmente.

1.1. Justificativa

Para a empresa, o problema se justifica pois, na situação atual, não consegue atender o mercado de montadoras e distribuidoras de acordo com as necessidades. Estes, por representar uma grande fatia de mercado, aumentaria a demanda de forma significativa. Além disto, produtos com garantia de qualidade têm um preço de venda maior no mercado.

Além da expansão de novos mercados, o aumento da capacidade do processo diminui a probabilidade de que produtos fora dos limites de especificação sejam fabricados, diminuindo custos de retrabalho quando identificados, ou ainda, custos de logística quando não identificados e entregues aos clientes.

Outro fator que valida este estudo é o sistema de gestão da qualidade da empresa. Por procedimentos estabelecidos, os produtos fabricados devem ser medidos, avaliados e melhorados, sempre visando ter os parâmetros do projeto alcançados, garantindo assim a melhoria contínua dos processos. Quando os parâmetros do projeto não são cumpridos, existem sérios riscos de o produto ter sua vida útil diminuída, ou ainda, perder a capacidade de exercer a função dela. E neste sentido, o projeto também será revisado, para garantir que o cumprimento das medidas apontadas no projeto seja sinônimo de qualidade para os clientes.

1.2. Definição e delimitação do problema

O estudo foi realizado em um componente automotivo chamado de balança, produzido em uma empresa metal-mecânica situada no município de Sarandi-PR. Esta compõe o sistema de amortecimento de caminhões. A balança escolhida foi do tipo “asa delta”, chamada assim pelo formato de suas laterais. O problema em questão está na distância entre suas laterais, medida chamada de abertura. A dimensão da abertura, considerada medida crítica para a qualidade da peça, será objeto de análise e estudos. O problema se delimitará a análise atual da situação da capacidade do processo e quais os motivos que causam variabilidade e descentralização no processo.

1.3. Objetivos

Neste tópico, o objetivo geral do trabalho será apresentado e em seguida os objetivos específicos listados.

1.3.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo implementar melhorias na fabricação de balanças, resultando em padronização dos produtos acabados e aumento da capacidade do processo em uma empresa metal mecânica.

1.3.2. Objetivos específicos

- Revisar valor nominal e limite inferior e superior de especificação do projeto;
- Elaborar plano de medição;
- Diagnosticar a capacidade do processo atual;
- Realizar análise de causa-raiz;
- Implementar ações corretivas das causas identificadas;
- Diagnosticar a capacidade do processo.

2. Revisão de literatura

Esta seção objetiva referenciar os conceitos que sustentaram o estudo de caso proposto.

2.1. Qualidade

Garvin (1992) enumera cinco abordagens principais para a definição de qualidade: Transcendente, com foco no produto, foco no usuário, foco na produção e foco no valor.

- Enfoque transcendental: A qualidade é tida como uma condição de excelência que implica em ótima qualidade. É sinônimo de excelência “inata”. Não é apenas absoluta como também universal.

- Enfoque no produto: É uma variável precisa, mensurável e é oriunda dos próprios produtos. Sendo assim, pode ser quantificado e comparado, dando uma dimensão de maior importância para um atributo sobre outros.

- Enfoque no usuário: É aquela que visa a “adequação a seu propósito”. Logo a qualidade “está nos olhos de quem observa”. Este enfoque tem uma visão subjetiva de qualidade, pois deve atender os diversos requisitos de cada usuário.

- Enfoque na produção: É o enfoque que se interessa basicamente na engenharia e na produção dos produtos. Esta tem uma relação com as conformidades e especificações.

- Enfoque no valor: Faz uma relação entre a qualidade do produto com o preço que se paga por ele. Logo, quanto mais qualidade um produto tem, provavelmente mais caro ele irá custar.

Pode-se assim dizer que a qualidade evoluiu e mudou de conceito ao passar do tempo e para cada situação. Segundo Batalha (2008), pode-se observar quatro eras as quais a qualidade percorreu até a atualidade:

a) Primeira era – Inspeção. Esta era surge resolvendo problemas com a produção de forma corretiva. Ainda se adotou sistema de padronização de medidas caracterizando a linha de montagem;

b) Segunda era – Controle. Teve sua marca registrada pelos controles estatísticos, visto que a inspeção e o tratamento dos produtos apenas como ruins e bons não era eficiente. O controle da variabilidade do processo e métodos cíclicos de melhoria contínua foram desenvolvidos e utilizados. Também a qualidade começa a ser documentada através das normas de qualidade.

c) Terceira era – Garantia. Uma abordagem sistêmica com o intuito de garantir o processo de fabricação como um todo, desde a cadeia de fornecimentos até a fabricação. A sigla TQC (*Total Quality Control*), surge para representar esta era como a era do controle total e também aqui começam a serem utilizadas amplamente as ferramentas da qualidade

d) Quarta era – Gestão. A ideia de qualidade tratado como gestão por toda a empresa. Além dos fundamentos do TQM (*Total Quality Management*), esta era - que dura até hoje – é marcada pela redução de desperdício. Outra marca deste período são os programas de melhorias contínuas realizados nas empresas. Acarretando assim, na responsabilidade de participação por todos os colaboradores.

2.2. Gestão da qualidade

A era da gestão pode ser definida como: “o conjunto de atividades coordenadas para dirigir e controlar uma organização com relação à qualidade, englobando o planejamento, o controle, a garantia e a melhoria da qualidade” (CARVALHO; PADADINI, 2005).

A gestão da qualidade deve ser usada como estratégia competitiva da empresa, tendo sempre o foco no cliente como forma de conquistar e se estabelecer no mercado competitivo. Em todo o ciclo do produto, a gestão da qualidade pode ser vista como estratégia competitiva. Porém, com o mercado competitivo, as empresas estão igualmente atentas para suprir as

necessidades do cliente da melhor forma possível. Assim surge a ideia de melhoria contínua (CARPINETTI, 2012).

2.3. Melhoria contínua

Em busca de produtos com mais qualidade, as empresas utilizam a filosofia de melhoria contínua para, como o nome propõe, estar frequentemente aperfeiçoando o desempenho de seus processos. Para isto, devem acontecer rotineiras avaliações do produto, análise dos resultados e planejamento de ações de melhoria que permitam que o processo esteja sempre evoluindo. O método mais genérico é o chamado ciclo PDCA que sugere que sejam feitas as etapas de planejamento, execução, verificação e ação corretiva. (CARPINETTI, 2012)

Para manter constante melhoria dos produtos fabricados, deve-se então inspecionar os lotes e a partir disto, tratar os dados de forma a planejar, executar e avaliar ações que auxiliem neste sentido. Carpinetti (2012) sequencia as etapas básicas que fazem parte do processo de melhoria contínua e sugere a utilização das ferramentas da qualidade para assistir no processo de avaliação e processo de desenvolvimento de ações. As etapas são:

- Identificar os principais problemas;
- Coletar os dados;
- Analisar e identificar as causas-raízes;
- Planejar e implementar ações de melhoria;
- Verificar os resultados.

2.3.1. Índices de capacidade do processo

Os resultados de um processo podem ser medidos através de parâmetros adimensionais chamados de índices de capacidade de processo (ICP). Em geral, quanto maior for o valor do índice, mais capacidade o processo terá e maior será a probabilidade de os produtos serem fabricados dentro dos limites de especificações. Existirem diversos índices, porém os mais utilizados são o C_p e C_{pk} . O último representa melhor a capacidade de processos não centralizados. Pode-se considerar que se o C_{pk} for maior ou igual a 1,33, o processo é capaz. Se for menor a 1 é incapaz. E por fim, se o C_{pk} estiver entre estes dois valores, o processo é considerado parcialmente capaz. (COSTA; EPPRECHT; CARPINETTI, 2011).

2.3.2. Análise de causa-raiz

A análise de causa-raiz (ARC) é todo processo no qual, através de evidências, as causas mais relevantes de um problema ocorridos são identificadas, mesmo que em um primeiro momento estas não sejam tão perceptíveis. Por este motivo, esta ferramenta se torna uma importante forma de propor melhorias (BAPTISTA, 2010).

De acordo com Uberoi et al. (2004), o intuito da análise de causa raiz é identificar a causa do problema, sua justificativa e o que fazer para prevenir que o mesmo não volte a acontecer. A análise de causa raiz tem por função identificar a causa fundamental do problema. E se esta causa for eliminada, o problema não voltará a acontecer. Logo, ações corretivas devem ser tomadas para que o problema seja totalmente resolvido.

Segundo Aguiar (2014), a ACR consiste em investigar o problema, visando localizar a causa-raiz e planejar ações corretivas que assistam na solução do problema. Para isto é necessário esclarecer que um problema pode ter uma ou mais causas. Porém a raiz é aquela que se não existisse, o erro nunca ocorreria.

A ACR pode ser aplicada a partir de diferentes ferramentas. As mais relevantes são: 5 por quês, Ishikawa, Barreira de Controle, Análise de Barreira de Controle, Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE) e Mapa de Causa-Raiz. A cultura organizacional e a complexidade do problema são fatores que influenciam qual é a mais adequada para cada ocasião (AGUIAR 2014).

Para apontar pontos positivos e negativos de cada ferramenta, Aguiar (2014) fez análises de um problema no processo final de um produto. O ambiente em que o problema ocorreu foi uma indústria metal mecânica. Resumidamente, após a montagem de uma barra redonda em um bloco de aço, foi constatado que o produto final estava não-conforme, visto que havia uma folga maior que a tolerada entre os dois componentes. Então, foi realizada a identificação da causa-raiz com o auxílio das seis ferramentas. O quadro 1 mostra a comparação entre os métodos.

Quadro 1 - Comparação dos métodos de análise de causa raiz

Método de ACR	Classificação	Consumo de tempo e recursos	Aplicação para problemas simples	Sequenciamento de atividades no tempo	Construída baseada em relações de causalidade	Visualização gráfica	Admite multicausalidade	Facilidade de uso	Dependência de expertise no método
5 Por quês	Alto		x		x			x	
	Baixo	x		x		x	x		x
Ishikawa	Alto		x		x	x	x	x	
	Baixo	x		x					x
Barreiras de Controle	Alto		x				x	x	
	Baixo	x		x	x	x			x
AAF	Alto	x			x	x	x		x
	Baixo		x	x				x	
GFCE	Alto	x		x		x	x		x
	Baixo		x		x			x	
Mapa de Causa Raiz	Alto	x				x	x		x
	Baixo		x	x	x			x	

Fonte: Aguiar (2014)

O quadro 1 demonstra a importância da escolha do método de análise de causa raiz para conseguir identificar a causa do problema de forma eficiente. Para casos mais simples, em que se busca a identificação das causas obscuras de forma rápida e com menos recursos, os métodos dos 5 por quês, o diagrama de Ishikawa e Barreiras de controle foram os mais recomendados. Em contrapartida, para problemas mais complexos, com mais de uma causa e com a necessidade de uma visualização gráfica, os métodos Análise de Barreira de Controle, Gráfico de Fator Causal e Evento (GFCE) e Mapa de Causa-Raiz foram mais eficientes. (AGUIAR, 2014).

3. Metodologia

Esta pesquisa é classificada como descritiva, pois segundo Gil (2007), as pesquisas descritivas têm como objetivo principal a descrição de características de uma população através de relações estabelecidas entre variáveis. Envolve o uso de técnicas de coleta e levantamento de dados. Além disto, as pesquisas descritivas se caracterizam pelo objetivo de demonstrar a existência de relações entre variáveis.

Para a realização deste trabalho a metodologia foram realizados 3 procedimentos: desenvolvimento do plano de inspeção, análise de causa-raiz e ciclo PDCA. O desenvolvimento de um plano de inspeção (PI) tem como objetivo padronizar o processo de coleta dados e aumentar a sua confiabilidade. Para isto, foi desenvolvido um procedimento, representado pelo quadro 2, o qual define os materiais utilizados para a inspeção e os métodos de análise dos dados.

Quadro 2 - Plano de Inspeção

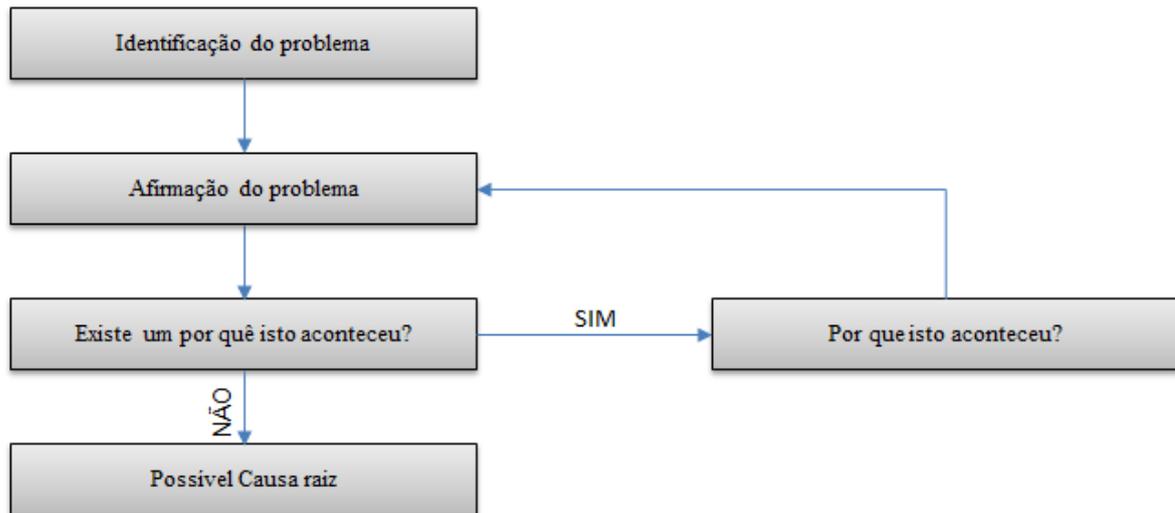
PLANO DE INSPEÇÃO		
REFERENTE À INSPEÇÃO		
Referência	Decisão	Motivo
Produto	Balança asa delta marca Randon 50mm	Produto com maior demanda de venda
Amostragem	10% do lote	Quantidade representativa
Equipamento	Paquímetro Digital Mitutoyo 200mm	Diminuir variações entre equipamentos
Colaborador	Lucas	Diminuir variação entre colaboradores
Periodicidade	Diária	Medir todos os lotes
Horário	Entre 9:00 e 10:00	Antes das peças deixarem a empresa
REFERENTE À ANÁLISE DOS DADOS		
Referência	Decisão	Motivo
Programa	Excel	Facilidade de uso
Gráficos	Histograma e Pareto	Observar como as medidas se comportam em relação ao tempo e a distribuição destas medidas
Indicadores	Média e Desvio Padrão	Verificar variabilidade e centralização do processo
Índices	Cp e CPK	Verificar a capacidade do processo

Fonte: Autoria própria (2017)

As dez referências foram consideradas as mais relevantes para que os erros de medição e as subjetividades de análises fossem diminuídas, levando em consideração a cultura da empresa e o atingimento dos objetivos deste trabalho.

O segundo procedimento da metodologia foi a análise de causa-raiz. A ferramenta que será aplicada é a dos 5 por quês. Para isto, a ferramenta inicia com um problema que será identificado com os dados coletados. A Figura 3 apresenta o roteiro proposto por Weiss (2011) e adaptado para este trabalho.

Figura 3 - Fluxograma do método dos 5 por quês



Fonte: Weiss (2011), Adaptado pelo autor (2017)

A afirmação foi apresentada para a equipe escolhida para analisar o problema e foi questionado se existe um motivo para aquela sentença ser verdadeira, sendo possíveis apenas as respostas “sim” ou ‘não’:

a) Em caso positivo: “por que esta afirmação aconteceu? ”. A equipe discutirá qual a melhor resposta para a pergunta anterior. Esta resposta seguirá novamente para a “afirmação do problema”;

b) Em caso negativo: a possível causa-raiz definida.

O terceiro procedimento da metodologia foi o ciclo PDCA. Para evitar confusões, chamou-se aqui o planejar (P), executar (D), checar (C) e agir (A) de etapa 1, 2, 3 e 4 respectivamente. Na etapa 1, o planejamento será realizado logo em sequência da etapa de análise de causa-raiz, através de reunião com a mesma equipe escolhida para a etapa passada. A etapa 2 foi feita a partir das atividades e prazos estabelecidos pelo planejamento para a mudança no processo produtivo. Ainda nesta fase, foi coletado os dados de acordo com o plano de inspeção. Na fase 3, os dados coletados foram lançados no *software* Excel e os gráficos de histograma e Pareto, além dos indicadores foram apresentados em uma outra reunião para a equipe. Apenas em caso de resultados positivos, a fase 4 foi realizada. Nesta fase foi discutida como as ações que foram consideradas positivas para o processo, serão padronizadas.

4. Desenvolvimento

Nesta seção, a metodologia definida foi utilizada para que os objetivos do trabalho fossem alcançados.

4.1. Revisão do projeto

O primeiro passo realizado foi uma revisão do projeto. Isto inclui todos os componentes do produto final, o valor nominal, os limites de especificação e os processos produtivos realizados antes da montagem do produto.

O quadro 3 mostra uma lista de componentes para o produto estudado. Além disso, a quantidade consumida, a matéria-prima e os processos.

Quadro 3: Lista de componentes

Nº	Componente	Quantidade	Matéria-Prima	Processos
1	Lateral	2	Chapa 7mm Aço Carbono SAE 1008/1020	Cortar
2	Reforço Superior	1	Chapa 3,35mm Aço Carbono SAE 1008/1020	Cortar
				Dobrar
3	Reforço Inferior	1	Chapa 6,35mm Aço Carbono SAE 1008/1020	Cortar
				Dobrar
4	Esfrega	2	Chapa 9,52mm Aço Carbono SAE 1008/1020	Cortar
				Prensar
5	Conjunto Bucha	1	Bucha Externa (6) + Bucha Interna (7)	Embuchar
6	Bucha Externa	1	Tubo Mecânico 73mm x 59mm	Serrar
7	Bucha Interna	2	Tubo Mecânico 60,3mm x 49,3mm	Serrar

Fonte: Autoria própria (2017)

Na primeira coluna do Quadro 3 os componentes foram enumerados para facilitar a referência deles ao longo do desenvolvimento. Também é importante explicar que o conjunto bucha (5) é formado pelos componentes 6 e 7.

Verificou-se que o valor nominal é de 94 milímetros para a medida crítica. Esta medida pode ser chamada de abertura da peça, que representa a distância entre as duas laterais. Para o limite inferior e superior de especificação, foi levado em consideração a aplicação do produto nas carretas. Para o limite inferior, verificou-se que a montagem só poderia ser realizada com balanças de medida maior que 90 milímetros, que é 1 milímetro maior que a medida nominal das placas de mola de suspensão, as quais a balança deve delimitar o movimento. Para o limite

superior, levou-se em consideração o valor nominal, de 120 milímetros, do pino de balança que é utilizado na montagem. O pino deve ser passado no furo, ao meio da peça, e ter de folga, no mínimo, 3 milímetros de cada lado. Sendo assim, calculou-se:

$$LSE = Vp - (2 \times F) - (2 \times E) \quad (1)$$

Onde:

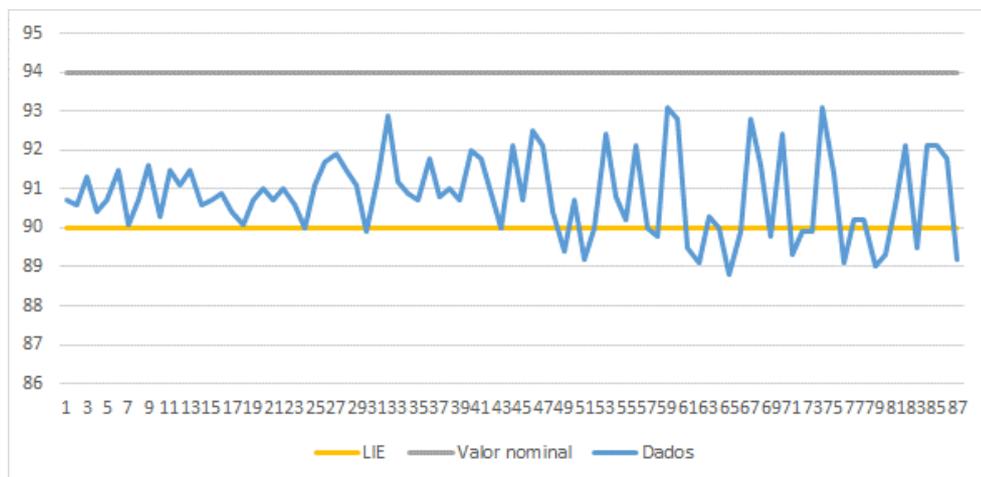
- LSE: Limite superior de especificação da balança;
- Vp: Valor nominal do pino de balança (120);
- F: Folga para montagem (3);
- E: Espessura da lateral (7).

Logo, a equação (1) resulta em um valor de limite superior de 100 milímetros. Definiu-se então que as peças, para serem conformes, deverão estar entre 90 e 100.

4.2. Capacidade do processo

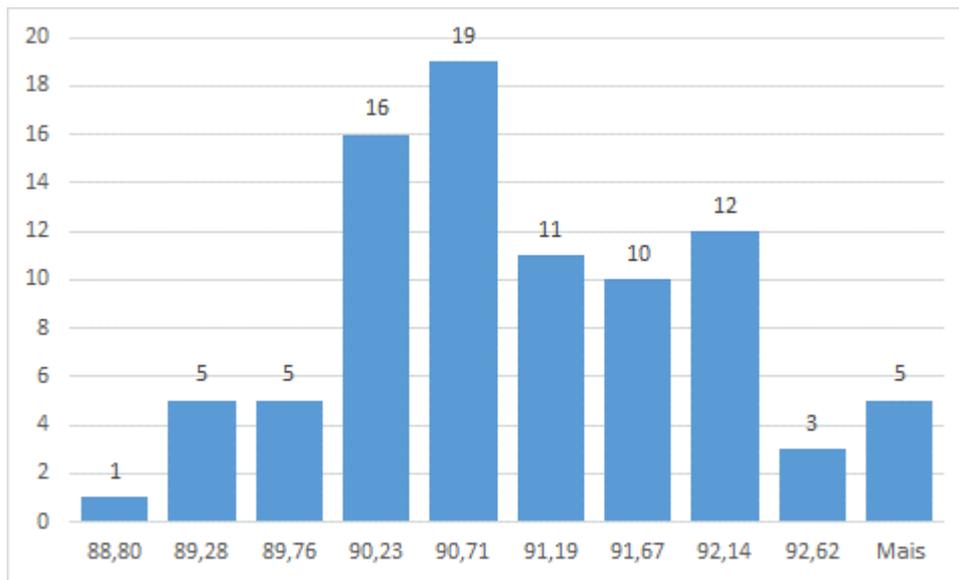
Após a elaboração do plano de inspeção e da revisão do projeto, iniciou-se a análise do processo atual. Seguindo o procedimento adotado pelo PI, 87 peças foram medidas e posteriormente analisadas através de gráficos de dispersão e histograma e dos indicadores de média e desvio padrão. Os Gráficos 1 e 2 apresentam a distribuição das medidas das peças inspecionadas:

Gráfico 1 - gráfico de dispersão referente ao estado inicial do processo



Fonte: Autoria própria (2017)

Gráfico 2 – histograma referente ao estado inicial do processo



Fonte: Autoria própria (2017)

Os gráficos mostraram que das 87 peças avaliadas, 11 são não conforme pois estão abaixo de 90 milímetros. Além disto, mais de 50% das peças estão entre 90mm e 91,5mm o que representa que estão muito próximo da não conformidade. A Tabela 1 apresenta os principais dados e indicadores utilizados.

Tabela 1 – Estado inicial do processo

Indicadores	Dados
Amostra (peças)	87
Menor medida (mm)	88,8
Maior medida (mm)	93,1
Média (mm)	90,84
Desvio Padrão (mm)	1,03
CP	1,61
CPK	0,27

Fonte: Autoria própria (2017)

O indicador de capacidade do processo representa um processo considerado capaz. Porém, como visivelmente o processo não está centralizado, o indicador CPK apresenta uma baixa capacidade do processo. Este foi o problema identificado inicialmente.

4.3. Análise de causa-raiz

Como os indicadores apresentaram, o processo de fabricação não era satisfatório. Para tanto, a análise de causa-raiz foi utilizada através da ferramenta dos 5 por quês. Como descrito

na etapa 2 da metodologia, realizou-se uma reunião na qual os indicadores e gráficos foram apresentados para a equipe escolhida e então foi discutido o fator que mais interferia para que o processo se comportasse de tal forma. O quadro 4 mostra o resultado da ferramenta aplicada.

Quadro 4 – Primeira análise de causa-raiz

Afirmação	Por quê
O processo não está centralizado	Porque a solda altera as dimensões da peça
A solda altera as dimensões da peça	Porque a solda aproxima as laterais na base da balança
A solda aproxima as laterais na base da balança	Porque as bases ficam livres na soldagem
As bases ficam livres na soldagem	Porque foi utilizado o gabarito que não tem dispositivo para manter a medida de abertura da peça em sua base
Foi utilizado o gabarito que não tem dispositivo para manter a medida de abertura da peça em sua base	Porque foi soldado no robô SUMIG

Fonte: Autoria própria (2017)

A causa-raiz encontrada para a capacidade do processo abaixo da esperada e, principalmente, pela falta de centralização do processo, representado pelo indicador “CPK” foi o posto em que o produto foi fabricado. Este posto em que as peças foram soldadas era composto por um braço mecânico de marca SUMIG.

Apesar de acreditar que a máquina tem baixa variabilidade, realizar o processo em um posto representa outras variáveis que ficam implícitas, a primeira é o gabarito. Para cada robô, a empresa conta com um gabarito diferente que condiz com as rotações da mesa, movimentos que o braço consegue realizar, velocidade, entre outras.

Além disto, o fluxo do processo é alterado. Dependendo do posto em que será realizada a solda final, podem ser necessárias mais uma ou duas etapas de solda chamada de montagem. Por isso considerou-se tão importante checar como o processo se comportaria em outros robôs ou até mesmo sendo soldado manualmente. Após a ferramenta ser aplicada, a próxima etapa foi o primeiro PDCA.

4.4. Primeiro ciclo PDCA

Este ciclo PDCA teve como objetivo fabricar as balanças em outra máquina, que não a usualmente utilizada (SUMIG), para poder afirmar se o posto era realmente a causa-raiz.

4.4.1. Planejamento

O primeiro passo do planejamento foi realizar um levantamento de quais postos teriam as condições necessárias para produzir a peça. Para isto, o departamento de engenharia do produto da empresa ficou responsável de fazer este levantamento e escolher qual seria o mais apropriado para realizar o estudo. O tempo estipulado para a realização desta ação foi de uma semana. Após a conclusão desta etapa, a próxima ação planejada foi a de produção no posto em que foi decidido pela ação anterior. O tempo para a realização desta etapa foi definido em duas semanas, para que neste tempo fosse possível inspecionar um tamanho de amostra significativa.

4.4.2. Execução

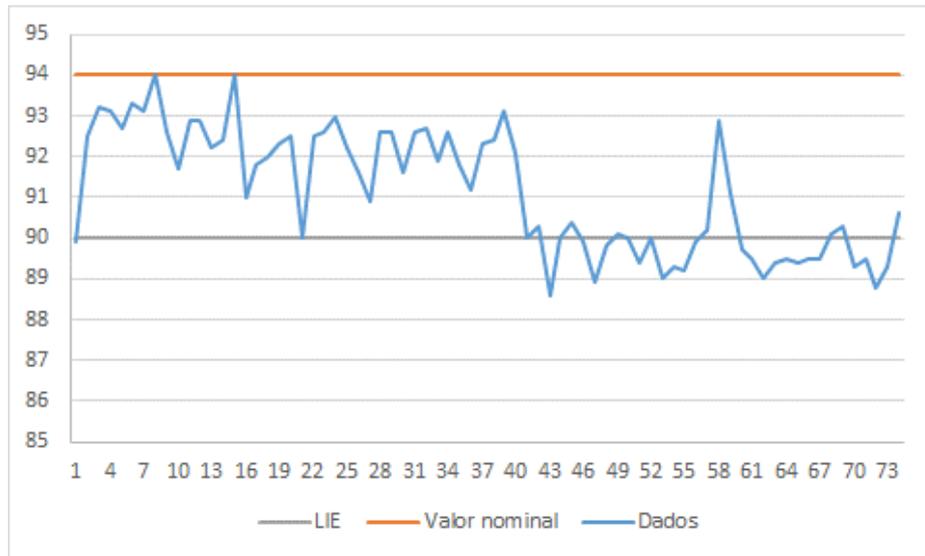
A primeira ação do planejamento foi realizada tendo como decisão final o posto de solda manual. Esta decisão foi tomada pois o gabarito de soldagem final deste posto permitiu a adição de um dispositivo de reforço inserido na base da balança que visou manter a abertura da peça. Para fabricar a peça 2 etapas de montagem foram necessárias. Para a primeira etapa de montagem, foi estabelecido que seriam soldados os componentes 1 e 2, formando assim o corpo do produto. A segunda etapa de montagem é soldar no corpo o componente 5. E assim, o produto está apto para entrar no processo de fabricação final, soldando os componentes 3 e 4.

A segunda ação foi realizada conforme determinado na etapa anterior e então, segundo o procedimento estabelecido pelo plano de inspeção, os dados foram coletados.

4.4.3. Checar

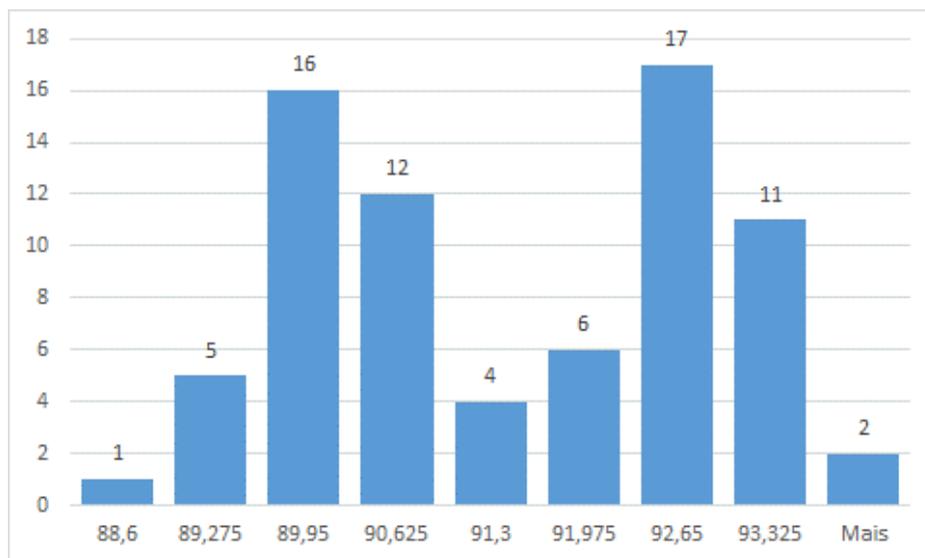
Após o término da segunda ação proposta, os 74 dados coletados foram analisados. O primeiro número que chamou atenção foi o de peças abaixo do limite inferior de especificação. Apesar de o tamanho da amostra ter diminuído em 13 produtos, o número de reprovações aumentou. Os gráficos 3 e 4 demonstram o comportamento do processo, através de um gráfico de dispersão e um histograma, respectivamente.

Gráfico 3 - gráfico de dispersão referente ao primeiro ciclo PDCA



Fonte: Autoria própria (2017)

Gráfico 4 - histograma referente ao primeiro ciclo PDCA



Fonte: Autoria própria (2017)

Comparando o gráfico 3 com o gráfico 1 pode-se perceber uma maior variabilidade do processo de solda manual, apesar de este se aproximar com mais frequência do valor nominal. Porém, o processo continua descentralizado e mais perto do limite inferior de especificação do que deveria. Comparado o gráfico 4 com o 2, observa-se uma distribuição menos parecida com a normal. Além disto, como foi apontado anteriormente, percebeu-se como as peças com abertura menor que 90 se comportaram. De 11 identificadas anteriormente como peças não conforme, a solda manual gerou um total de 21 casos dos 74 dados coletados. Isto significou

um aumento de 12,6% para 28,4% de peças não conforme. A tabela 2 apresenta os indicadores referentes a este primeiro ciclo.

Tabela 2 – Estado do processo referente ao primeiro ciclo PDCA

Indicadores	Dados
Amostra (peças)	74
Menor medida (mm)	88,6
Maior medida (mm)	94
Média (mm)	91,15
Desvio Padrão (mm)	1,52
CP	1,1
CPK	0,25

Fonte: Autoria própria (2017)

Comparando a tabela 2 com a 1 pode-se perceber que a média gerada neste ciclo se aproximou mais do valor nominal. Porém a variabilidade do processo teve um aumento, o que é mostrado pela comparação entre os desvios-padrão. Os indicadores de capacidade de processo também pioraram. Enquanto o CPK teve uma pequena redução, o CP diminuiu de forma considerável, passando de 1,61 para 1,1. Estes dados respaldaram a conclusão de que a causa-raiz não era a encontrada, sendo assim necessário utilizar novamente o ciclo previsto.

4.5. Análise de causa-raiz

Como os indicadores não foram satisfatórios, a ferramenta dos 5 por quês foi novamente aplicada. Em reunião com a equipe escolhida foram apresentados os gráficos e indicadores. A equipe então buscou entender qual mudança deveria ser realizada para que o processo ficasse mais centralizado. O quadro 5 mostra como ficou o resultado da ferramenta aplicada pela segunda vez.

Quadro 5 – Segunda análise de causa-raiz

Afirmção	Por quê
O processo não está centralizado em nenhum dos casos anteriores	Porque a solda altera as dimensões da peça
A solda altera as dimensões da peça	Porque os componentes de reforço (3 e 4) não fixam suficientemente as medidas
Os componentes de reforço (3 e 4) não fixam suficientemente as medidas	Porque os componentes não favorecem a simetria da peça
Os componentes não favorecem a simetria da peça	Porque os dois componentes (3 e 4) têm medidas diferentes
Os componentes 3 e 4 têm medidas diferentes	Porque o componente 4 tem 93mm de medida nominal

Fonte: Autoria própria (2017)

A afirmação inicial poderia ter sido igual a análise passada, porém, foi decidido iniciar com uma afirmação que englobasse os dois cenários analisados anteriormente. O que se percebeu foi que, apesar de começar com uma afirmação parecida, a possível causa-raiz determinada pela ferramenta foi absolutamente diferente da primeira vez em que o método foi realizado, visto que a possível causa-raiz mudou de um estudo de posto para uma análise dimensional de um componente. Um fator que influenciou neste resultado foi a verificação da falta de simetria que o produto final apresentava, sobretudo nas suas extremidades.

Enquanto o componente 3 tem como medida nominal 94 milímetros, a medida do componente 4 era de 93 milímetros. É importante explicar ainda o porquê o componente 4 tinha esta medida nominal: Esta é uma prática comum nos projetos da empresa, onde alguns componentes que tem a espessura maior que 8 milímetros recebem uma folga de meio milímetro em cada lado para facilitar a soldagem do produto final. Por outro lado, esta folga faz com que o produto receba uma quantidade maior de solda, induzindo assim os produtos a sofrerem estas alterações dimensionais, a chamada “distorção da solda”.

4.6. Segundo ciclo PDCA

Este ciclo PDCA teve como objetivo fabricar as balanças com as esfregas com dimensões maiores das utilizadas anteriormente, afim de verificar se a causa-raiz era realmente a encontrada no método dos 5 por quês.

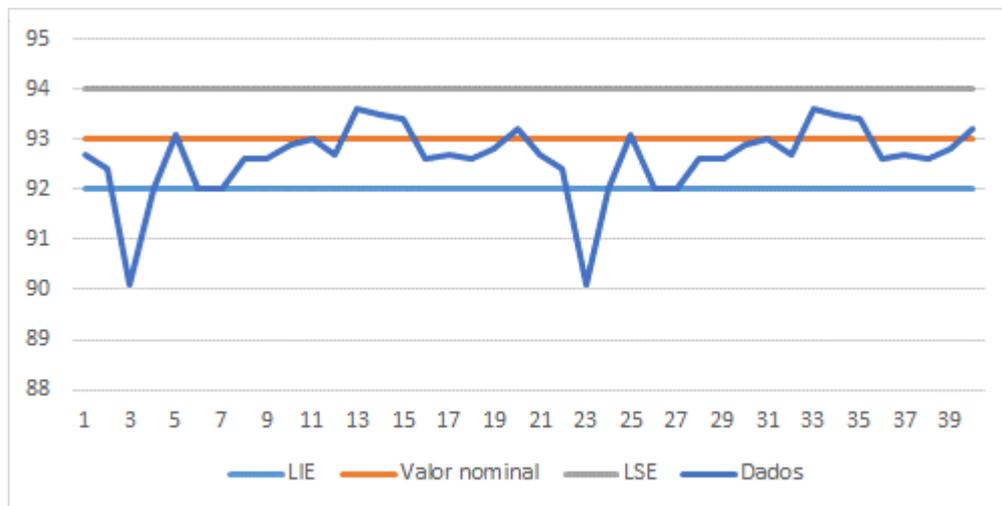
4.6.1. Planejamento

A primeira ação definida foi a de fazer uma análise para demonstrar a variação do processo de corte do componente. Julgou-se importante esta ação pois chapas com maior espessura podem ter algumas variações significativas. A responsabilidade para a coleta e tratamento dos dados ficou para o departamento de qualidade. O tempo estabelecido para execução foi de um dia, pois o componente tinha em estoque, então não precisou esperar o corte do mesmo. A segunda ação prevista ficou para o departamento de engenharia definir a nova medida nominal do componente. O tempo de execução foi de dois dias depois da entrega da primeira ação. Após a decisão, as peças deveriam ser fabricadas tanto no posto do SUMIG quanto no posto de solda manual. Como no ciclo passado não ficou absolutamente claro qual dos postos apresentaria um melhor desempenho, determinou-se que fosse produzido de ambas as formas, por um período de quatro semanas. A responsabilidade de produção e identificação dos lotes ficou para o líder do setor de solda.

4.6.2 Execução

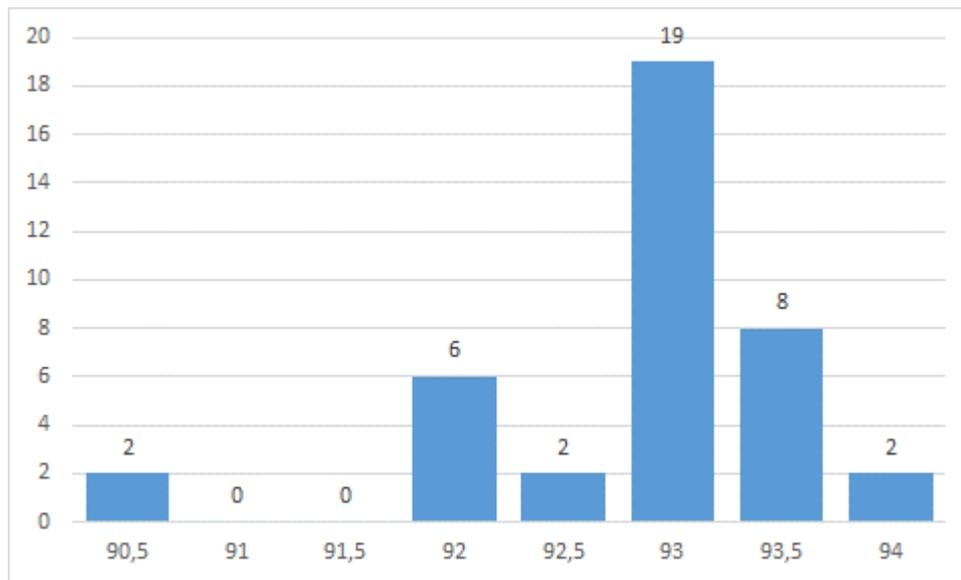
As esfregas que estavam em estoque foram medidas e os dados foram apresentados ao departamento de engenharia. Os gráficos 5 e 6 mostram a dimensão destes componentes.

Gráfico 5 - gráfico de dispersão referente ao processo de corte do componente esfrega



Fonte: Autoria própria (2017)

Gráfico 6 - histograma referente ao processo de corte do componente esfrega



Fonte: Autoria própria (2017)

O tamanho da amostra foi de 40 peças. Destas, 2 estavam em não conformidade, o que representa 5% dos componentes. O processo está levemente deslocado para a parte inferior dos gráficos, se aproximando por mais vezes do limite inferior do que limite superior de especificação. A tabela 3 apresenta os indicadores do processo.

Tabela 3 – Estado do processo de corte do componente esfrega

Indicadores	Dados
Amostra (peças)	40
Menor medida (mm)	90,1
Maior medida (mm)	93,6
Média (mm)	92,63
Desvio Padrão (mm)	0,74
CP	0,45
CPK	0,28

Fonte: Autoria própria (2017)

A tabela 3 revelou uma baixa capacidade do processo de corte. Como o limite de especificação varia em apenas 2 milímetros (limite inferior de especificação é de 92 milímetros e o superior é de 94 milímetros), o desvio padrão de 0,74 revela uma variabilidade muito alta do processo.

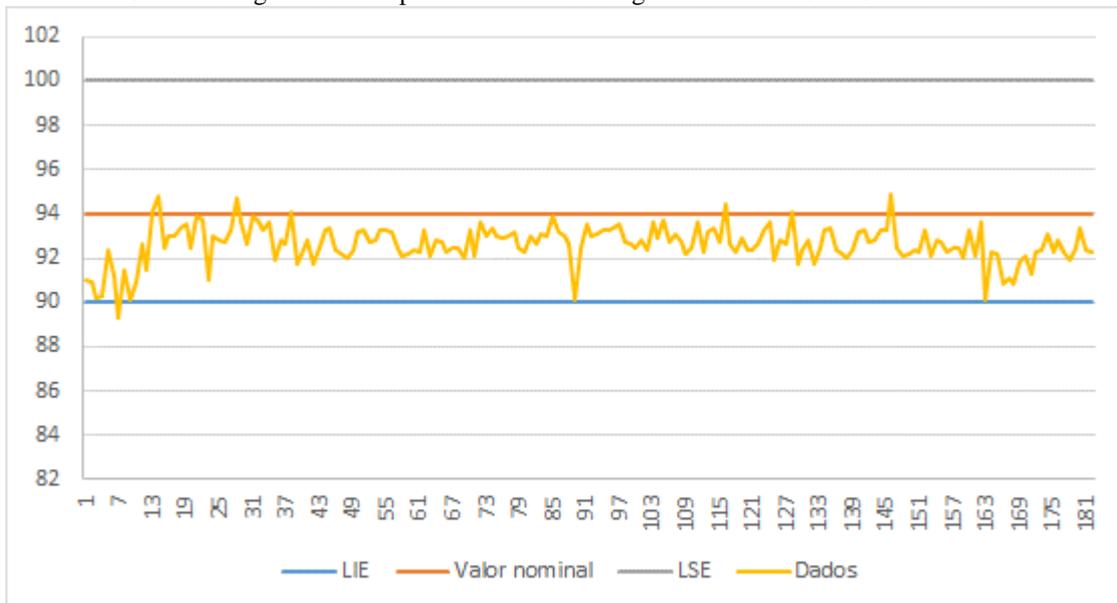
Estas análises foram entregues para o departamento de engenharia. A decisão tomada então foi a de produzir os componentes com o ajuste da máquina em 94,5 milímetros, como forma de compensar a descentralização no processo de corte. Então, o processo de fabricação

se iniciou e aconteceu durante as 4 semanas, sendo realizado diariamente o plano de inspeção proposto.

4.6.3. Checar

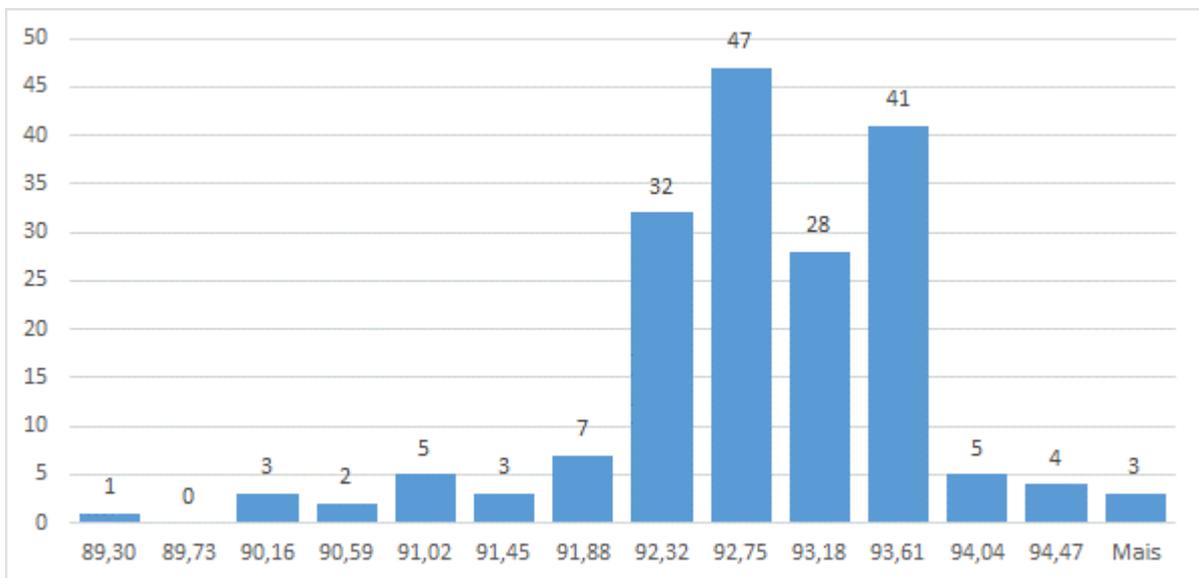
Foram coletados um total de 361 dados, sendo 182 referentes ao processo realizado no posto de solda manual e 179 no processo de solda robótica. Os dados referentes ao processo de solda manual podem ser visualizados pelos gráficos 7 e 8, sendo o gráfico de dispersão e o histograma, respectivamente:

Gráfico 7 – gráfico de dispersão referente ao segundo ciclo PDCA - Solda manual



Fonte: Autoria própria (2017)

Gráfico 8 - histograma referente ao segundo ciclo PDCA - Solda manual



Fonte: Autoria própria (2017)

O gráfico 7 apresenta um comportamento melhor que os gráficos 1 e 3. Pela primeira vez peças com valores acima do valor nominal foram registradas. Além disso, apenas uma peça, das 182 medidas, ficou abaixo do limite inferior de especificação. Isto representa 0,5% do total de dados coletados. Porém o gráfico ainda demonstrou que o processo está descentralizado.

O gráfico 8 mostra que 148 peças estão com medidas de abertura entre 92,32 e 93,61 milímetros. Isto representa 81,3% das peças estão nesta região. Isto faz com que, mesmo que não centralizado, a distribuição de medidas esteja mais parecida com uma distribuição normal, comparando com os gráficos 2 e 4.

A tabela 4 apresenta os principais indicadores para se analisar como o processo se comportou.

Tabela 4 – Estado do processo referente ao segundo ciclo PDCA - Solda manual

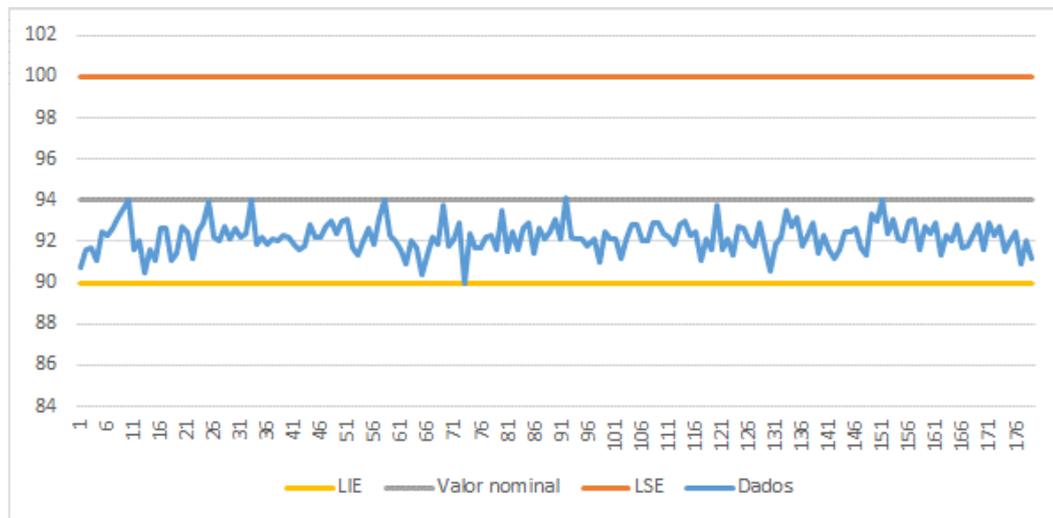
Indicadores	Dados
Amostra (peças)	182
Menor medida (mm)	89,3
Maior medida (mm)	94,9
Média (mm)	92,63
Desvio Padrão (mm)	0,87
CP	1,91
CPK	1

Fonte: Autoria própria (2017)

Como já podia ser observado pelos gráficos 7 e 8, a média está abaixo do valor nominal. Porém a capacidade do processo aumentou, principalmente em relação ao indicador CPK.

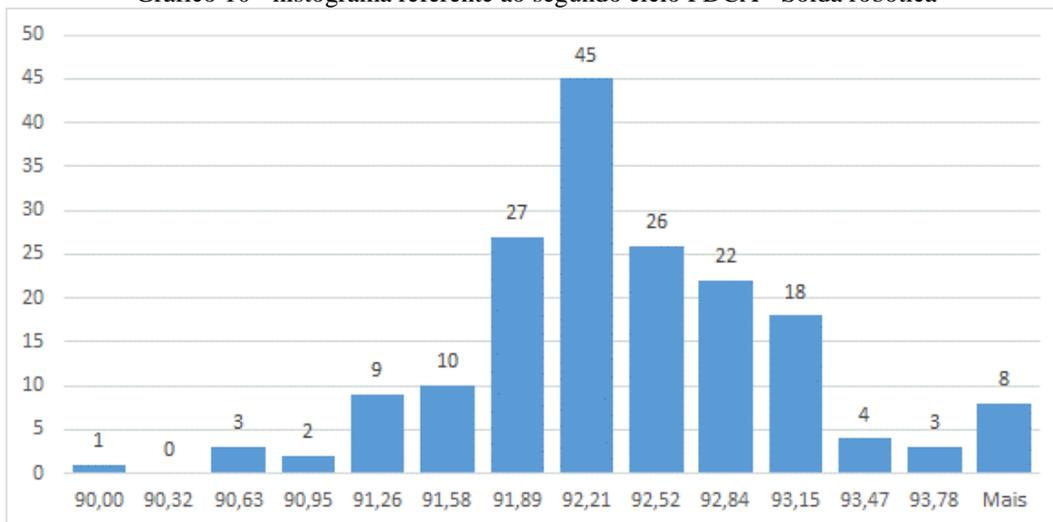
Para analisar como se comportou o processo com esfregas de valor nominal maior no processo de solda robótica, segue os gráficos 9 e 10. Estes representam os dados coletados ao longo das quatro semanas, tempo estipulado de produção pelo plano de ação. O tamanho da amostra foi de 179 peças medidas.

Gráfico 9 - de dispersão referente ao segundo ciclo PDCA - Solda robótica



Fonte: Autoria própria (2017)

Gráfico 10 - histograma referente ao segundo ciclo PDCA - Solda robótica



Fonte: Autoria própria (2017)

Pode-se perceber pelo gráfico 9 que quase todas as peças estão entre o limite inferior de especificação e o valor nominal. Apenas uma peça ficou um pouco acima do valor nominal. O que significa dizer que o processo não está centralizado. Porém, também não foi registrado nenhum caso de peças não conforme. O gráfico 10 relewa que a maior parte dos dados está concentrado na região entre 91,89 e 93,15. Um total de 138 peças, ou 77,1%. A tabela 5 mostra o desempenho do processo através dos indicadores escolhidos.

Tabela 5 – Estado do processo referente ao segundo ciclo PDCA – Solda robótica

Indicadores	Dados
Amostra (peças)	179
Menor medida (mm)	90
Maior medida (mm)	94,1
Média (mm)	92,21
Desvio Padrão (mm)	0,74
CP	2,26
CPK	1

Fonte: Autoria própria (2017)

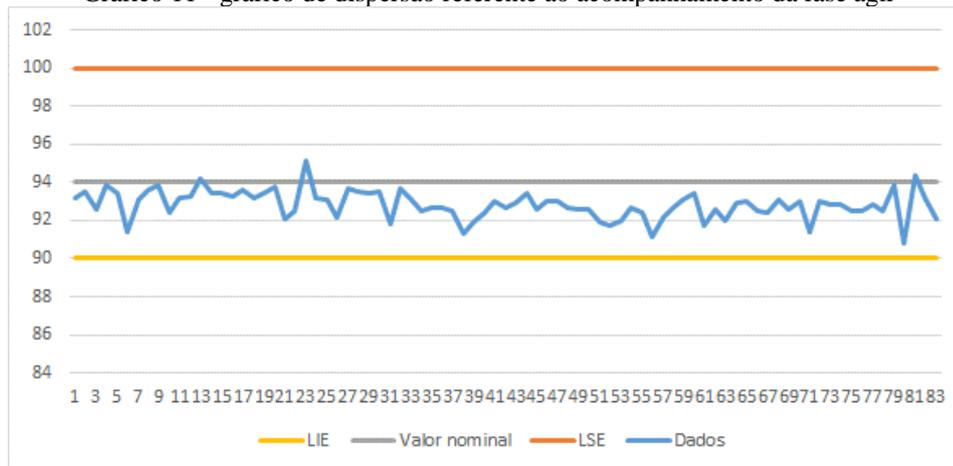
A tabela 5 demonstrou um aumento na capacidade produtiva interessante, tanto no índice de CP, quanto no indicador CPK. Este processo ainda teve uma variabilidade considerada boa, pois o desvio-padrão variou 0,74 mm em um processo que tem uma diferença entre o LIE e LSE de 10 milímetros.

4.6.4. Agir

Após conseguir uma boa evolução entre o início do processo e estes últimos casos analisados, foi então que a equipe se reuniu para decidir o que seria implementado. As ações de melhoria mais relevantes e ainda outras sugestões de melhoria contínua foram propostas. Analisando as tabelas 4 e 5 percebeu-se através dos indicadores e índices de capacidade do processo que a solda robótica gerava um processo com menor variação. Logo, este fluxo de processo foi decidido como padrão. Outra padronização realizada foi a do componente 4 ser alterada para medida nominal de 94mm. Ainda foi sugerido que a última esfrega de cada chapa fosse medida pois ela poderia ser a causadora dos *outliers* encontrados no gráfico 5.

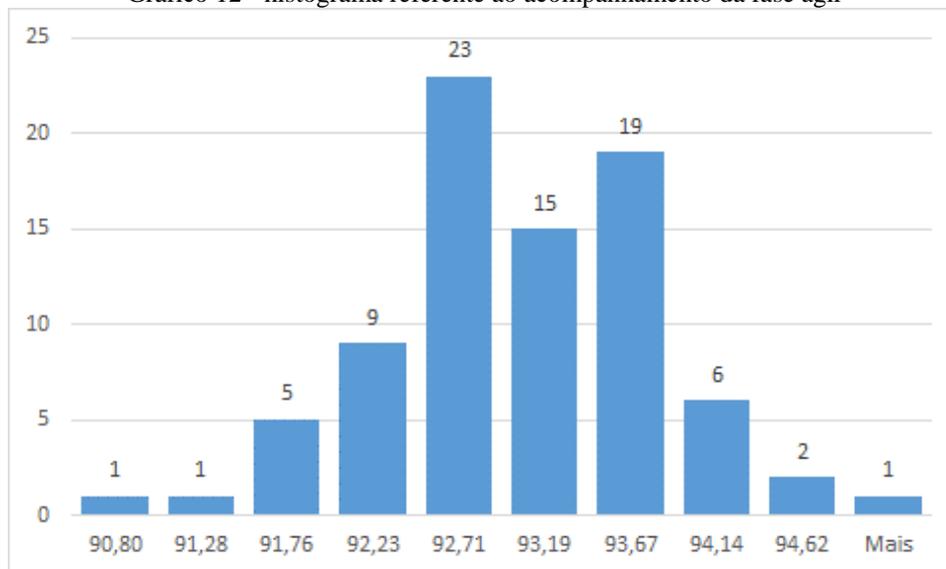
Então, o acompanhamento dessas ações foi verificado através dos gráficos 11 e 12, sendo respectivamente o gráfico de dispersão e histograma. Além disto, a tabela 6 apresenta os principais indicadores desta fase de acompanhamento.

Gráfico 11 - gráfico de dispersão referente ao acompanhamento da fase agir



Fonte: Autoria própria (2017)

Gráfico 12 - histograma referente ao acompanhamento da fase agir



Fonte: Autoria própria (2017)

Tabela 6 – Estado do processo referente ao acompanhamento da fase agir

Indicadores	Dados
Amostra (peças)	83
Menor medida (mm)	90,8
Maior medida (mm)	95,1
Média (mm)	92,83
Desvio Padrão (mm)	0,73
CP	2,28
CPK	1,29

Fonte: Autoria própria (2017)

Pelos gráficos 11 e 12 pode-se perceber que todas as peças medidas estão acima do limite inferior de especificação. Não houve ocorrência de peça não conforme. Além disto, pelo

gráfico 12 percebe-se que 68,7% dos produtos estão entre 92,71 e 93,67. Os indicadores apresentados na tabela 6 representa um processo muito parecido com o da tabela 5. Porém houve melhorias no índice de CPK, por uma maior centralização do processo.

5. Conclusão

A utilização da análise de causa-raiz foi considerada positiva pois foi possível encontrar uma forte relação entre componentes e produto final. Além disto, pode-se então demonstrar uma significativa melhora na centralização e na variabilidade do processo. Isto representou um aumento nos índices de capacidade do processo.

A ferramenta dos 5 por quês foi a utilizada e se adequou com a cultura da empresa pela fácil aplicação e rápido entendimento pela equipe. Porém, a falta de capacidade de se analisar diversos problemas de uma vez fez com que a primeira aplicação não tenha conseguido provar nenhuma relação entre a possível causa-raiz identificada e o processo do produto, atrasando assim o resultado final. De uma maneira geral, concluiu-se que é uma ferramenta satisfatória na identificação de causas simples, principalmente para problemas crônicos.

Por fim, o conhecimento da equipe multidisciplinar formada para participar das diversas reuniões além do comprometimento para a realização das ações propostas foram essenciais para que os resultados positivos pudessem ser demonstrados.

6. Referências

- AGUIAR, Milena Cabral. **Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e exemplificação**. 2014. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Puc-rio, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/23437/23437.PDF>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- BAPTISTA, J.A. - **A Importância Da Análise De Causa Raiz (Root Cause Analysis) Na Melhoria Do Desempenho Da Manutenção Industrial**.
- BATALHA, M.O. - **Introdução à Engenharia de Produção/ Organizador**: Mário Otávio Batalha – Rio de Janeiro – 2008 – Ed. Elsevier.
- CARPINETTI, L.C.R. - **Gestão da Qualidade – Conceitos e Técnicas** 2. Ed., São Paulo, Editora Atlas, 2012.
- CARVALHO, M.M., PALADINI, E.P. - **Gestão da Qualidade: Teoria da Qualidade**. Rio de Janeiro: Campos. 2005.
- COSTA, A.F.B., EPPRECHT, E.K., CARPINETTI, L.C.R. – **Controle Estatístico de Qualidade** 2. Ed., São Paulo, Editora Atlas, 2011.
- GARVIN, D.A., - **Gerenciando a Qualidade** 2. Ed., Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1992.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2007. 175 p.
- LINS, B.F.E. – **Ferramentas Básica da Qualidade**. Brasília: 1993.

UBEROI, R.S.; GUPTA, U.; SIBAL, A. **Root Cause Analysis in Healthcare**. Apollo Medicine, Vol.1, 2004, 60-63.

WEISS, A.E. - **Key business solutions: essential problem-solving tools and techniques that every manager needs to know** Edinburgh Gate, Editora Pearson Education, 2011.