



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AUGUSTO CÉZAR ALVARENGA PEREIRA**

**METODOLOGIA OPEX PARA COLETA, ANÁLISE E SOLUÇÃO DE**  
**PROBLEMAS DE ENGENHARIA**

Viçosa (MG)  
2017.2



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**AUGUSTO CÉZAR ALVARENGA PEREIRA**

**METODOLOGIA OPEX PARA COLETA, ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS  
DE ENGENHARIA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Prates.

**AUGUSTO CÉZAR ALVARENGA PEREIRA**

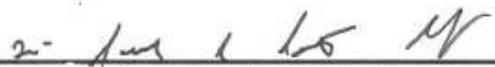
**METODOLOGIA OPEX PARA COLETA, ANÁLISE E SOLUÇÃO DE  
PROBLEMAS DE ENGENHARIA.**

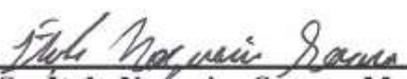
Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 20 de Novembro de 2017.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Mauro de Oliveira Prates- Orientador**  
**Universidade Federal de Viçosa**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr José Carlos da Costa Campos - Membro**  
**Universidade Federal de Viçosa**

  
\_\_\_\_\_  
**B. Sc. Ítalo Nogueira Soares- Membro**  
**Universidade Federal de Viçosa**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus por ter me concedido saúde e força para correr atrás dos meus sonhos e pelas pessoas que colocou em minha vida, em especial meus pais Lúcio Vitório e Maria José e meu irmão Otávio Vitório.

Aos meus pais agradeço em especial pelo carinho, união, proteção e preocupação que demonstraram para mim e a meu irmão. Agradeço também a meu irmão Otávio por toda amizade, companheirismo e apoio que vem me dando. Vocês são a razão e o motivo dessa vitória.

Não poderia deixar de agradecer nesse momento a minha namorada Andréa, pelo companheirismo, suporte, pelas suas correções e incentivos. Sem você essa monografia não teria sido concluída.

Agradeço a Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Elétrica, em especial ao professor Mauro Prates, pela oportunidade de fazer o curso e por todo conhecimento acadêmico e pessoal transmitido durante esses anos de graduação.

Também gostaria de agradecer aos meus amigos de Viçosa, em especial aos da Elétrica 2011, por toda amizade, momentos de estudos e diversão que passamos juntos, com certeza vocês fizeram a graduação muito mais fácil e divertida.

Por último, porém não menos importante, gostaria de agradecer a Whirlpool, pelo estágio e conhecimento proporcionado, e aos meus Gestores Artur Shim e Tales Moraes por todo ensinamento, carinho e preocupação demonstrada.

Assim sendo, gostaria de agradecer a todos pela ajuda e companheirismo, não tenho dúvidas em dizer que sem vocês a realização desse trabalho não seria possível. A todos, o meu muito obrigado.

## RESUMO

No atual cenário global, competitivo e de crise que as empresas convivem, mais do que nunca diferenciar-se da concorrência e alcançar um desempenho superior é norma para a continuidade de uma companhia. Assim sendo, eliminar desperdícios, adotar tecnologias avançadas, desenvolver novos produtos e buscar melhoria contínua nos processos de produção tornaram-se pré-requisitos para a manutenção dos negócios. Para conquistar tais objetivos, as empresas vêm se esforçando em obter a gestão eficaz dos seus recursos para sustentar sua posição no mercado e praticar ações que possibilitem a análise dos processos e a busca das melhorias de performance. Devido a esses desafios, este trabalho visou demonstrar como a metodologia e o conceito do OPEX (Programa 6 sigma da Whirlpool), sistemática voltada para solução de problemas crônicos e melhoria de processos com o auxílio da estatística, pode ser aplicado na manufatura de uma indústria da linha branca, contribuindo para diminuir ou eliminar as variações nos processos empresariais e contribuindo para o sucesso da empresa. Este trabalho foi focado no entendimento do processo OPEX como maneira de justificar sua utilização no ambiente corporativo e concluir que a ferramenta possui grande valia na melhoria do desempenho, qualidade e performance de uma linha de produção, ocasionando redução dos desperdícios, melhora da qualidade e conseqüentemente aumento da competitividade da empresa no mercado. Com o objetivo de demonstrar a aplicação da metodologia, o problema de pé soltando nos produtos de cocção de uma empresa da linha branca foi analisado sobre a metodologia OPEX. Como resultado, houve a compreensão do problema e foram tomadas ações para prevenir o defeito oriundo da interferência entre o pilar e o pé do produto.

**Palavras-chave:** Opex. 6 sigma. Estatística.

## ABSTRACT

In the current global frame of competition and crisis that companies face, differentiate from the competitors and achieve superior performance is the norm for the company's continuity. Therefore, eliminating waste, adopting advanced technologies, developing new products and looking for continuous improvement in production processes have become requirements for business maintenance. In order to achieve these objectives, companies have been working hard to effectively manage their resources to sustain their market position and to take actions that enable process analysis and the search for the improvement of the performances. Due to these challenges, this work aimed to demonstrate how the methodology and the concept of the OPEX (6-Sigma Program from Whirlpool), a systematic approach to solve chronic problems and process improvement with the help of statistics, can be applied in the manufacture of a white line industry, helping to reduce or eliminate variations in the business processes and contributing to the company's success. This work was focused on the understanding of the OPEX process as a way to justify its use in the corporate environment and to conclude that the tool has a great value in improving the performance and quality of a production line. In order to demonstrate the application of the methodology, the problem of standing loose in the cooking products of a white lane company was analyzed with the OPEX methodology. As a result, the problem was understood and actions were taken to prevent the defect in interference between the abutment and the standing loose of the product.

**Key words:** OPEX. 6 sigma. Statistic

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Seis Sigma .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 OPEX .....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 PDSA .....</b>	<b>13</b>
3.3.1 Planejar ( <i>Plan</i> ) .....	14
3.3.2 Fazer ( <i>Do</i> ) .....	16
3.3.3 Estudar .....	17
3.3.4 Agir .....	19
<b>3.4 Mapa de raciocínio .....</b>	<b>19</b>
<b>3.5 Mapa de processo .....</b>	<b>22</b>
<b>3.6 Mapa de produto .....</b>	<b>24</b>
<b>3.7 Controle estatístico .....</b>	<b>24</b>
<b>3.8 Causa comum .....</b>	<b>25</b>
<b>3.9 Causa especial .....</b>	<b>26</b>
<b>3.10 Cartas de controle .....</b>	<b>27</b>
<b>3.11 Árvores e estratégias de amostragem .....</b>	<b>30</b>
<b>3.12 Carta de controle R .....</b>	<b>31</b>
<b>3.13 Carta de controle X-Barra .....</b>	<b>33</b>
<b>3.14 Capacidade de processos .....</b>	<b>34</b>
<b>3.15 Análise do sistema de medição – MSE .....</b>	<b>36</b>
3.15.1 Estabilidade do sistema .....	37
3.15.2 Discriminação .....	37
3.15.3 Comparando a variação dentro do subgrupo com a variação fora dos subgrupos ..	38
<b>4 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Mapeamento do problema .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2 Descrição do problema .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3 Detecção do problema .....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 Cartas de controle .....</b>	<b>44</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>

<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>
--------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A sobrevivência das empresas em um cenário de crise, mercado competitivo e mundo globalizado passa a ser cada vez mais determinado pela satisfação dos clientes, guiados pelos pilares de preço, serviços e qualidade. Para Falconi (1992, p.2) “um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente”. Através de soluções para reduzir custos e aumentar qualidade dos produtos, a empresa aumenta sua competitividade e conseqüentemente o orçamento, permitindo direcionar o capital economizado para ações produtivas e de crescimento, como capacitação e modernização.

Para reduzir os gastos, é importante realizar boas avaliações, a fim de tomar medidas estratégicas que otimizem a receita e que garantam a manutenção de um bom desempenho da produção. Mas como reduzir custos da empresa sem perder a qualidade do serviço? Esses quesitos são possíveis por meio da melhoria da capacidade do processo, que é limitado em grande parte por inúmeras variações. As limitações e variações dos processos conduzem freqüentemente ao aumento de defeitos, falhas, custos e tempos de ciclos de produção. Com a finalidade de eliminar a variação, é necessário aplicar o conhecimento certo.

Neste contexto de busca por uma maior qualidade nas empresas, a metodologia Seis Sigma vem se consolidando no mundo dos negócios, indo de encontro com as necessidades impostas pelo mercado. O Seis Sigma é um método que se concentra na diminuição ou eliminação da incidência de erros, defeitos e falhas em um processo. A metodologia visa também reduzir a variabilidade do processo (SMITH; ADAMS, 2000) e pode também ser aplicada na maioria dos setores da atividade econômica. Alcançar o Seis Sigma significa reduzir defeitos, erros e falhas a zero e atingir a quase perfeição no desempenho dos processos (ANIDRIETTA, 2002). A metodologia associa um rigoroso enfoque estatístico a um arsenal de ferramentas que são empregadas com o objetivo de caracterizar as fontes da variabilidade para demonstrar como esse conhecimento pode controlar e aperfeiçoar os resultados do processo (WATSON, 2001). As ferramentas dentro do Seis Sigma podem ser aplicadas desde aqueles problemas aparentemente simples e que podem facilmente ser medidos até aqueles que nos levam a trabalhosas análises gráficas e desenvolvimento de experimentos, um trabalho totalmente ligado a pesquisa porém aplicado na prática.

O grande desafio que as empresas enfrentam é o de transformar questões reais e problemas que incomodam no dia a dia em números, que posteriormente serão levados ao campo estatístico, onde serão analisados, decifrados, solucionados e em seguida trazidos para o mundo

real em forma de ações de melhoria, correção, prevenção e controle (MATHEUS *et al.* 2013). Normalmente o entendimento de estatística fica limitado a controles produtivos diários ou simples gráficos para comparação de resultados contra metas propostas. Isso muitas vezes cria uma dificuldade para as empresas em solucionar questões que aparentemente são do dia a dia, ou variações declaradas por muitos como “inerentes ao processo” e que demandam investimento

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho é destacar a importância do OPEX na gestão da qualidade de uma indústria do ramo de linha branca, bem como implementar tal ferramenta no processo de substituição de pés do fogão defeituosos.

Dado o objetivo geral, têm-se como objetivos específicos:

1. Aplicar a ferramenta OPEX dentro de uma empresa do setor da linha branca;
2. Realizar uma análise crítica e ações de correção e melhorias dentro da indústria em estudo;
3. Mostrar como a metodologia OPEX reduz o desperdício dentro da indústria em estudo;

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Seis Sigma

O programa Seis Sigma nasceu em 1987, com o objetivo de capacitar a Motorola para enfrentar seus concorrentes, que fabricavam produtos de qualidade superior a preços menores. A partir de 1988, quando a Motorola foi agraciada com o prêmio Nacional de Qualidade Malcolm Baldrige, o Seis Sigma tornou-se conhecido como o programa responsável pelo sucesso dessa organização. (WERKEMA, 2004)

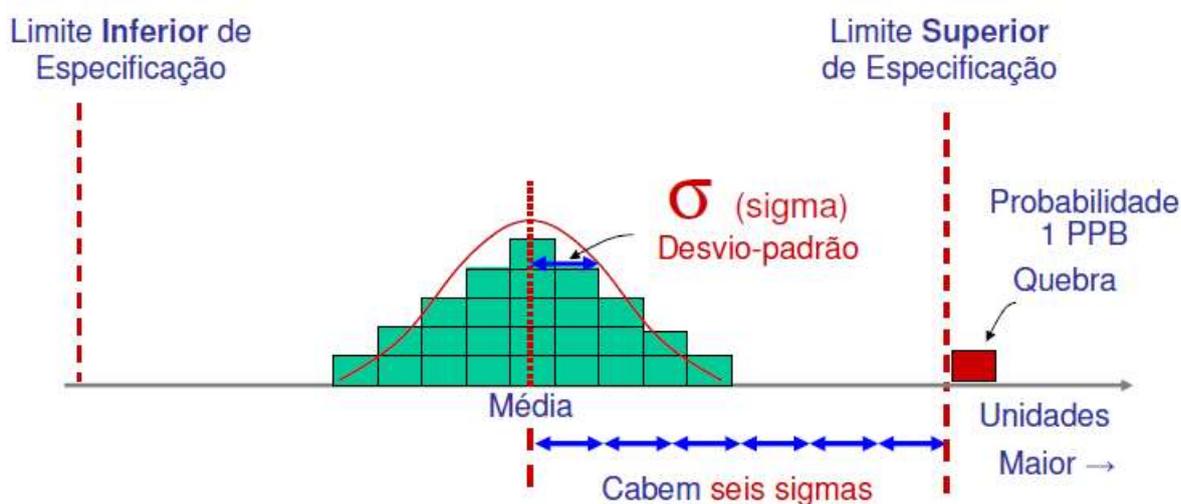
Com a melhoria que o processo proporcionou, outras empresas começaram a adotar esse conceito Seis Sigma e obtiveram resultados notáveis, onde se destacou a empresa General Electric com resultados impressionantes. Com isso, um crescente interesse pela metodologia passou a ser observado. (JONATHAN, 2013)

Com a intenção de ampliar o conceito de Seis Sigma para demonstrar o alcance e a flexibilidade desta ferramenta, Pande *et al.* (2001) definiu Seis Sigma como um sistema abrangente e flexível para alcançar, sustentar e maximizar o sucesso empresarial. Ele visa entender as falhas no desempenho da produção para transformá-las em melhorias, aperfeiçoando assim esses processos falhos. A maior meta do seis sigma é atingir uma performance de classe mundial com foco nas necessidades dos clientes e na eliminação das falhas (ECKES, 2001). Com o auxílio de poderosas técnicas e ferramentas estatísticas o seis sigma anseia atingir 3,4 falhas em um milhão de peças produzidas, ou seja, um desempenho de 99,9997% de eficiência (CORONADO; ANTONY, 2002).

Segundo Coronado e Antony (2002) em termos de negocio serve como uma estratégia de melhoria, pois com as reduções de desperdícios e diminuição dos custos de qualidade se consegue aumentar as margens de lucro da empresa e se vê uma melhora da eficiência e eficácia dos processos e operações num geral.

A letra Sigma (grafia do grego  $\sigma$ ) para Campos (1999) é utilizada como sendo uma variação em torno da média de uma tolerância. Para empresas com nível de qualidade seis sigma é aceitável apenas 3,4 defeitos em um milhão de peças produzidas.

Estatisticamente falando, de acordo com Behara et al. (1995), seis sigma ( $6\sigma$ ) expressa a ocorrência de 6 desvios-padrão entre a média e os limites de especificação inferior (LIE) e superior (LSE). Um processo de nível seis sigma ocorre quando podem ser encontrados entre a média de uma distribuição e os limites estabelecidos pelo cliente (limites de especificação) seis desvios-padrão, conforme ilustra figura 1.



**Figura 1:** Significado gráfico do Seis Sigma. Fonte: Flemming (2008).

Para Perez Wilson (1999) o Seis Sigma pode atuar de várias formas nas empresas. Pode ser usado como Benchmark, como um parâmetro de operações, produtos da empresa e de comparação do nível de qualidade dos processos, quando o número de sigmas é baixo, tais como em processo 2 sigmas. (Duarte, 2011)

### 3.2 OPEX

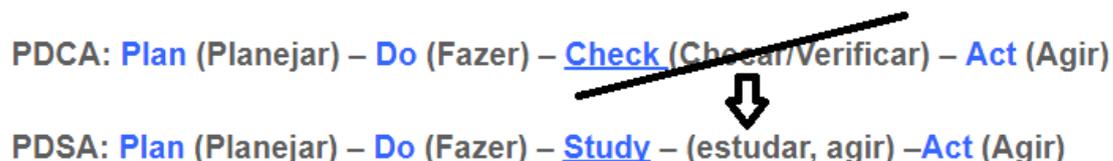
O programa Operational Excellence (OPEX) é o programa 6 sigma global da Whirlpool. O programa OPEX utiliza-se da abordagem 6 sigma para desenvolver melhores produtos, processos e alcançar os objetivos de melhoria de qualidade e produtividade. Ele capacita pessoas, equipando-as com poderosas ferramentas, conceitos e métodos de prevenção e resolução de problemas, tem foco na melhoria contínua, combinando o conhecimento de produto e de processo com o desenvolvimento de habilidades na coleta e análise de dados.

Com uma metodologia disciplinada, o Seis Sigma da Whirlpool utiliza ferramentas estatísticas clássicas, organizadas em um método de solução de problemas, denominado PDSA e que passa por quatro fases: Planejar (P – *Plan*), Fazer (D – *Do*), Estudar (S – *Study*), Agir (A – *Act*).

### 3.3 PDSA

O PDSA, foi introduzido por William Edward Deming, o “guru do gerenciamento da qualidade”. Ela surge a partir da necessidade de aprendizado e melhoria de um produto ou

processo. O PDSA pode ser entendido como uma evolução natural do PDCA, porque vai além de uma verificação de processo C (*Check*) (Figura 2). O ciclo passou para um âmbito maior, ele não visa apenas o check, você vai estudá-lo (S - *Study*), analisá-lo e tentar adequar o mesmo para atingir a melhoria contínua. Essa ferramenta veio complementar o que já existia no PDCA. ("Qual a diferença entre PDCA e PDSA?", 2015)



**Figura 2:** Ciclo do PDCA e PDSA

Existem diversas metodologias para a solução de problemas. O PDSA é um exemplo. Um primeiro método para a solução de problemas é a “tentativa e erro”. Esse método é útil e pode ser a melhor abordagem quando se está perto da solução e pequenos ajustes são baratos. Porém ele não é recomendado quando não há uma perspectiva sobre o domínio da solução, e aí, diversas direções poderão ser tomadas, não conduzindo à solução. (Fonseca, 2006) A tentativa e erro também pode causar uma satisfação imediata tão logo a primeira causa seja descoberta, e assim, o desejo de continuar buscando e entendendo outras causas e como elas interagem pode acabar (PALADY; OLYAI, 2002).

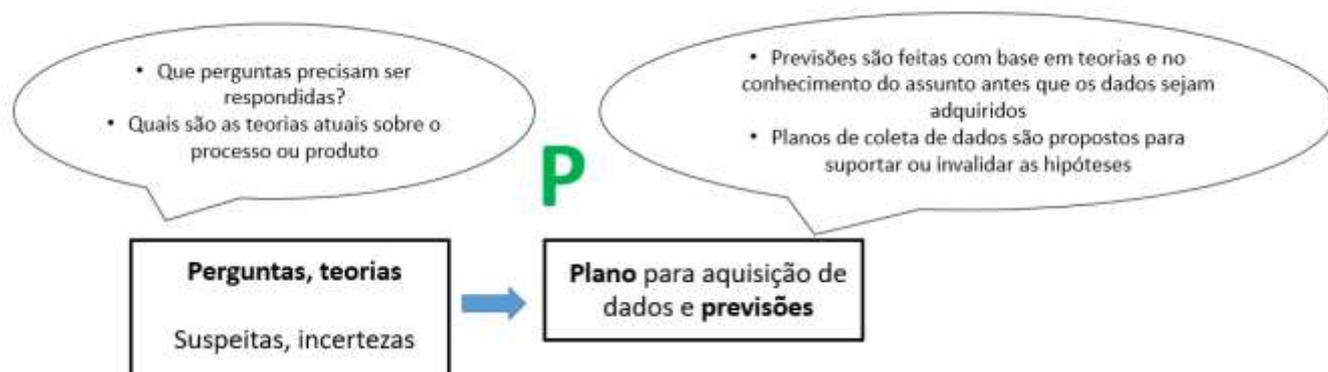
A solução de problemas crônicos requer uma abordagem estruturada, passando pela identificação e descrição do problema, seguido por uma investigação detalhada das causas e terminando com o desenvolvimento e confirmação da solução (PALADY; OLYAI, 2002). Com o objetivo de solucionar os problemas crônicos, o OPEX se utiliza do PDSA, ferramenta estatística clássica organizada em um método de solução de problemas e seguindo um rigoroso modelo, que garante uma seqüência ordenada, lógica e eficaz no gerenciamento dos projetos.

Cada projeto seis sigmas deve completar as quatro fases em ordem cronológica, definindo-as da seguinte maneira.

### 3.3.1 Planejar (*Plan*)

A primeira etapa do PDSA (planejar) consiste na definição do problema, devendo ser a mais específica possível (Figura 3). Nesta etapa são identificados os projetos OPEX que serão desenvolvidos na empresa, com o objetivo de satisfazer as expectativas dos clientes em termo de qualidade, preço e prazo de entrega. Os clientes do projeto são todos aqueles que são afetados

pela baixa qualidade de um produto ou serviço entregue, ou seja, podem ser os clientes finais, os funcionários ou departamentos internos. Atender a essa expectativa está intimamente ligada a capacidade de eliminar a variação dos processos.



**Figura 3:** Etapa Plan do PDSA

A identificação de projetos Seis Sigma permite à empresa reconhecer como seus processos afetam sua lucratividade e permite definir quais desses processos são críticos para o negócio da empresa. Para não haver um desperdício de tempo e dinheiro, deve-se fazer uma avaliação histórica do problema, para entender se o processo deve ou não ser realizado e o quanto ele deve ser melhorado. (QSP, 2017)

Abaixo são descritas as principais informações que devemos responder nessa etapa do projeto:

- a) Localizar o problema (Quem)
- b) Objetivos para o teste (Onde)
- c) Perguntas – Teorias – Previsões (O que)
- d) Planejar a execução dos testes, incluindo a coleta de dados proposta. (Quando)

Com o primeiro ponto (a) localiza-se o problema, ou seja, toda vez que se observa um resultado indesejado em um processo. A identificação do problema, delimita o campo de atuação, proporcionando uma maior velocidade e eficiência na resolução do problema. Portanto, deve-se entender essa etapa como um ponto crucial para que o problema possa ser bem definido e esclarecido. (PEREIRA, 2013).

No segundo momento do Planejar, deve ser estabelecida uma meta para o projeto (b). As metas serão os objetivos estratégicos da organização, tais como maior participação no

mercado, retornos sobre investimentos mais elevados, redução do nível de defeitos, aumento de produção, melhoria da qualidade, aumento do giro de estoque, melhor previsão de demanda, dentre outros. (AYRES, 2009)

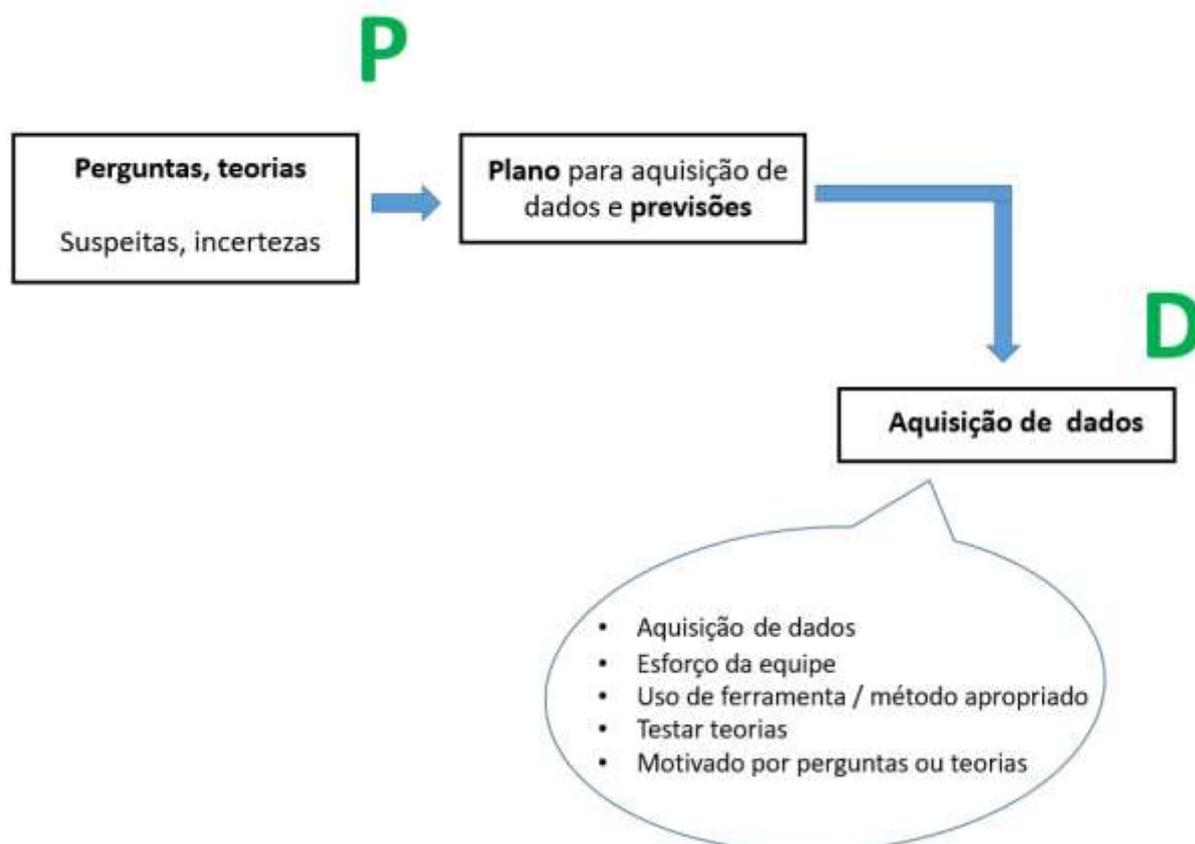
Após a identificação do problema e definido os objetivos para o estudo, inicia-se a etapa de entendimento do problema, no qual investiga-se as características do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vistas (c). Para isso, deve-se realizar perguntas, formula-se teorias, suspeitas e incertezas. Que perguntas precisam ser respondidas? Quais são as teorias atuais sobre o processo ou produto? As previsões feitas com base nas teorias e no conhecimento prévio, nos levam a refletir e entender o delta entre a nossa percepção, nosso conhecimento e a realidade do problema. Na quarta etapa, realiza-se um plano de ação para coleta de dados (d), com o objetivo de suportar ou invalidar as hipóteses.

### 3.3.2 Fazer (*Do*)

Nesta fase tem-se como objetivo executar o plano traçado na etapa Planejar, seguindo o procedimento operacional padrão (Figura 4). Deve-se educar e treinar todos os membros envolvidos, previamente a execução, para que tudo saia conforme o planejado e que haja comprometimento. Neste passo, ocorre a coleta de dados, para futuras análises na fase de estudo (*Study*) (NEVES, 2007).

Após a elaboração do plano de ação, deve-se realizar a divulgação do plano a todos os funcionários da organização, bem como o treinamento necessário para que o plano possa atingir seus objetivos. As ações estabelecidas no plano de ação devem ser executadas de acordo com o plano definido na fase anterior, dentro do cronograma estabelecido, e serem devidamente registradas e supervisionadas (ANDRADE; MELHADO, 2003).

Esta etapa concentra-se em executar o plano de ação proposto. Com o plano de ação amplamente divulgado e ciente da compreensão de todos os envolvidos, o plano deverá ser colocado em prática. Para tanto, durante a execução do plano de ação, deve-se efetuar verificações periódicas no local em que as ações estão sendo realizadas, com a finalidade de manter o controle e eliminar possíveis dúvidas e ruídos que possam ocorrer ao longo da execução. Todas as ações e os resultados, bons ou ruins, devem ser registrados com a data em que foram tomados, para alimentar a etapa seguinte do ciclo PDCA (etapa *Study*) (CAMPOS, 2004).



**Figura 4:** Etapa DO do PDSA

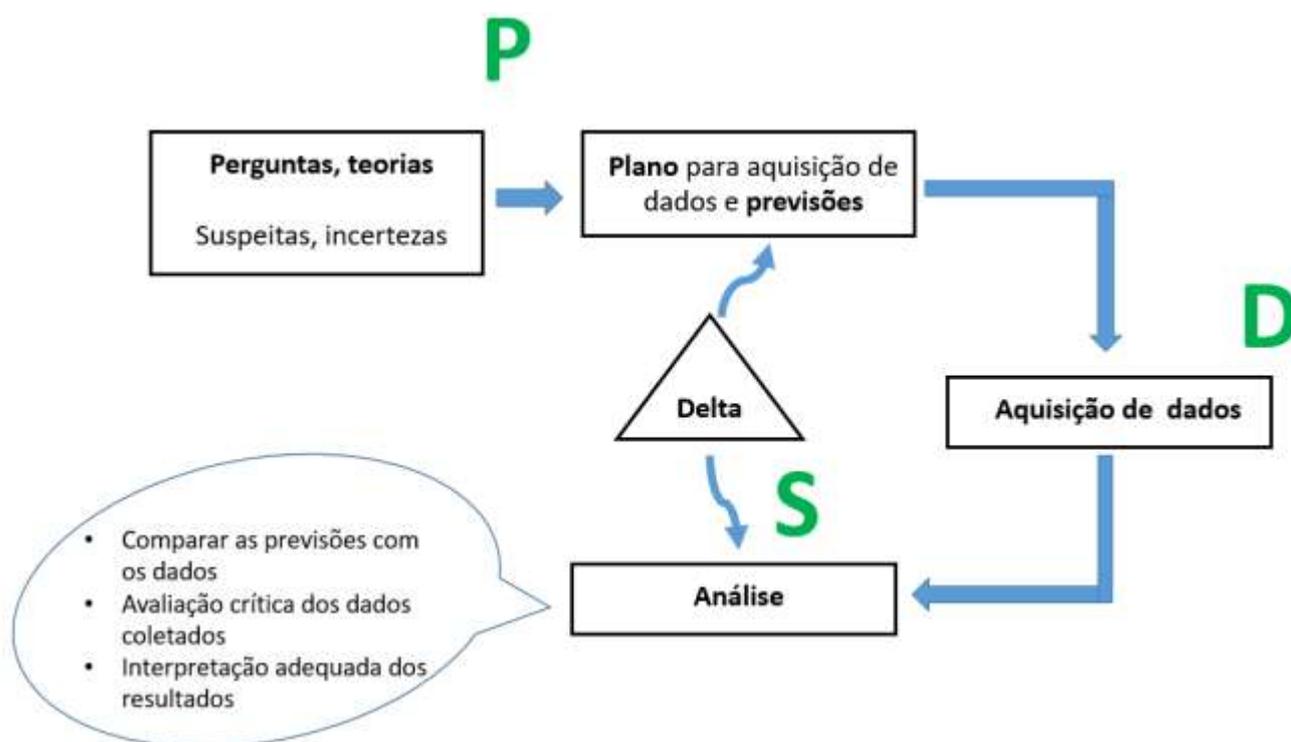
### 3.3.3 Estudar (*Study*)

A etapa Estudar (*Study*) é voltada ao entendimento do problema prioritário, ou seja, à descoberta de suas causas fundamentais e sua quantificação (WERKEMA, 2004) (Figura 5). Os dados coletados na fase *Do*, são estudados utilizando-se ferramentas da qualidade e ferramentas estatísticas. As causas óbvias e não óbvias que influem no resultado do processo devem ser determinadas, e as fontes de variações nos processos devem ser descobertas (ROTONDARO, 2008). Caso o delta entre as previsões realizadas na etapa plan e os dados estudados na etapa study forem grandes, observa-se um gap de conhecimento do processo e portanto deve-se voltar a etapa plan para se estudar o processo a fim de validar o conhecimento adquirido.

Inicialmente, deve-se realizar o estudo do processo ao qual o problema prioritário está relacionado, para um melhor entendimento do fluxo e para identificar as oportunidades de melhoria existentes. Em seguida, através do uso de ferramentas estatísticas, estudar os dados do problema prioritário e de seu processo gerador, com o intuito de identificar os fatores que produzem variações nos resultados relacionados ao problema e como se dá a manifestação dessas variações. (WERKEMA, 2004).

Van der Pol (2011) diz que, ao serem realizadas essas atividades, inicia-se o estudo das prováveis causas do problema. O levantamento dessas causas pode ser realizado através de um *Brainstorming* e os resultados podem ser organizados em um Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Afinidades ou Diagrama de Relações, com a finalidade de permitir melhor visualização e entendimento.

Segundo Aguiar (2006), as causas potenciais do problema prioritário identificadas devem ser priorizadas e, posteriormente, realizada a coleta de dados para a verificação das causas que contribuem significativamente para o problema, pois o tratamento de um número menor de causas é mais simples e pode levar ao alcance de todas as metas específicas. Por fim, a relação entre as causas identificadas e as características de interesse no problema é mensurada, de forma a priorizar as causas com maior grau de influência sobre a ocorrência do problema (DUARTE, 2011).

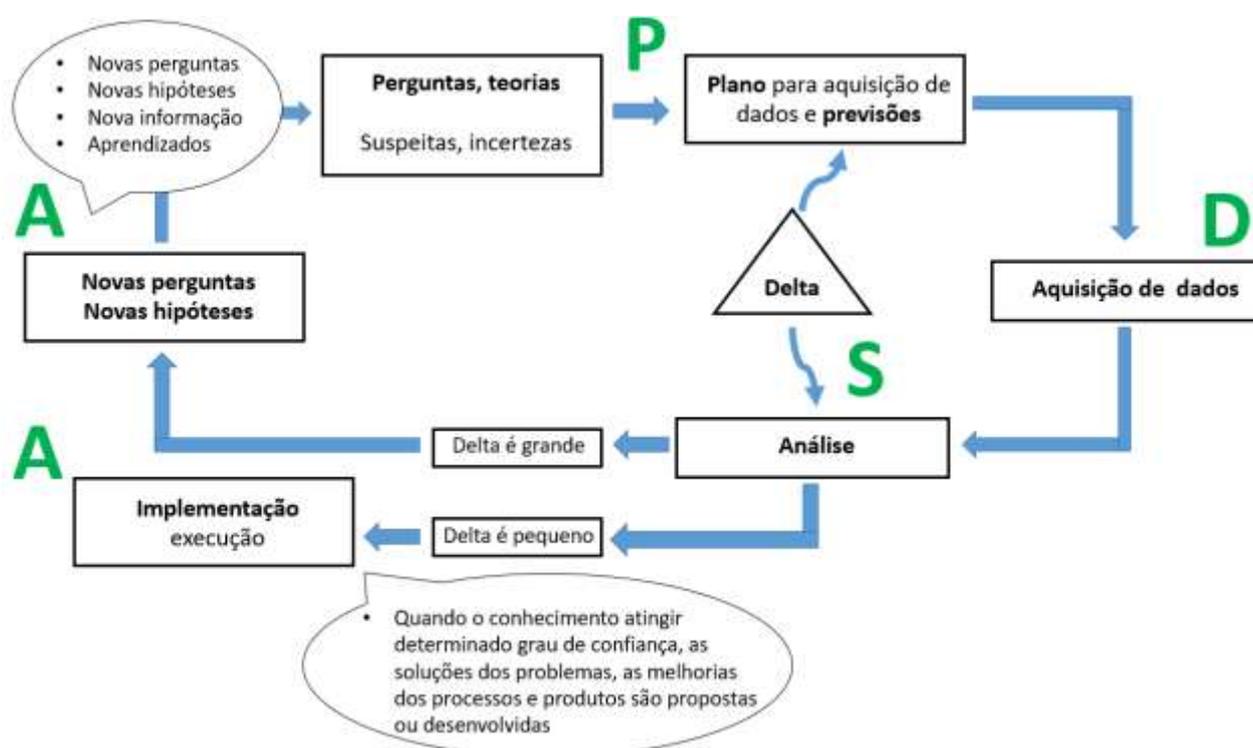


**Figura 5:** Etapa Study do PDSA

### 3.3.4 Agir (*Act*)

Na etapa Act (A), com as análises realizadas na etapa Study, tem-se duas alternativas (Figura 6). A primeira consiste no sentido de adotar como padrão o plano proposto, no caso das metas terem sido alcançadas; ou na segunda opção, atuar corretivamente sobre as causas que não permitiram que a meta fosse atingida e recomeçar o ciclo PDSA. Ao final dessa fase, origina-se a primeira fase do próximo PDSA (gira o ciclo, voltando ao planejamento), permitindo que se faça o processo de melhoria contínua. De acordo com Lima (2006), a conexão entre a última e a primeira fase (Agir - Planejar) é denominada circularidade do Ciclo PDSA.

Para Lima (2006), o Ciclo PDSA padroniza as informações do controle da qualidade, evita erros lógicos nas análises e torna as informações mais fáceis de se entender. Pode também ser usado para facilitar a transição para o estilo de administração direcionada para melhoria contínua. Para Silva (2006), a metodologia PDSA é um método de gestão que representa o caminho para que as metas delineadas sejam alcançadas



**Figura 6:** Etapa agir do PDSA

### 3.4 Mapa de raciocínio

O mapa de raciocínio é um documento dinâmico da forma de raciocínio durante a execução de um projeto. Trata-se de uma ferramenta importante no programa OPEX,

oferecendo a visão do todo, a visão dos detalhes, a visão dos caminhos alternativos e os detalhes dentro de cada caminho. Além disso, registra todo o conhecimento existente, servindo como instrumento de comunicação.

O mapa de raciocínio deve documentar:

- a) O objetivo geral do trabalho;
- b) Conhecimento existente;
- c) Questões a serem respondidas e prioridades;
- d) Atividades a serem realizadas para responder as perguntas;
- e) Respostas para as perguntas efetuadas, novas perguntas e novas respostas;
- f) Ferramentas e metodologias utilizadas para responder as perguntas;
- g) Conhecimento adquirido a partir do trabalho efetuado;
- h) Direção do trabalho futuro (WERKEMA, 2000).

Um único caminho é raramente o caminho certo para todos os problemas e dificuldades envolvidas. Investigação em torno de um caminho único geram questões múltiplas, que por sua vez, geram novos caminhos de investigação. Com o mapa é possível entender qual o ramo mais crítico, onde precisa concentrar os esforços. A geração e investigação de questões múltiplas são a essência do “Mapa de raciocínio”. Não existe uma única maneira de elaborar o mapa, já que se pode obter um novo conhecimento e melhorar o entendimento sobre o processo de diversas formas. Porém, existe um conjunto de características principais que certificam que o mapa será eficiente no auxílio da condução do trabalho. Tais elementos são (HILD *et al.*, 2000):

- 1) Iniciar com o objetivo global (quantificável) do trabalho;
- 2) Alternativas principais e questões iniciais a serem consideradas (perguntas lideram, respostas seguem);
- 3) Caminhos alternativos e e subseqüentes trabalhos desenvolvidos;
- 4) Priorização das perguntas a serem respondidas;
- 5) Todas as perguntas e atividades realizadas devem ser associadas ao objetivo inicial do trabalho;
- 6) Ferramentas e metodologias utilizadas para procurar as respostas às questões;
- 7) Dinâmico, deve ser atualizado conforme o trabalho avança.

Hild *et al.* (2000) propôs um fluxograma para auxiliar na elaboração do mapa de raciocínio (Figura 7).

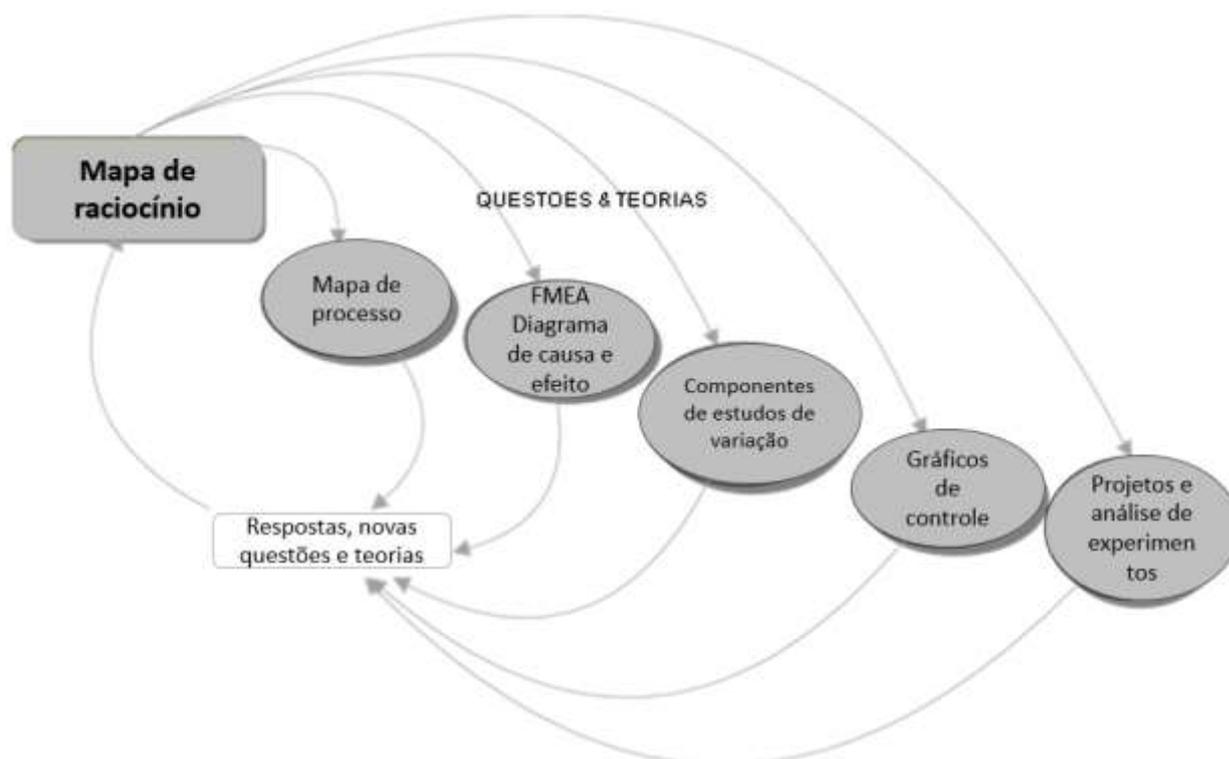


**Figura 7:** Fluxograma do mapa de raciocínio. Fonte: HILD *et al.* 2000.

No fluxograma o conhecimento existente, idéias ou suspeitas motivam perguntas, o Brainstorm é uma ferramenta que pode auxiliar nessa etapa. As perguntas direcionam o tipo de informação necessária e as ferramentas a serem utilizadas no projeto, as quais, por sua vez, proporcionam respostas e novas perguntas referentes a desdobramentos futuros do projeto.

A relação entre as muitas ferramentas estatísticas existentes e o mapa de raciocínio é ilustrado na Figura 8. A construção de conhecimento sequencial baseia-se na capacidade de perguntar e responder as perguntas certas, desenvolver e testar teorias, compreender e documentar suposições não testadas. Os mapas de pensamento contribuem para melhorar a geração de ideias, comunicação, aplicação de ferramentas eficientes e solucionar problemas de forma eficiente.

O propósito do mapa de raciocínio é ser usado com um documento vivo, guiando os caminhos do trabalho através de perguntas que precisam ser respondidas e o novo conhecimento, conforme for sendo gerado. O mapa torna visível o raciocínio por trás das decisões dos processos e do projeto de produto, essa visibilidade leva a autocrítica e permite a revisão do projeto pelos pares ou superiores, o que possibilita a identificação e correção dos pontos fortes e fracos no raciocínio, além de compartilhar o conhecimento.



**Figura 8.** Relação mapa de processo e ferramentas estatísticas. Fonte: Hild *et al.* (2000)

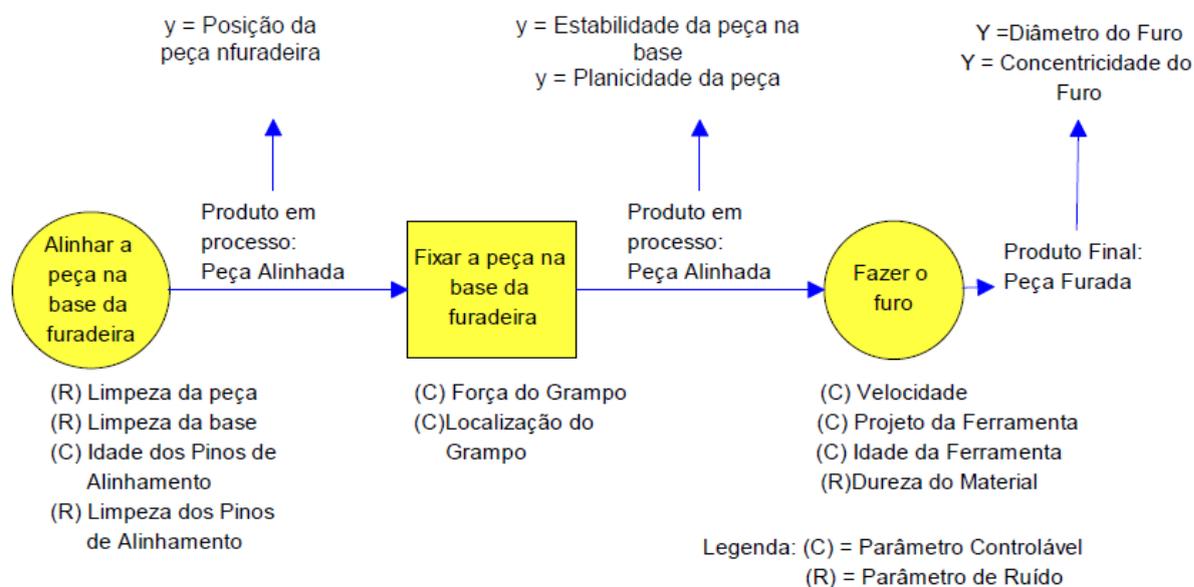
### 3.5 Mapa de processo

O Mapa do Processo é uma representação gráfica, sequencial e detalhada do processo que apresenta informações operacionais e administrativas das atividades de um processo, com o objetivo de analisar todos os seus parâmetros, sejam eles controláveis ou não. É a base para a caracterização do processo, e onde ocorre a determinação dos relacionamentos existentes entre os parâmetros de processo e os parâmetros de produto. Após a listagem de todos os parâmetros de processos, utilizam-se estratégias de coleta de dados cuidadosamente planejados para identificar os parâmetros críticos do processo. Se a caracterização do processo indica que a variação em um parâmetro controlável ou em um parâmetro de ruído exerce um impacto significativo no rendimento do produto, o parâmetro é identificado como um parâmetro crítico.

O mapa do processo deve documentar o processo “como ele é” e não “como ele deveria ser”. Todas as etapas, que agregam valor ou não, devem ser incluídas. O mapa deve auxiliar a realização da etapa de quantificação e priorização do processo e deve ser revisto com frequência.

Segundo Werkema (2000), os mapas de processo servem para documentar o conhecimento sobre os processos. Para isso, devem descrever os limites do processo, as

entradas e saídas, principais atividades e tarefas, e os parâmetros, conforme exemplificados na Figura 9.



**Figura 9:** Exemplo de mapa do processo. Fonte: WERKEMA, 2000.

Segundo Sanders et al. [7], a criação dos mapas de processo devem incluir de forma geral, algumas etapas. São elas:

- 1) Entender e representar o fluxo do Processo;
- 2) Adicionar as entradas e saídas de cada etapa (Y) o que medir;
- 3) Incluir os parâmetros de processo (y's) ajudam a definir porque a etapa do processo existe e ajudam a monitorar a qualidade das etapas anteriores do processo;
- 4) Desenvolver lista de parâmetros de processo (x's) usualmente uma característica mensurável de um processo que pode afetar o desempenho do produto, tais como temperatura, pressão, velocidade e tempo;

No mapa de processo também são identificados os parâmetros de processo (x) controláveis (C), variáveis que podemos escolher para manipular os diferentes níveis, e parâmetros de ruído (R), variáveis que não podemos ou escolhemos não controlar. Com este mapa em mãos, o engenheiro poderá planejar experimentos para entender os problemas de qualidade e atraso de projeto de forma geral. (USEVICIUS, 2004)

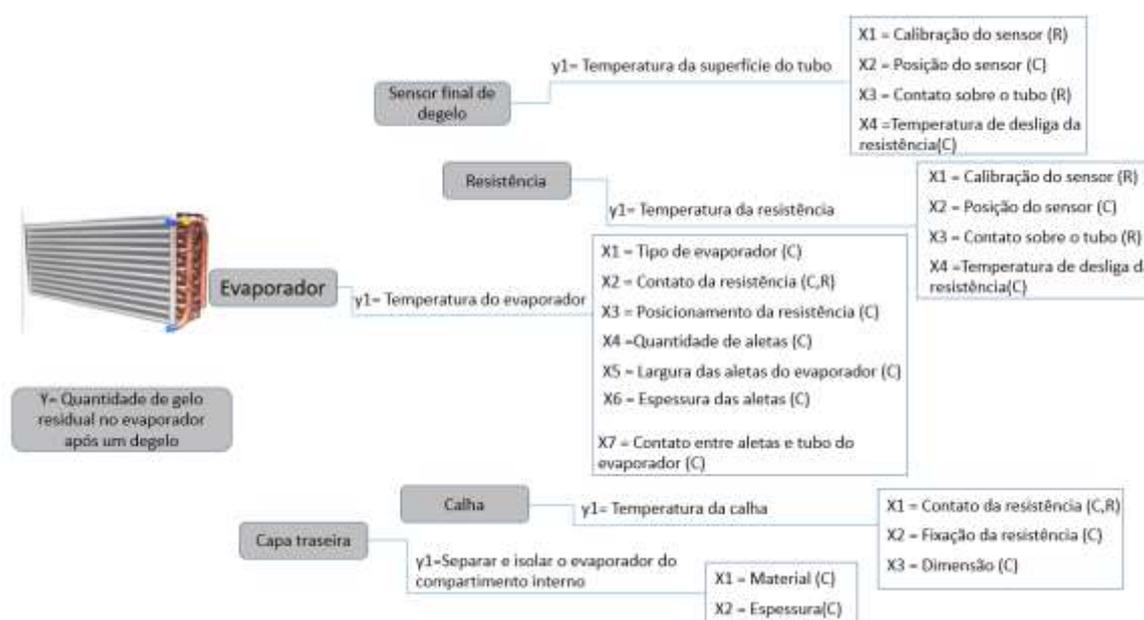
### 3.6 Mapa de produto

O Mapa de Produto é similar ao Mapa de Processo em vários aspectos. A maior diferença é que no Mapa de Produto desenha-se o que se sabe, o que se pensa que sabe ou o que se suspeita que sabe. Através do mapa de produto pode-se observar como sub-montagens e componentes se interagem. As etapas para a criação de um Mapa de Produto são:

- 1) Criação do Diagrama de Blocos (Os blocos são ligados de modo a mostrar como os componentes fazem interface uns com os outros, quanto maior o detalhe, maior a possibilidade de identificar potenciais de melhoria e elaborar boas perguntas);
- 2) Y's (O que vou medir? O que o produto irá entregar ao consumidor?);
- 3) y's (coisas que afetam o Y em física, química, mecânica, etc. É algo se possa medir);
- 4) x (afetam os y's, são tipicamente características individuais da peça);
- 5) Categorizar os parâmetros (x's);

Ruído (R) são fatores inerentes aos processos/produto ou funcionamento do produto, e parâmetros controláveis (C) são fatores possíveis de manipular.

Um exemplo de Mapa de Produto pode ser visto na Figura 10.



**Figura 10:** Exemplo de mapa de produto.

### 3.7 Controle estatístico

Um processo em controle estatístico ou estável é aquele que possui variabilidade associada apenas às causas comuns, ou seja, ele segue um certo padrão previsível ao longo do tempo.

Segundo Taguchi, um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente às especificações, atingindo o valor alvo com a menor variabilidade possível em torno dele. Todo produto possui uma combinação de elementos que descrevem sua adequação ao uso. Esses elementos são chamados características da qualidade ou indicadores de desempenho. (RIBEIRO; CATEN, 2012)

Inevitavelmente existirão variações das características de um produto para outro, em função da variabilidade do processo. Se compararmos duas unidades quaisquer, produzidas pelo mesmo processo, elas jamais serão exatamente idênticas. De acordo com Costa *et al.* (2005) 15, a expressão “variabilidade do processo” refere-se às diferenças existentes entre as unidades produzidas. A diferença será tão maior, quanto maior for a variabilidade do processo.

De acordo com as características de qualidade de um produto necessárias ao cliente, estas devem ser transformadas em grandezas mensuráveis, de forma que seja possível medir a qualidade intrínseca, o custo, a entrega e a segurança do produto fornecido. Segundo Montgomery (1985), essas características variáveis se devem a diversos tipos: físicas (comprimento, peso, voltagem), sensoriais (aparência e cor), ou de orientação temporal (manutenção e durabilidade).

De acordo com Chambers e Wheeler apud Lima *et al.* (2007), a utilização de métodos estatísticos não garante a solução de todos os problemas de variações, porém é uma maneira racional, lógica e organizada de determinar onde eles existem, sua extensão e a forma de solucioná-los. Esses métodos podem ajudar na obtenção de sistemas que assegurem uma melhoria contínua da qualidade e da produtividade ao mesmo.

Para o gerenciamento da variabilidade do processo, é importante investigar as fontes da variabilidade e como elas podem agir sobre o processo. O primeiro passo é distinguir entre causas comuns e causas especiais. (RIBEIRO; CATEN, 2012) explica que a confusão entre causas comuns e especiais leva à maior variabilidade e a custos mais elevados. A atuação em causas comuns como se fossem causas especiais podem levar a um aumento indesejado da variação, além de representar um custo desnecessário.

### **3.8 Causa comum**

As causas comuns são causas de variabilidade inerente do processo que atuam de forma aleatória. Essa variabilidade representa o padrão natural do processo, devido ser resultante do

efeito cumulativo de pequenas fontes de variabilidade que acontecem diariamente, mesmo quando o processo está trabalhando sob condições normais de operação. Quando na presença apenas de causas comuns, ou seja processo de variação sob controle, deve se mudar o próprio processo, produto ou ambos para se reduzir variação.

Devido à variabilidade inerente do processo, as medidas individuais de uma característica de qualidade são todas diferentes entre si, mas quando agrupadas elas tendem a formar um certo padrão. Quando o processo é estável, esse padrão pode ser descrito por uma distribuição de probabilidade, como podemos ver na Figura 11. (RIBEIRO; CATEN, 2012)



**Figura 11:** Distribuição de probabilidade referente a variação de causa comum

### 3.9 Causa especial

As causas especiais são causas que não são pequenas e não seguem um padrão aleatório (por exemplo, erros de set up, problemas nos equipamentos ou nas ferramentas, um lote de matéria prima com características muito diferentes, e etc.). São consideradas falhas de operação. Elas fazem com que o processo saia fora de seu padrão natural de operação, ou seja, provocam alterações na forma, tendência central ou variabilidade das características de qualidade

As causas especiais geralmente são corrigidas por ação local e, por isso, são de responsabilidade dos operadores. Na Figura 12, apresenta-se um resumo das causas comuns (CC) e especiais (CE) e a ação mais adequada para cada caso

		Variação Verdadeira	
		CE	CC
Ação Escolhida	CE	<p><b>Correto!</b> Ver e Agir Fácil.</p>	<p><b>Errado!</b> Excesso de ajuste Piora o problema.</p>
	CC	<p><b>Errado!</b> Custa Caro \$ Desperdício.</p>	<p><b>Correto!</b> Estude o sistema(OPEX) Difícil.</p>

**Figura 12:** Resumo das causas comuns e especiais

Enfatizando os conceitos apresentados acima, pode-se dizer que tudo que acontece em determinado processo ou produto é devido a uma de duas possíveis causas:

- a) Causas comuns: aleatórias e inerentes ao processo
- b) Causas especiais: Também chamadas de assinaláveis, são relativas a acontecimentos que podem ser apontados (falhas de operadores, quebra de máquina, erro de digitação, etc.)

Logo, como será melhor explicado nas seções seguintes, quando os engenheiros estão trabalhando em determinado problema, deve-se inicialmente determinar a existência de causas especiais e proceder com a eliminação das mesmas, antes de aplicar mais ferramenta Seis Sigma ou tirar conclusões precipitadas. (BORGES, 2008)

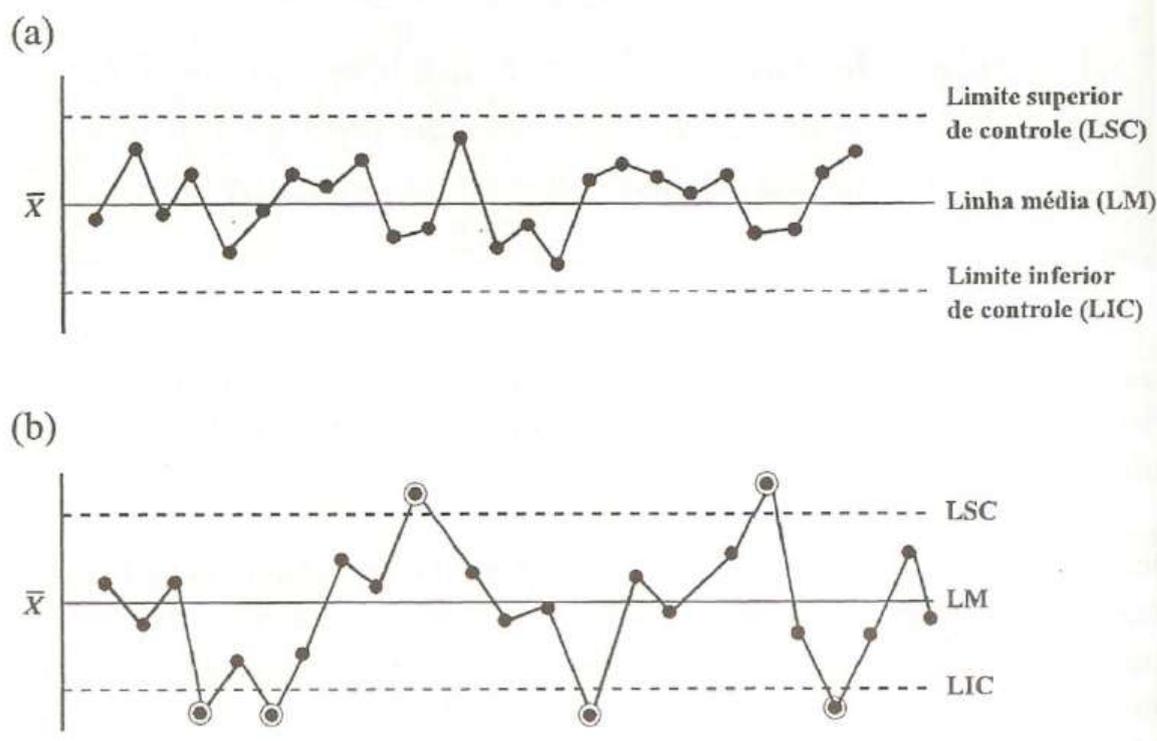
### 3.10 Cartas de controle

Distinguidas variações criadas apenas por causas comuns e as devido a causas especiais, as Cartas de Controle foram criadas a fim de visualizar essas duas formas de variação nos processos e o comportamento que o mesmo apresenta. De acordo com Montgomery (2004), trata-se de uma representação gráfica (Figura 13) da qualidade que foi mensurada a partir de uma amostra, relacionada com o tempo ou com o número da amostra.

Segundo o autor, o valor médio da característica analisada é representado por uma linha central, na qual o processo está sob controle, onde somente causas aleatórias estão agindo. O gráfico também apresenta uma linha correspondente ao limite superior e uma linha referente ao limite inferior, as quais irão delimitar uma área que compreende valores de um processo

ainda sob controle. Qualquer ponto que extrapole tal região indica que o processo está fora de controle, demandando estudos para verificar as causas presentes e ações corretivas.

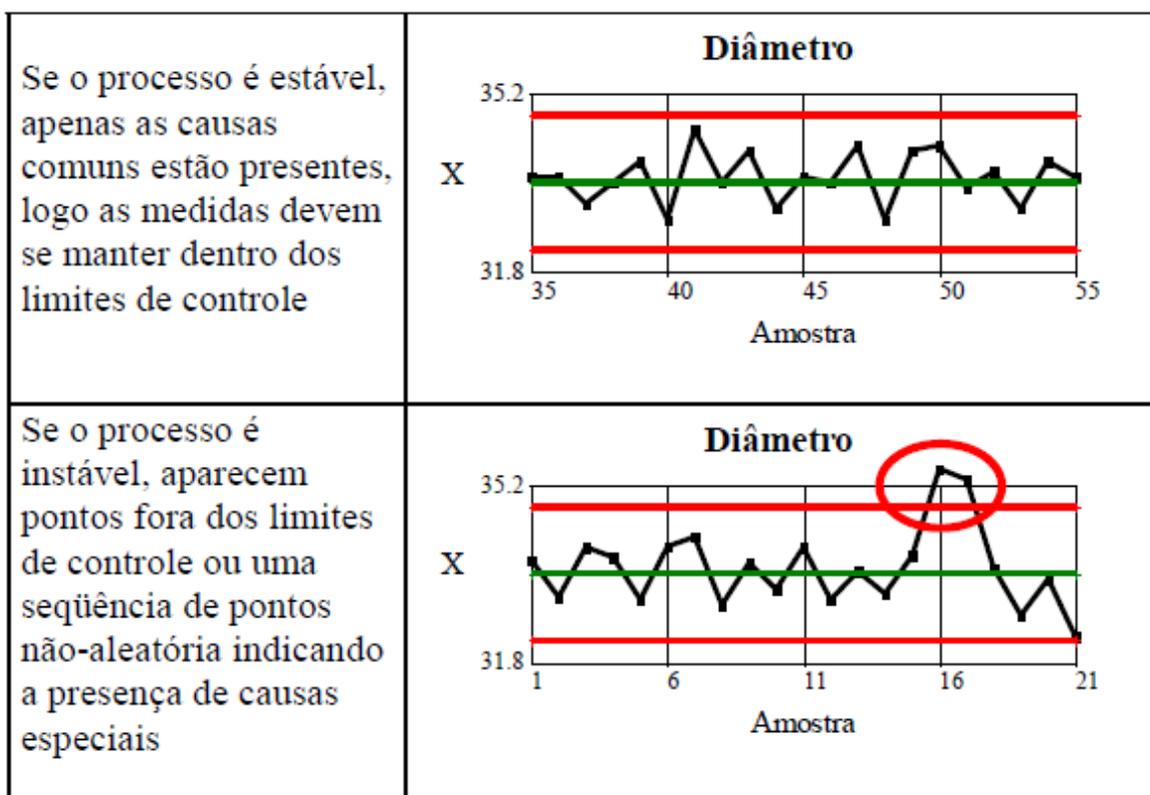
(MUCIDAS, 2010)



**Figura 13:** Exemplos de Gráfico de Controle. (a) Processo sob controle. (b) Processo fora do Controle. Fonte: Werkema (2000)

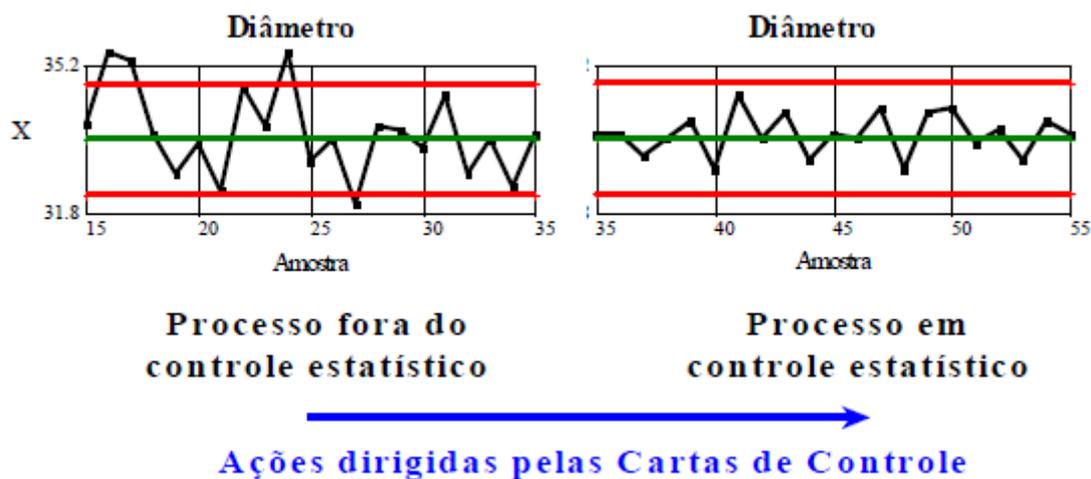
No início do estudo das cartas de controle, o processo é colocado em funcionamento e são coletados dados referentes à característica em estudo. Esses dados podem ser as dimensões de uma peça, a resistência de um componente ou peso de saco de arroz. A coleta dos dados é realizada com uma certa frequência e tamanho de amostra definidos de acordo com a característica em estudo. Logo após, calcula-se os limites de controle associados às causas comuns de variabilidade. Na Figura 14 pode-se visualizar os limites de controle em um exemplo de carta de controle.

Uma vez definidos os limites de controle, os dados continuam sendo coletados e são plotados na carta de controle. Se apenas as causas comuns estão presentes, o processo é estável e o esperado é que os pontos plotados permaneçam dentro dos limites de controle. Se causas especiais estão presentes, o processo é instável e são esperados pontos fora dos limites de controle ou padrões não aleatórios na seqüência de pontos, indicando a provável presença de causas especiais.



**Figura 14:** Cartas de controle de um processo estável versus instável

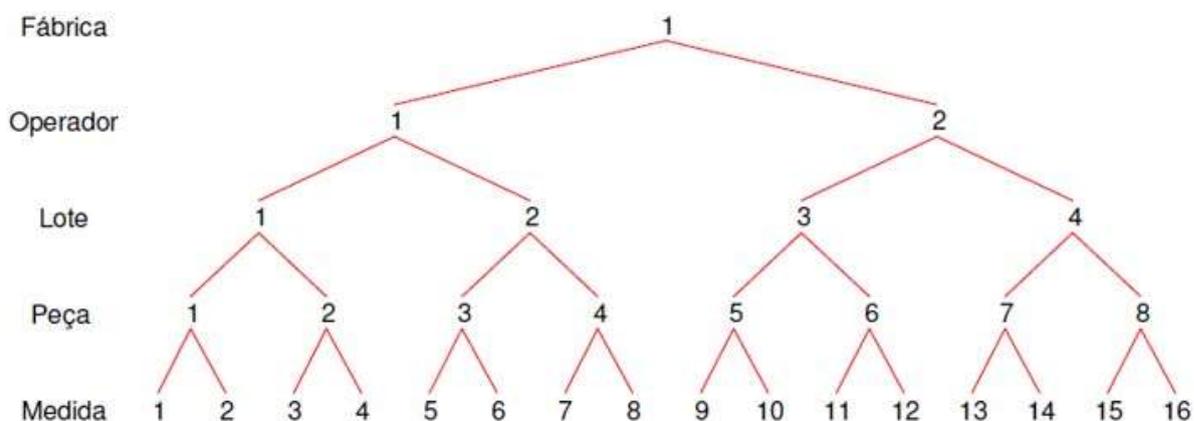
Em geral, no início do monitoramento, os processos apresentam várias causas especiais, como pode ser visto na Figura 15. Então, acontecem ações dirigidas pelas cartas de controle, e aos poucos as causas especiais vão sendo identificadas e eliminadas uma a uma. Com o passar do tempo, obtém-se um processo estável e previsível.



**Figura 15:** Ações dirigidas pelas cartas de controle

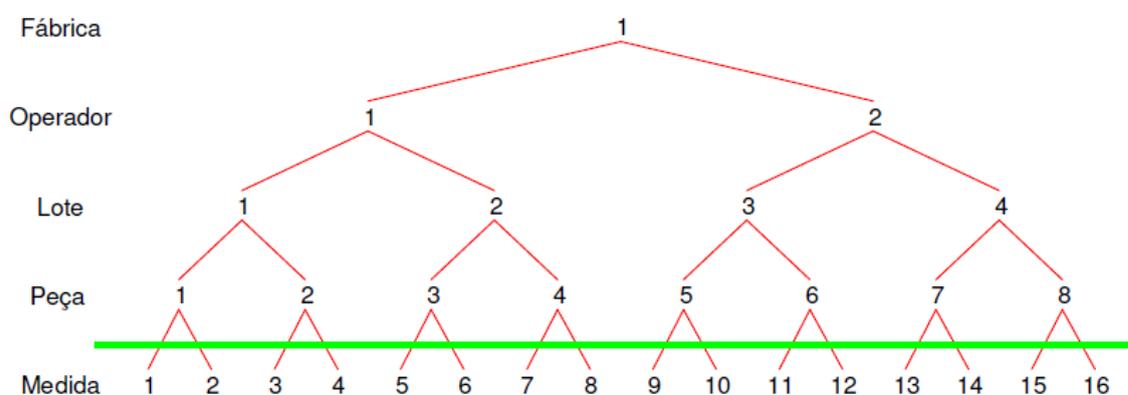
### 3.11 Árvores e estratégias de amostragem

A árvore de amostragem é uma ferramenta gráfica que detalha o experimento respondendo algumas perguntas, como por exemplo quem executou, quais e quantos lotes de matéria prima, quais períodos do dia, quais máquinas, etc. Durante sua montagem deve-se considerar as possíveis fontes de variação, que é tudo aquilo que pode ser a causa de variações. As possíveis fontes de variação são conhecidas como os 6 Ms (máquinas, materiais, medidas, métodos, meio ambiente e mão de obra). (BORGES, 2008) Um exemplo de árvore de amostragem pode ser visto na Figura 16.



**Figura 16:** Exemplo de Árvore de Amostragem. Fonte: Borges, 2008.

Não existe apenas uma forma possível de elaborar a árvore de amostragem, porque cada árvore baseada na sua construção será capaz de responder determinadas perguntas. Os dados devem ser coletados em pequenos subgrupos (amostras) de tamanho constante. O subgrupo é o nível da árvore que será analisado no momento. Analisando a Figura 16 por exemplo, o primeiro subgrupo que seria analisado seria o da Medida. Pode-se representar este primeiro subgrupo a ser analisado por meio da Figura 17.



**Figura 17:** Representação do subgrupo de Medida. Fonte: Borges, 2008.

Vale ressaltar que, quanto maior o tamanho da amostra, maior a sensibilidade e melhor se detecta pequenas mudanças no processo. Porém, quanto maior for a amostra maior será o custo de amostragem. Normalmente, 3 a 6 peças consecutivas formam uma amostra adequada. As peças dentro de um subgrupo são produzidas em sequência e portanto em condições muito similares e isso permite afirmar que a variabilidade dentro de cada subgrupo será primariamente devido às causas comuns de variabilidade.

Os subgrupos devem ser coletados a uma frequência periódica. Por exemplo, um subgrupo a cada 15 minutos, ou dois subgrupos por lote, etc. A frequência de amostragem deve ser definida de forma que exista uma chance potencial de mudança dos resultados (causa especial) de um subgrupo para o outro. A frequência das amostras deve ser selecionada de forma a maximizar a chance de ocorrer diferenças entre amostras. (RIBEIRO; CATEN, 2012)

Deve-se notar que pode “subir” na árvore, mudando o que é denominado de subgrupo. Ou seja, após analisar o subgrupo Medida na Figura 17, pode-se analisar o subgrupo Peça. Para tal análise, se calcula a média das medidas e ao obtermos um valor apenas por peça, pode-se estudar este subgrupo.

Após a elaboração da árvore de amostragem, inicia-se a montagem da carta de controle, com o objetivo de responder o que varia e o que não varia dentro do subgrupo, e o que varia e o que não varia entre os vários subgrupos

### 3.12 Carta de controle R

Durante a análise dos experimentos, a carta R é a primeira a ser criada. Esta carta indica se o nosso sistema está com indícios de causas especiais ou se está em princípio estatisticamente sob controle. Em outras palavras, a presença de uma causa especial neste gráfico, ou seja, ponto fora dos limites de controle (Figura 18), indica que deve-se buscar estas causas especiais e

eliminá-las do processo em questão. Se não tivermos pontos fora de controle, diz-se que o sistema é SPC (do inglês *Stable, Predictable and Consistent*), que quer dizer Estável, Previsível e Consistente. Sendo assim, pode-se passar para a análise da carta X-barra. (BORGES, 2008) O cálculo dos limites da carta R é definido pelas equações (1) e (2).

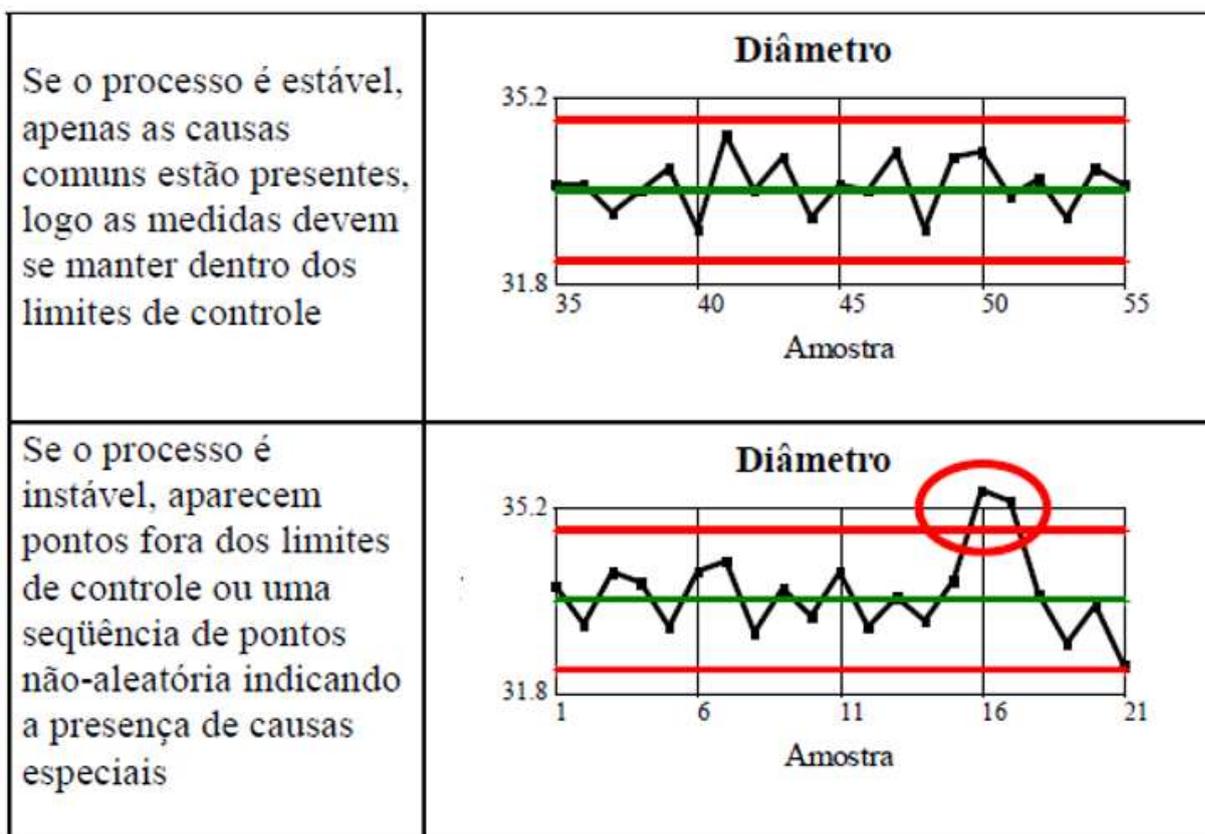
$$LSC_R = D_4 \cdot \bar{R} \quad (1)$$

$$LIC_R = D_3 \cdot \bar{R} \quad (2)$$

Na equação (1) e (2), LSC significa Limite Superior de Controle, LIC significa Limite Inferior de controle e R é amplitude média calculada a partir de todos os subgrupos do experimento. Os valores de D4 e D3 são tabelados de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1:** Constantes estatísticas para cálculo dos limites de controle e desvio padrão. Fonte: Wheeler e Chambers.

Tamanho do Subgrupo	A <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>
2	1,88	—	3,267	1,128
3	1,023	—	2,574	1,693
4	0,729	—	2,282	2,059
5	0,577	—	2,114	2,326
6	0,483	—	2,004	2,534
7	0,419	0,076	1,924	2,704
8	0,373	0,136	1,864	2,847
9	0,337	0,184	1,816	2,97
10	0,308	0,223	1,777	3,078



**Figura 18:** Carta R.

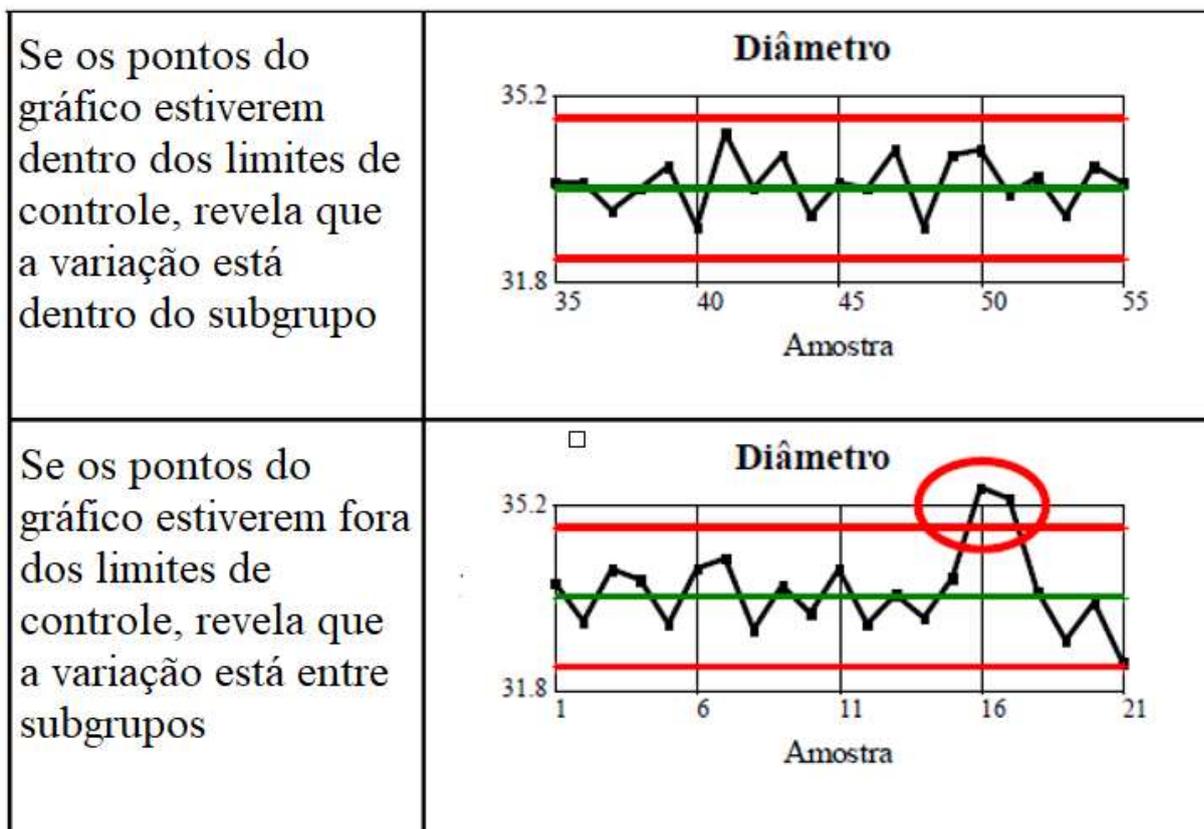
### 3.13 Carta de controle X-Barra

Na carta X-barra, estudo das amplitudes, a interpretação em linhas gerais é que, pontos fora dos limites de controle mostram variação entre os subgrupos, enquanto que pontos que estejam dentro dos limites mostram variação tanto dentro do subgrupo (Figura 19). Dependendo do que está sob análise na carta de amostragem, a presença de pontos fora dos limites pode ou não significar algum problema com o processo, ou apenas é um indicativo de variação em outro subgrupo. (BORGES, 2008) O cálculo dos limites da carta R é definido pelas equações (3) e (4).

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} \quad (3)$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} \quad (4)$$

Onde LIC e LSC são limites similares aos do gráfico R,  $A_2$  é uma constante também presente na Tabela 1,  $\bar{R}$  é a média das amplitudes e  $\bar{\bar{X}}$  é a média das médias dos subgrupos.



**Figura 19:** Carta X-Barra.

### 3.14 Capacidade de processos

Após a eliminação de todas as causas especiais, o processo estará funcionando em controle estatístico. Um processo em controle estatístico ou estável é aquele que possui variabilidade associada apenas às causas comuns, ou seja, ele segue um certo padrão previsível ao longo do tempo. No entanto, esse padrão estável do processo pode ou não ser capaz de produzir peças que atendam às especificações de clientes ou de projeto. Uma vez eliminadas as causas especiais, pode-se então avaliar a real capacidade do processo comparando sua variabilidade (associada apenas às causas comuns) com as especificações.

De acordo com Costa et al. (2005) os índices de capacidade do processo (ICPs) medem de maneira indireta o quanto o processo em questão é capaz de atender às especificações estabelecidas. Quanto maior for o valor do índice, mais o processo é capaz de satisfazer as especificações. Os índices de capacidade são valores adimensionais, que possibilitam qualificar o desempenho do processo.

Os índices de capacidade mais usados são  $C_p$  e  $C_{pk}$  e são dados pelas equações (5) e (6).

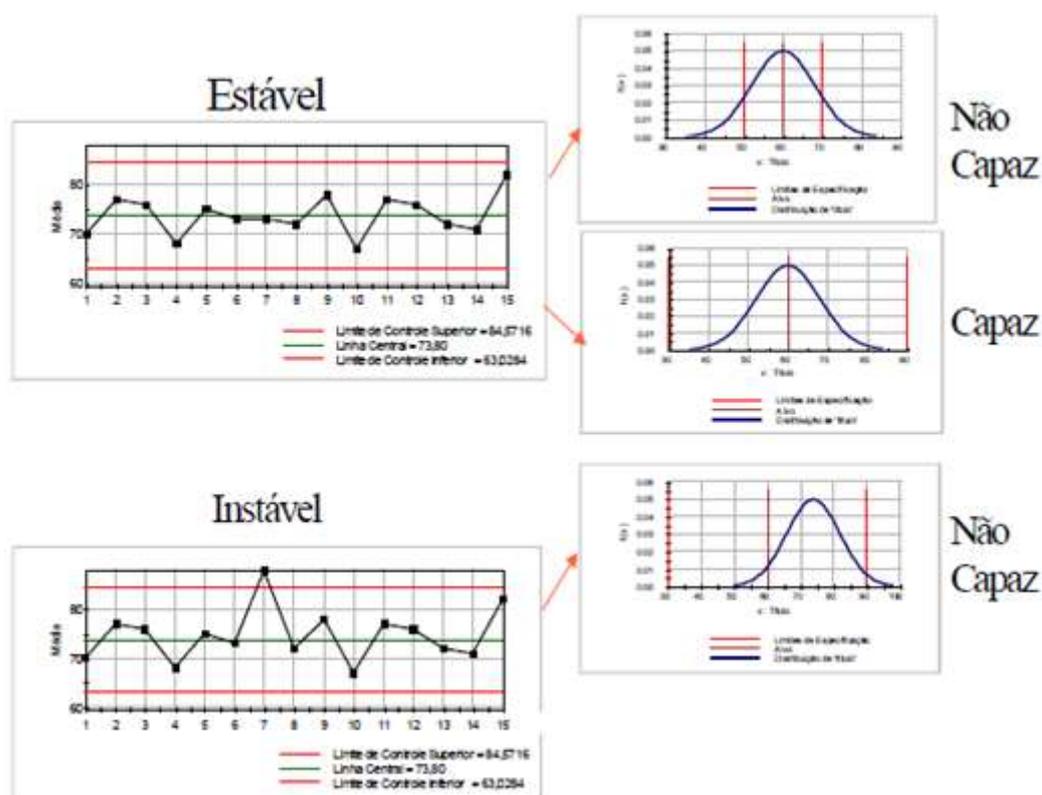
$$Cp = \frac{LSE - LSI}{6\sigma} \quad (5)$$

$$Cpk = \min\left\{\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma}\right\} \quad (6)$$

O índice  $Cp$  relaciona a variabilidade que se permite ao processo com a variabilidade a que o processo está naturalmente submetido. O cálculo de  $Cp$  não considera a média, medindo apenas a dispersão seis-sigma do processo analisado. Por este motivo,  $Cp$  deve ser usado quando se trata de um processo centrado no alvo. Segundo Costa et al. (2005), este índice não é sensível a alterações que ocorram na média do processo e, justamente por esse motivo, aconselha-se o seu uso quando a média está centrada no valor alvo. Caso o valor correspondente à média do processo não esteja incluído no intervalo de especificações,  $Cpk$  irá fornecer valores negativos.

O índice  $Cpk$ , ao contrário de  $Cp$  leva em conta a centralização do processo. Quando  $Cp = Cpk$ , significa que o processo está centrado no ponto médio dos valores de especificações, pois a média coincide com o valor nominal da especificação. O índice  $Cpk$  permite avaliar se o processo está sendo capaz de distinguir o valor nominal da especificação, medindo a capacidade real existente no processo. Segundo Montgomery (2004),  $Cp$  mede a capacidade potencial do processo, ao passo que o índice  $Cpk$  mensura a capacidade efetiva.

Como pode-se visualizar na Figura 20, se a variabilidade devida às causas comuns for excessiva, ou seja, maior do que a amplitude das especificações, o processo é dito não capaz e a gerência deve atuar sobre o sistema. Se a variabilidade inerente do processo for menor do que a amplitude de especificações, o processo é dito capaz. Nesse caso, as ações devem ser tomadas apenas quando o processo apresentar eventuais causas especiais.



**Figura 20:** Avaliação da capacidade de um processo estável versus instável

Quando o processo é instável, ou seja, apresenta causas especiais, a avaliação de sua capacidade não faz muito sentido, pois reflete apenas um determinado momento já que o processo não apresenta um comportamento previsível

### 3.15 Análise do sistema de medição – MSE

Em um processo de aprendizagem, o desenvolvimento de novos dispositivos ou métodos a fim de se aumentar a competitividade da empresa não se pode obter nenhuma melhoria se essa não for passível de medição. Por isso, o MSE (Análise do Sistema de Medição) visa fornecer informações relevantes sobre o sistema que está sendo usado para medir as características de interesse.

O objetivo do MSE é garantir a variação da medição pequena o suficiente para que se possa detectar as variações do processo, de forma a ter a possibilidade de obter informações suficientes para entendê-lo e aplicar as melhorias necessárias ao mesmo. Algumas

características esperadas no sistema de medição são a reprodutibilidade, a repetitividade, exatidão e discriminação. Para avaliar tais características, utiliza-se as cartas de controle explicadas nas seções anteriores.

Para o desenvolvimento das cartas de controle, se faz necessário uma árvore de amostragem, como a da figura 17, o MSE do subgrupo medidas é utilizado para o estudo das características esperadas aos sistemas de medição.

#### 3.15.1 Estabilidade do sistema

Inicialmente deve-se verificar se existem causas especiais na carta R. Se houver, o MSE está reprovado nesse ponto e deve se remover as causas especiais do processo antes de prosseguir a análise.

#### 3.15.2 Discriminação

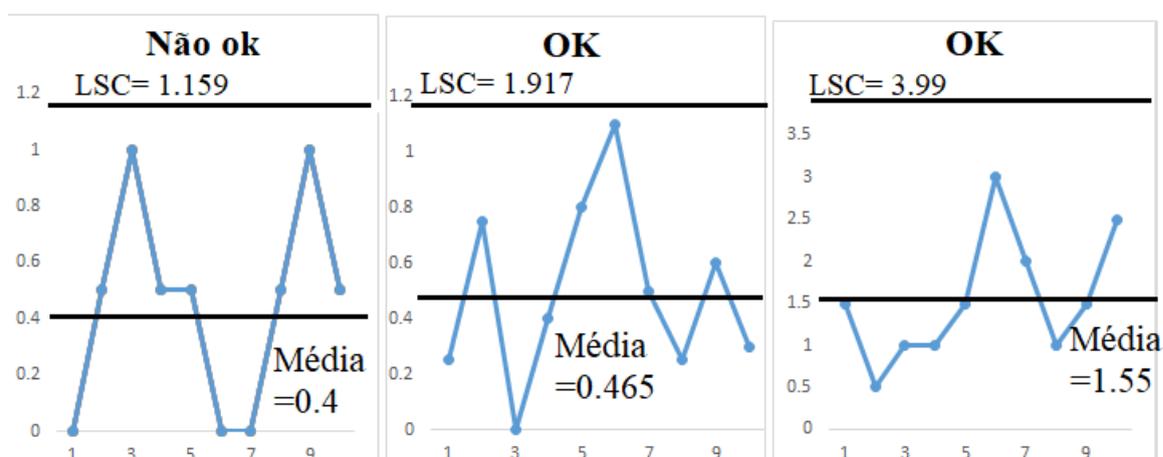
Discriminação é a capacidade do sistema de medição detectar e indicar, confiavelmente, pequenas mudanças nas características medidas. Devido a limitações físicas e econômicas, o sistema de medição não distinguirá peças que tenham pequenas diferenças nas características medidas. Em vez disto, a característica medida terá valores medidos agrupados em categoria de dados. Todas as peças, na mesma categoria de dados, terão o mesmo valor para a característica medida

Indicação de discriminação inadequada é dada na carta de amplitudes. Quando a carta R (Figura 22) mostra apenas 1, 2 ou 3 possíveis valores dentro dos limites de controle, as medições estão sendo feitas com discriminação inadequada. A Tabela 2 mostra o número mínimo de unidades de medição (patamares) devido ao tamanho do subgrupo para que a discriminação seja aceitável. Estes problemas podem ser remediados pela modificação da capacidade de detectar a variação dentro dos subgrupos através do aumento da discriminação das medições. Um sistema de medição terá discriminação adequada se sua resolução aparente é pequena em relação à variação do processo.

**Tabela 2:** Número mínimo de patamares por subgrupo

Tamanho do subgrupo	Número mínimo de Unidades de Medição (patamares)
2	4
3	5
4	5
5	5
6	6

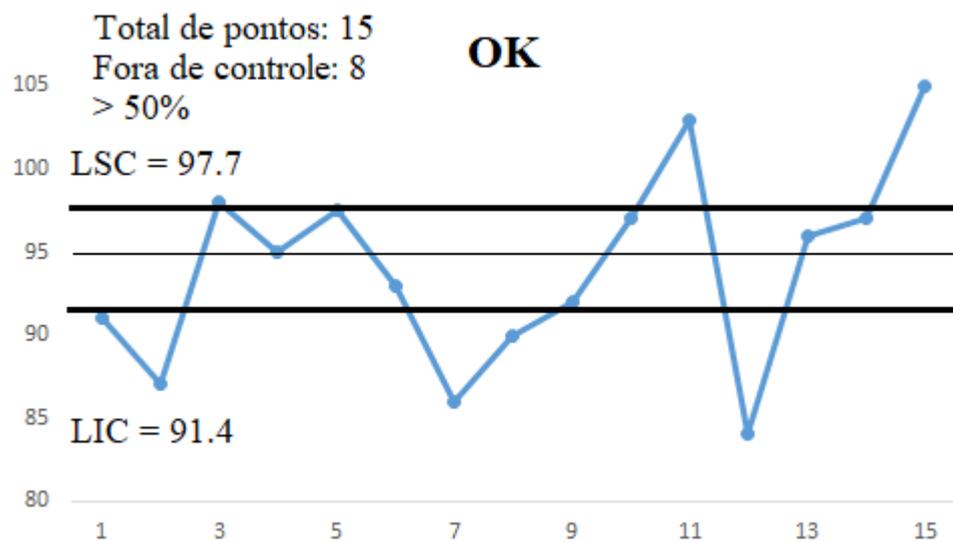
Carta R (Tamanho do subgrupo = 3)

**Figura 22:** Carta R para avaliação da discriminação.

### 3.15.3 Comparando a variação dentro do subgrupo com a variação fora dos subgrupos

Se a carta X-Barra estiver sob controle, então o sistema de medição não pode distinguir entre as peças no estudo. A variação da medição ofusca qualquer variação de produto. Deste modo, melhorias ao processo de produção ou ao produto não serão detectados devido ao erro extremo de medição. É uma comparação entre o tamanho da variação do sistema de uma medição com o tamanho da variação do processo.

Para se aprovar o sistema de medição, mais de 50%, porém preferivelmente mais de 75%, das médias da peça deve estar fora dos limites de controle da carta de médias (X-Barra) (Figura 23).



**Figura 23:** Análise de variação dentro ou entre subgrupos

## **4 ESTUDO DE CASO**

O presente estudo foi desenvolvido em uma empresa do setor de eletrodomésticos. Devido os dados internos da empresa serem sigilosos, os valores apresentados a seguir não são os mesmos encontrados durante o estudo na fábrica, mas sim uma aproximação que também representa os dados de forma suficiente para realizar as análises propostas nos objetivos do trabalho.

### **4.1 Mapeamento do problema**

Apresentadas as ferramentas Seis Sigma e a metodologia OPEX definida, teve-se como próximo passo a parte prática do estudo. Neste caso, primeiramente foi feita uma análise dos fogões da empresa em estudo, e através dos índices de qualidade da empresa foi selecionado o problema em questão, sempre focado na satisfação dos clientes, guiados pelos pilares de preço, serviços e qualidade.

### **4.2 Descrição do problema**

A empresa compila os dados de qualidade dos seus produtos através do indicador GSIR (Global Service Incident Rate). Esse indicador revela as taxas de problemas em campo dos produtos e conseqüentemente a qualidade e a satisfação do cliente. Para se definir a meta de GSIR de um novo produto, avalia-se a meta do produto antigo e se coloca um desafio, com o objetivo de sempre obter um produto de melhor qualidade e robustez. Na construção da meta, cada possível problema possui sua porcentagem aceitável de contribuição na construção da meta final.

A partir da análise do índice GSIR dos produtos de cocção da empresa, observou-se a elevada taxa de problemas relacionados com pés soltando em uma das plataformas de fogão, na casa dos clientes. Apenas o problema de pés soltando estava entregando o GSIR de 0,5%, frente ao valor esperado de 0,02%. Esse elevado índice fez com que a plataforma de fogões estudada extrapolasse a meta de 1,5% de GSIR, alcançando o valor de 1,8%. Assim sendo, levantou-se a necessidade de solucionar o problema, tanto devido a má qualidade dos produtos, quanto aos gastos de aproximadamente R\$ 300.000,00 anuais que a empresa estava tendo com retrabalho e com processos de clientes.

Com o objetivo de solucionar tal problema de forma estruturada e evitando desperdícios, utilizou-se a metodologia OPEX na solução. A ideia central da aplicação do OPEX é analisar, entender as fontes de variação e controlar a qualidade dos fogões. A Carta de Controle atuará

como ferramenta de identificação da causa principal de variação, o que permitirá à empresa reconhecer como o processo afeta a qualidade do produto e definir quais dos processos são críticos e demandam correções, evitando um desperdício de tempo e dinheiro em ações não efetivas.

### 4.3 Detecção do problema

Com a definição do problema baseado no índice GSIR, chegou-se ao objetivo de como eliminar o problema de pés soltando na linha de produção em uma das plataformas da empresa em estudo, como de forma de ser o mais específico possível. Desta forma, o trabalho foi iniciado pela elaboração de um Mapa de Raciocínio, que além de registrar todo o conhecimento existente, serviu como um instrumento de comunicação.

Para elaboração do mapa, reuniu-se especialistas no processo de diversas áreas (manufatura, engenharia industrial e tecnologia) com o objetivo de ter o conhecimento completo do processo. No mapa procurou-se documentar o objetivo geral do trabalho, o conhecimento existente, questões a serem respondidas, prioridades e atividades a serem realizadas para responder as perguntas. A Figura 25 ilustra o mapa de raciocínio obtido neste estudo de caso.

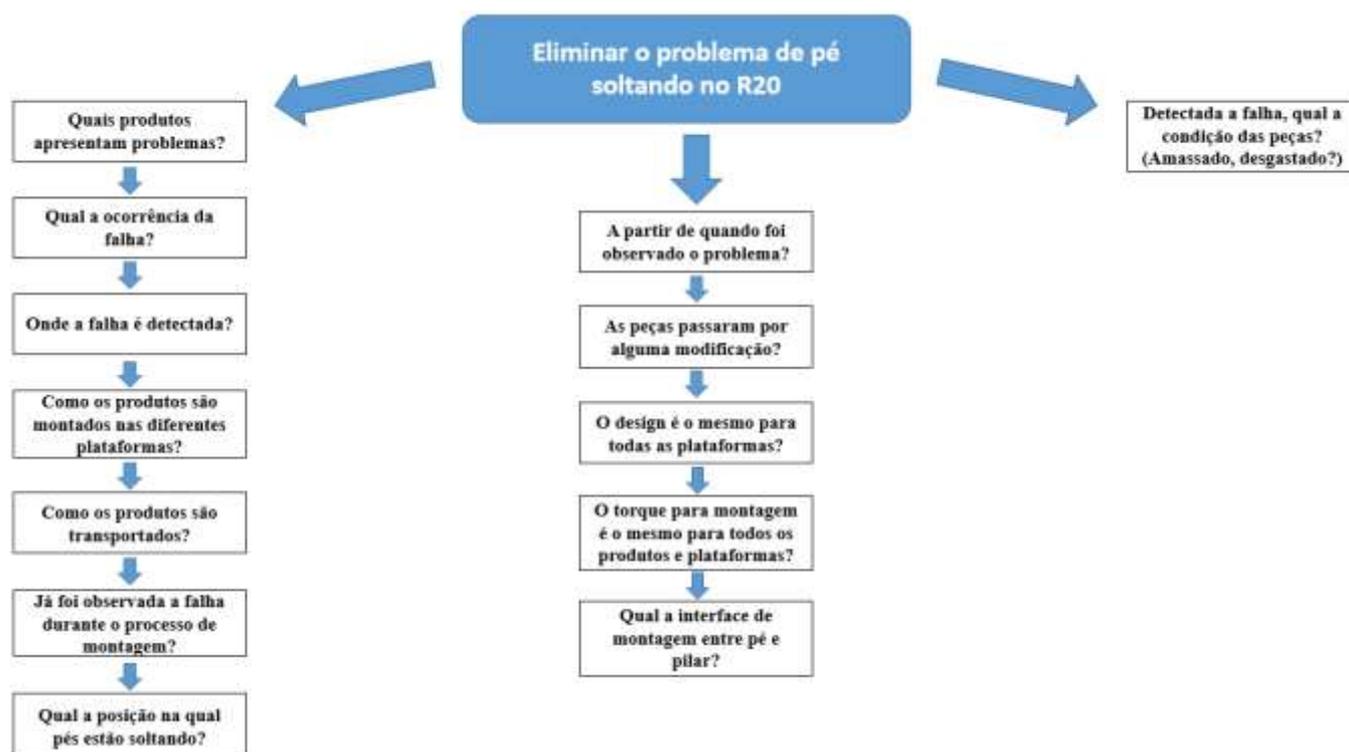
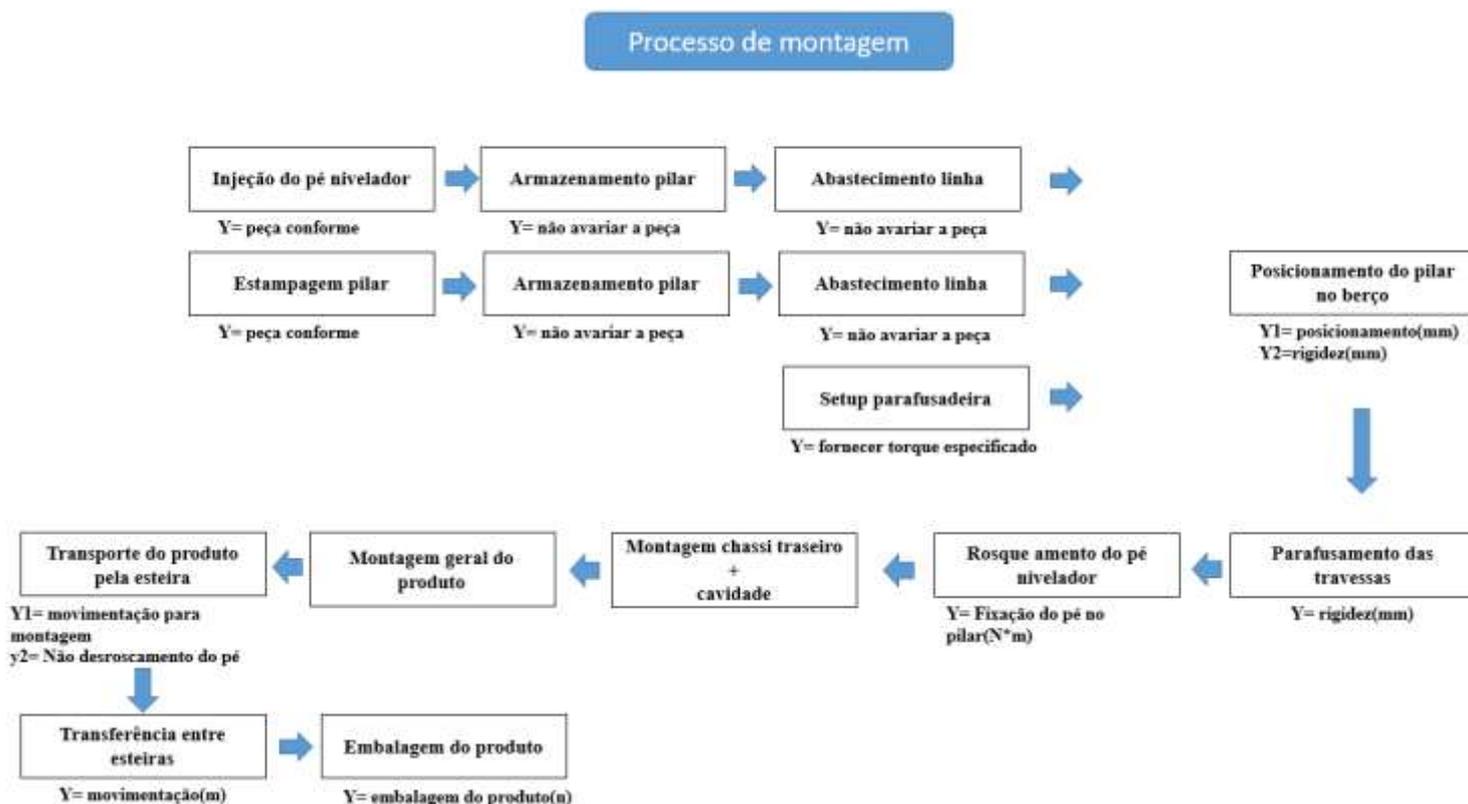


Figura 24: Mapa de raciocínio.

Na Figura 24 pode-se visualizar o mapa em sua forma inicial, com as perguntas que guiaram o trabalho. Obter a resposta de cada questão era essencial para se conhecer o problema e validar a importância de trabalhar nesse problema. Para responder todas as perguntas, levou-se 15 dias entre a busca do histórico do problema, ida a campo para se obter os detalhes dos questionamentos e a documentação das respostas encontradas.

Como forma de se conhecer melhor o problema, evitando desperdício de recurso e tempo na etapa *Do* (fazer), continuou-se o estudo com a elaboração do mapa do processo, mostrado na Figura 25. Neste mapa, documentou-se o processo como ele é, e todas as etapas que agregam valor ou não foram incluídas. Para elaboração desse documento, os engenheiros foram a campo para não negligenciar nenhuma etapa do processo. Como resultado, obteve-se a sequência mostrada na Figura 25. Inicialmente, realiza-se a estampagem do pilar traseiro e a injeção do pé nivelador dentro da planta da empresa, em seguida as peças são enviadas pela logística interna a linha de montagem, onde ocorre a fixação e montagem do produto. Após a conclusão dessa etapa, os fogões são transportados pela esteira rolante até a embaladora. Cada etapa do processo foi estudada e foram levantados os possíveis impactos no problema estudado. O mapa auxiliou na realização da etapa de quantificação e priorização do processo.



**Figura 25:** Mapa de processo.

Através do conhecimento adquirido com o com o mapa processo, observou-se dois

processos como críticos, ou seja, de maior impacto no processo de fixação do pé nivelador.

- 1) O rosqueamento do pé nivelador.
- 2) A transferência do produto entre as esteiras.

Através da resposta das perguntas do mapa de raciocínio e da visita à linha de montagem, observou-se que os problemas de pés soltando não eram exclusividade da plataforma em estudo e que os pés eram encontrados no chão antes da etapa de transporte para embaladora.

Essa descoberta gerou no time a desconfiança de que o problema não estava sendo originado no transporte dos produtos e sim em alguma etapa antecedente. Para confirmar essa hipótese, foi solicitado ao time da montagem que anotassem todas as vezes que um produto sem pé fosse direcionado a esteria de transporte. Ao fim do terceiro dia, recolheu-se o documento e comprovou que uma grande quantidade de produtos já chegavam à etapa de transporte sem os pés niveladores.

Como as falhas nos pés dos produtos foram percebidas antes do transporte para embaladora, conclui-se que o produto já chegava a essa etapa do processo com defeito, por isso essa etapa não era a causa principal dos pés soltando nos produtos.

Com o aprendizado adquirido com os mapas de raciocínio e o mapa de processo, definiu-se como processo crítico e conseqüentemente de foco do estudo o processo de rosqueamento do pé nivelador. Na etapa subsequente, com o objetivo de definir o que seria medido na busca pelos fatores ou fontes de variação, utilizou-se o mapa de produto, mostrado na Figura 26, como ferramenta para encorajar o raciocínio crítico, focar os esforços e identificar os fatores que deveriam ser estudados

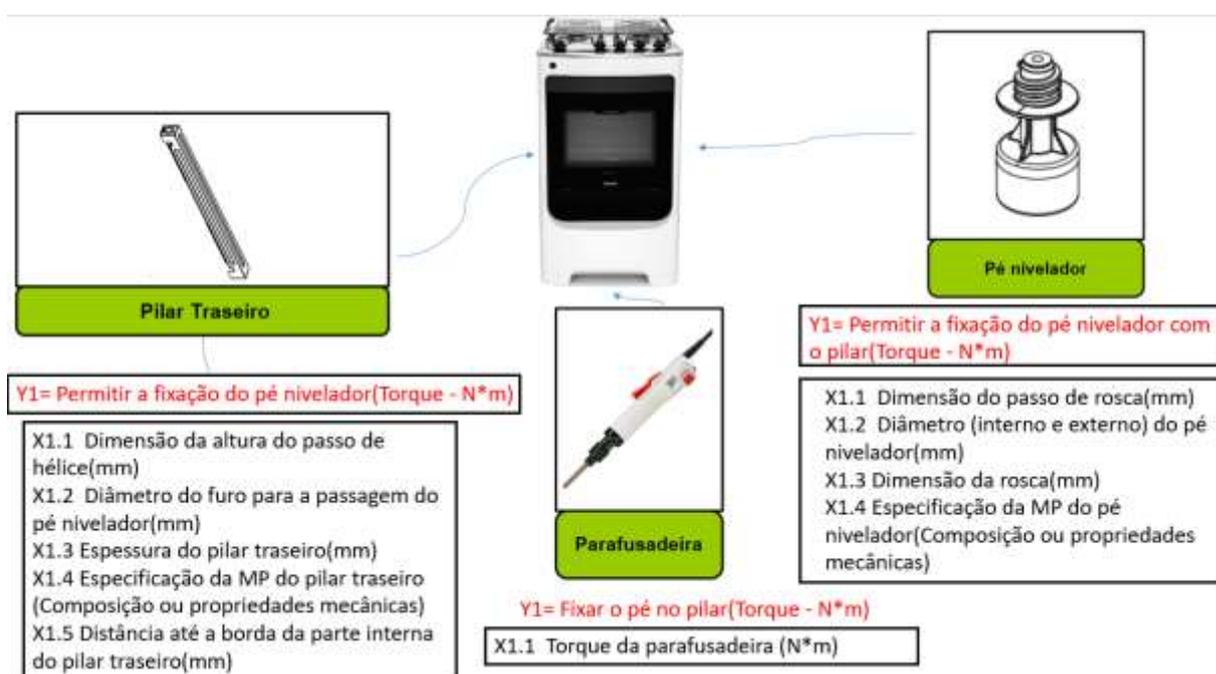
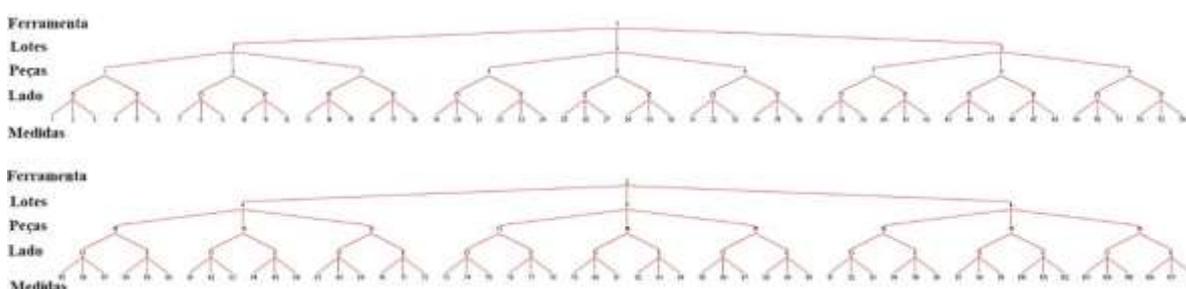


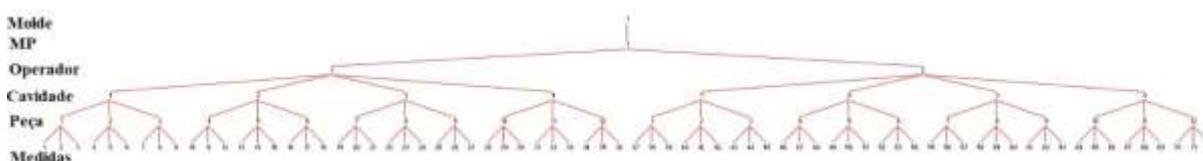
Figura 26: Mapa de produto

Com o auxílio do mapa da Figura 26, decidiu-se realizar as cartas de controle para observar a presença de variação na dimensão da altura do passo de hélice (mm) e distância até a borda da parte interna do pilar traseiro além do diâmetro (interno e externo) do pé nivelador (mm), dimensão do passo de rosca (mm) e dimensão da rosca (mm) do pé nivelador.

Previamente à coleta das peças para elaboração das cartas R e X barra, estruturou-se as árvores de amostragem (Figura 27 e Figura 28) visando considerar as possíveis fontes de variação.



**Figura 27:** Árvore de amostragem do pilar traseiro



**Figura 28:** Árvore de amostragem do pé nivelador

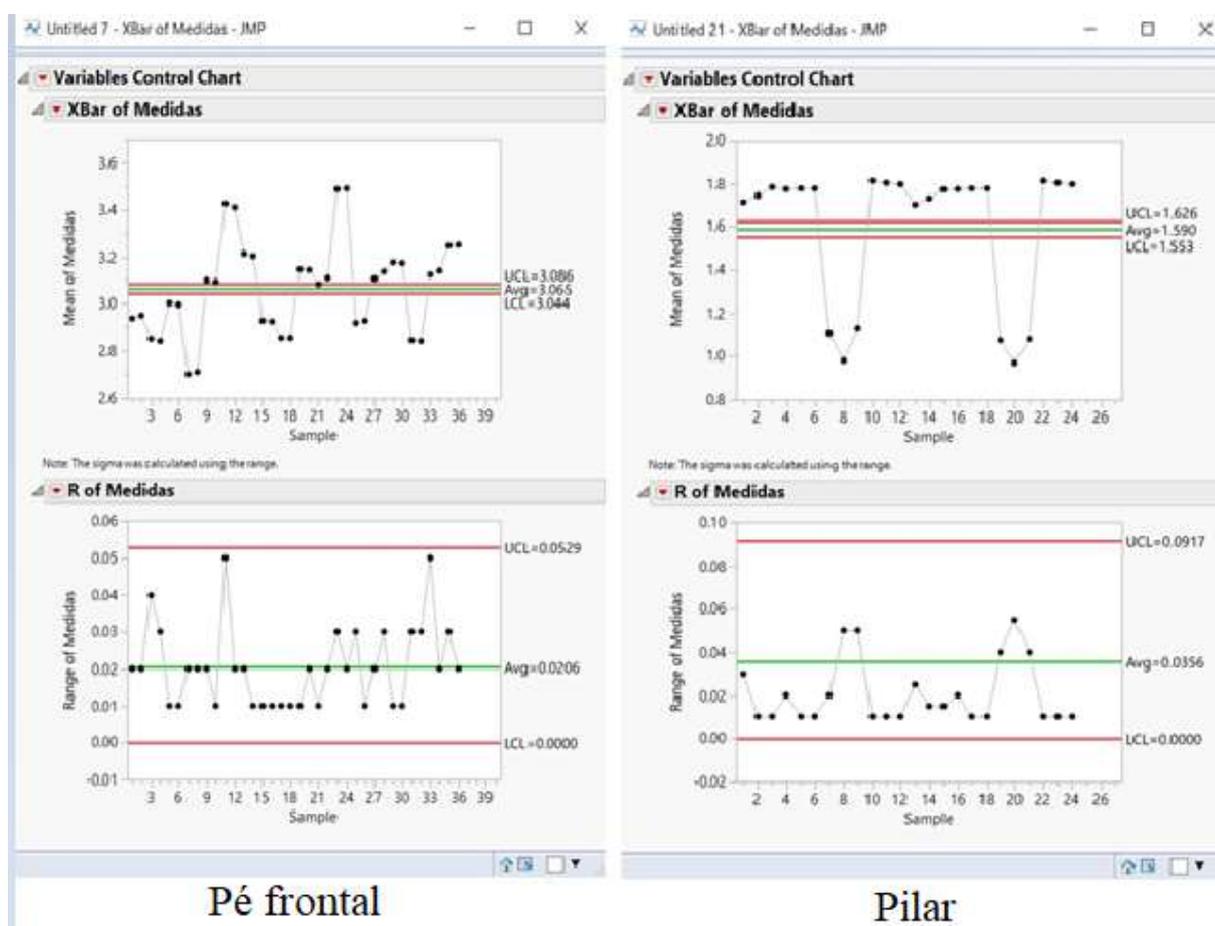
Com a árvore de amostragem elaborada, iniciou-se a etapa de coleta das peças.

#### 4.4 Cartas de controle

A fim de garantir que a variação da medição fosse pequena o suficiente para que se pudesse detectar as variações do processo, elaborou-se o MSE utilizando o software de descobertas estatísticas JMP® para gerar as cartas. O software JMP® é uma ferramenta amplamente usada por cientistas, engenheiros e outros profissionais que exploram dados em quase todos os setores da indústria e do governo .

Na Figura 29 observa-se o MSE da altura do passo de hélice (mm) e da dimensão da rosca (mm) do pé nivelador. Pode-se observar que em ambas, a carta R revela a não existência

de causa especial atuando sobre o sistema de medição, devido os dados estarem entre os limites da carta. Além disso, a discriminação que é a capacidade do sistema de detectar e indicar pequenas mudanças nas características medidas, foram observadas como dentro do padrão solicitado pela Tabela 2. Com isso, passou-se a analisar a carta X Barra do MSE, onde constatou-se que mais de 50% das médias das peças estavam fora dos limites de controle da carta de médias (X Barra) e por isso aprovou-se o sistema de medição.

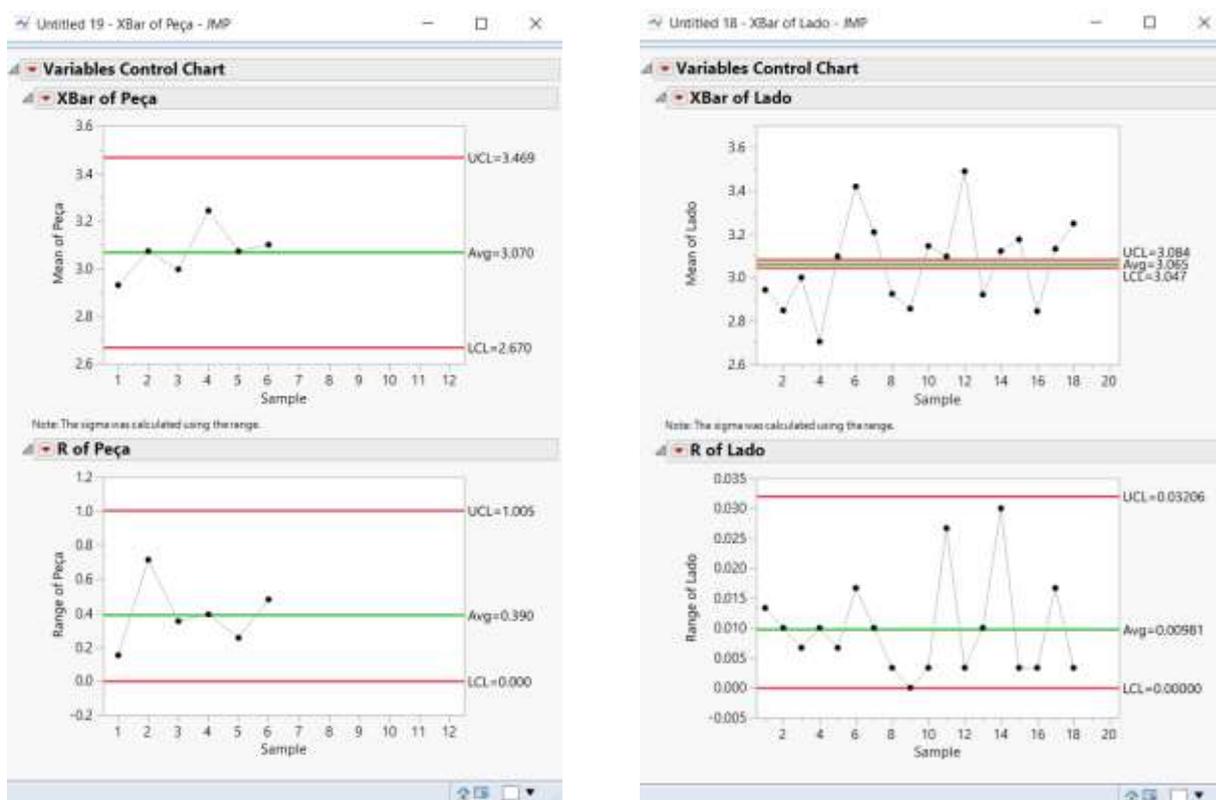


**Figura 29:** MSE do pé frontal e do pilar

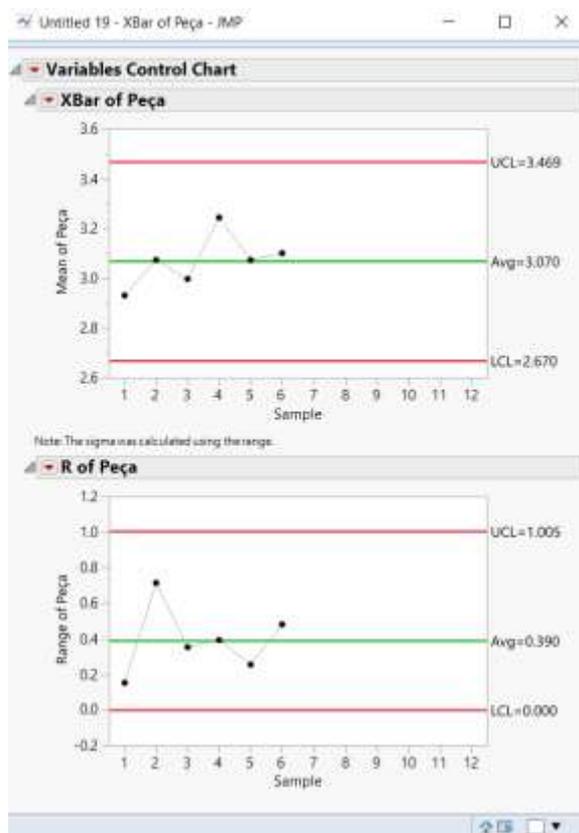
Com o MSE validado, iniciou-se o estudo de variação das peças. Os pontos analisados foram a dimensão da altura do passo de hélice (mm), a distância até a borda da parte interna do pilar traseiro, o diâmetro (interno e externo) do pé nivelador (mm), a dimensão do passo de rosca (mm) e a dimensão da rosca (mm) do pé nivelador.

Para o passo de hélice e distância entre bordas do pilar, observou-se que a maior variação se encontrava dentro do subgrupo Peças (carta X Barra com os pontos dentro dos limites de controle), porém essa variação se encontrava dentro dos limites de especificação aceitáveis, por

isso chegou-se a conclusão que o pilar não se relacionava com o problema de pés soltos. Isso é ilustrado nas Figuras 30 e 31.

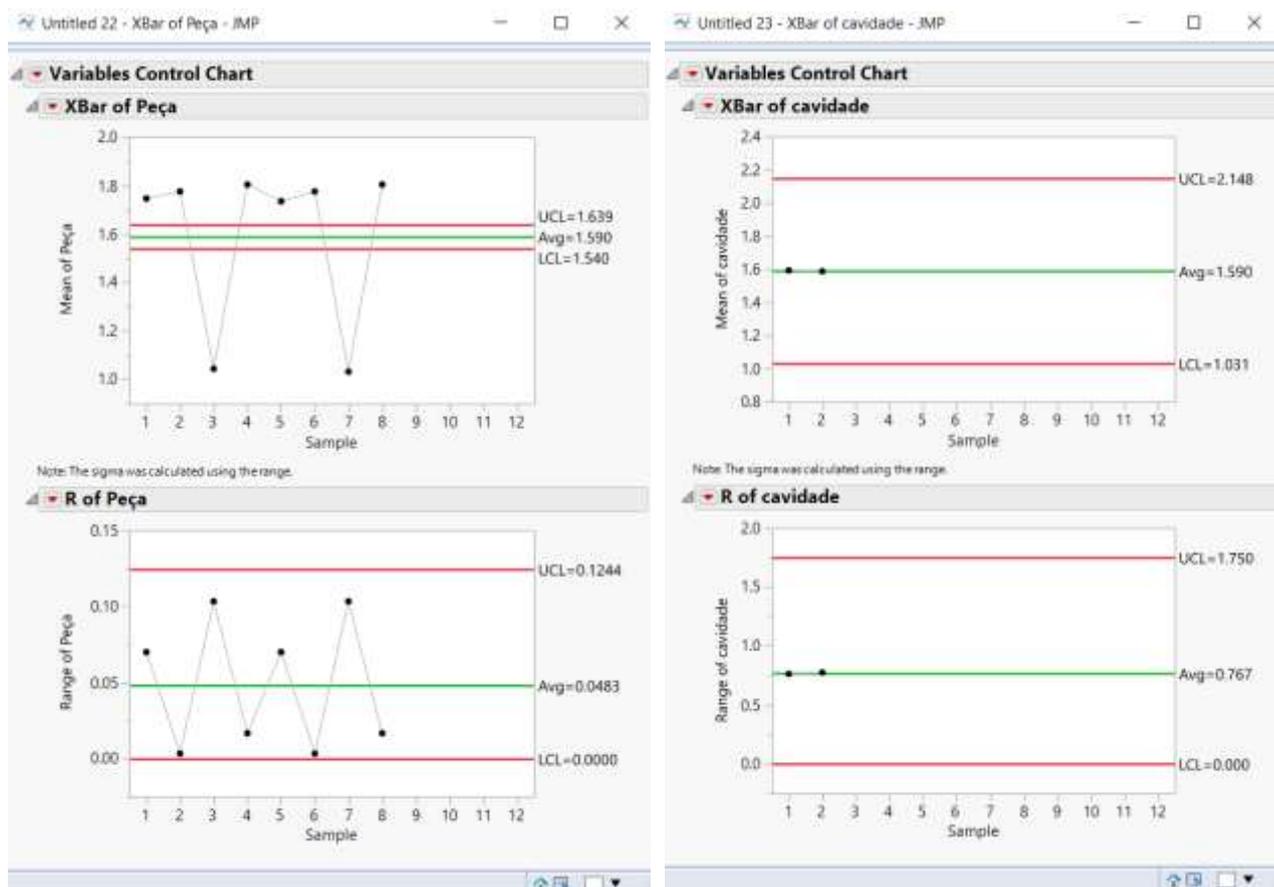


**Figura 30:** Carra R e Xbarra do pilar para o subgrupo lado e sub grupo peças



**Figura 31:** Carra R e Xbarra do pilar para o subgrupo peças

Após essa conclusão, passou-se a para a análise do diâmetro (interno e externo) do pé nivelador (mm), dimensão do passo de rosca (mm) e dimensão da rosca (mm) do pé nivelador (Figura 32).



**Figura 32:** Carra R e Xbarra do pé nivelador para o subgrupo peça e sub grupo cavidade

Com os dados obtidos, revelou-se que a fonte de variação estava nas cavidades, devido as médias estarem dentro dos limites de controle na carta X Barra, ao se analisar o subgrupo cavidade. Com a definição da fonte de variação, abriu-se a ferramenta e observou que a cavidade 3 estava com o parafuso de fixação solto, o que proporcionava pés niveladores fora dos limites de especificação.

O pé fora do limite de especificação não proporcionava interferência (contato) com o pilar como se esperava e com isso ele ficava bambo e se soltava durante o movimento de montagem do restante do produto. Com o problema identificado, fixou-se corretamente a cavidade e repetiu-se o experimento das cartas. Com a nova medição, observou-se que a maior variação se encontrava no sub grupo peças, porém agora com os valores dentro do limite de especificação.

## 5 CONCLUSÃO

A realização desse trabalho foi motivada pelos altos índices de falhas nos pés dos produtos de uma plataforma da empresa em estudo, o que gerava um gasto de R\$ 300.000,00 reais anuais para a empresa, além de insatisfação do cliente em comprar um produto com falhas.

Em um cenário de crise como estamos vivenciando, a satisfação dos clientes, guiados pelos pilares de preço e qualidade, são os fatores primordiais para a manutenção da competitividade da empresa. Por isso, esse trabalho foi desenvolvido com o objetivo de propor uma solução para o problema da plataforma, proporcionando redução de custo e aumento na qualidade dos produtos.

A metodologia OPEX auxiliou no reconhecimento dos quesitos essenciais para elevar o patamar de qualidade e produtividade dos produtos. A ferramenta nos capacitou a tomar decisões baseadas firmemente no raciocínio crítico sobre o problema nos dados coletados e principalmente no conhecimento do assunto.

As cartas de controle auxiliaram na análise da estabilidade do processo, ou seja, monitoraram-se as cartas de controle para identificar a presença de causas especiais. Uma vez identificadas que não existiam causas especiais, o processo foi classificado como estável e previsível, e logo tivemos a possibilidade de avaliar sua real capacidade de produzir peças que atendam às especificações. Como a variabilidade nos pés do produto associada às causas comuns eram maiores do que as amplitudes das especificações, atuou-se sobre o processo de estampagem da peça, fixando corretamente a cavidade 3 para reduzir a variabilidade.

Como resultado, obteve-se a redução no índice GSIR de 0,5% para 0,02% para os problemas relacionados aos pés soltando. A implementação dessa melhoria no processo gerou uma economia de R\$300.000,00 anuais para a companhia na qual o projeto foi desenvolvido.

Como próximos passos, a companhia em estudo possui como meta reduzir em 50% seu índice GSIR até 2020, eliminando desperdícios e buscando a melhoria contínua nos processos de produção. Para alcançar esse objetivo a empresa se baseia na ferramenta OPEX como forma de capacitar seus funcionários, equipando-os com poderosas ferramentas, conceitos e métodos de resolução de problemas.

## REFERÊNCIAS

- AGUIAR, Silvio. Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma. Nova Lima: INDG, 2006.
- ANDRADE, Fábio Felipe de; MELHADO, Silvio Burrattino. O método de melhorias PDCA. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 2003.
- ANIDRIETTA, J.M.; MIGUEL, P.A. C. A Importância do Método Seis Sigma na Gestão da Qualidade Analisada sob uma Abordagem Teórica. **Revista de Ciência & Tecnologia**, 2002.
- ARNHEITER, E. D.; MALEYEFF, J. The integration of lean management and six sigma. **The TQM Magazine**, v. 17, n. 1, p. 5-18, 2005.
- AYRES, ANTONIO DE PÁDUA SALMERON. Gestão de logística e operações. Tradução. 1. ed. Curitiba: IESDE Brasil S.A, p. 133, 2009.
- BEHARA, R. S.; FONTENOT, G. F.; GRESHAM, A. Customer satisfaction measurement and analysis using six sigma. **International Journal of Quality & Reliability Management**, p. 9-18, 1995.
- BORGES, JOÃO EDUARDO SANTANA. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA NA COMPATIBILIDADE ELETROMAGNÉTICA. 2008. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2008.
- CAMPOS, M. S. Em Busca do Padrão Seis Sigma. **Revista EXAME**, ed. 689, ano 32, n. 11, 1999.
- CAMPOS, V. F. Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia. Belo Horizonte: Editora Fundação Christiano Ottoni, 1996.
- CAMPOS, V. F. Gerenciamento pelas diretrizes. 4. Ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2004.

- CORONADO, R. B.; ANTONY, J. Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organizations. **The TQM Magazine**. v. 14, n. 2, p. 92-99, 2002.
- COSTA, A.F.B.; EPPRECHT E.K.; CARPINETTI, L.C.R. Controle estatístico de qualidade. 2 ed. São Paulo: Atlas, 334p., 2005.
- DUARTE, D.R.. Aplicação da metodologia seis sigma – Modelo Dmaic - na operação de uma empresa do setor ferroviário. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2011.
- ECKES, G. A revolução do Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros. 3. ed., Rio de Janeiro: Campus, 2001.
- FALCONI, V. Gerenciamento pelas Diretrizes. 2 ed. Belo Horizonte: QFCO, 331p., 1996.
- FLEMMING, D. Seis Sigma. Potencialize seus ganhos. Disponível em <http://www.mbc.org.br/mbc/uploads/biblioteca/1207675282.0673A.pdf>. Acesso em 11 de outubro de 2013.
- FONSECA, A.V.M. & MIYAKE, D.I. Uma análise sobre o Ciclo PDCA como um método para solução de problemas da qualidade. XXVI ENEGEP, Fortaleza, 2006.
- HARRY, M.; SCHROEDER, R. Six sigma: the breakthrough management strategy revolutionising the world's top corporations. New York: Currency Publishers, 2000.
- HILD, C.R.; SANDERS, D.; ROSS, B. The Thought Map. **Quality Engineering**. Monticello, N.Y.: Marcel Dekker, v.12, n.1, p. 21-27, 1999-2000.
- LIMA, R.A. Como a relação entre clientes e fornecedores internos à organização pode contribuir para a garantia da qualidade: o caso de uma empresa automobilística. Ouro Preto: UFOP, 2006.
- LIMA, A.A.N; LIMA, J.R.; SILVA, S.L.; ALENCAR, J.R.B; SOARES-SOBRINHO,
- MATHEUS, J.F.; RODRIGUES, T.V.; FERRARI, Y.B.T. Green belt: projeto para melhoria do desempenho da qualidade e performance de produção. Universidade São Francisco, 2013.

MONTGOMERY, D.C. Introduction to Statistical Quality Control. John Wiley and Sons, New York, 1985.

MONTGOMERY, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 513 p., 2004.

MUCIDAS, JULIANA HASTENREITER. APLICAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NO ENVASE DE LEITE UHT EM UMA INDÚSTRIA DE LATICÍNIOS. 2010. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, 2010.

NEVES, T.F. Importância da utilização do ciclo PDCA para garantia da qualidade do produto em uma indústria automobilística. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2007.

PANDE, P.S.; NEUMAN, R.P.; CAVANAGH, R.R. The six sigma way: how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance. New York: McGraw- Hill, 2000.

PALADY, P.; OLYAI, N. The status quo's failure in problem solving. **Quality Progress**, 2002.

PEREIRA, F.D. Conceitos baseados no ciclo PDCA para melhoria no processo produtivo: Estudo de caso da aplicação na manufatura em tubos em fibra de vidro. Universidade de São Paulo, 2013.

Qual a diferença entre PDCA e PDSA?. Disponível em: <<http://www.blogdaqualidade.com.br/qual-diferenca-entre-pdca-e-pdsa/>>. Acesso em: 10 set. 2017.

QSP. Visão geral da estratégia Seis Sigma. Disponível em: <[https://www.qsp.org.br/visao\\_geral.shtml](https://www.qsp.org.br/visao_geral.shtml)>. Acesso em 15 out. 2017

RIBEIRO, J.L.D.; CATEN, C.S.T. Cartas de Controle para Variáveis, Cartas de Controle para Atributos, Função de Perda Quadrática, Análise de Sistemas de Medição. 2012. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

ROTONDARO, R. G. Seis Sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 2008.

SANDERS, D; HILD, C.R. Common Myths About Six Sigma. **Quality Engineering**.

- Monticello, N.Y.: Marcel Dekker, v.13, n. 2, p. 269-276, 2000-01.
- SANDERS, D; ROSS, B; COLEMAN, J. The Process Map. **Quality Engineering**, v.11, n.4, p. 555-561, 1999.
- SCHROEDER, R. G.; LINDERMAN, K.; LIEDTKE, C.; CHOO, A. S. Six sigma: definition and underlying theory. **Journal of Operations Management**, 2007. doi:10.1016/j.jom.2007.06.007.
- SILVA, Jane Azevedo da; Apostila de Controle da Qualidade I. Juiz de Fora: UFJF, 2006.
- SMITH, B. & ADAMS, E. LeanSigma: advanced quality. Proc. 54th Annual Quality Congress of the American Society for Quality, Indianapolis, Indiana, 2000.
- USEVICUS, L.A. Implantação da metodologia Seis Sigma e aplicação da técnica estatística projeto de experimentos na resolução de problemas e otimização de processos de fabricação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- VAN DER POL, R. B. Aplicação do método DMAIC para redução da ocorrência de acidentes ferroviários, Juiz de Fora – 2011.
- WATSON, G.H. Cycles of learning: observations of Jack Welch. **ASQ Publication**, v. 1, n. 1, p. 45-58, 2001.
- WERKEMA, M.C.C. Criando a cultura Seis Sigma. Nova Lima: Werkema, 2004.
- WERKEMA, M.C.C. Seis Sigma: treinamento para *Black Belt*. Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, Sessões 1,2,3 e 4, 2000.
- WILSON, P. M. Six Sigma: understanding the concept, implications and challenges. **Advanced Systems Consultants**, 1999.