

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA  
AVALIAR A PRODUTIVIDADE DE UM PROCESSO  
DE BRITAGEM**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Ricardo Heck Gonçalves**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**



**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA  
AVALIAR A PRODUTIVIDADE DE UM PROCESSO DE  
BRITAGEM**

**Ricardo Heck Gonçalves**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de

**Mestre em Engenharia de Produção**

**Orientador: Prof. Dr. Adriano Mendonça Souza**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
Aprova a dissertação de Mestrado

**APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA AVALIAR A  
PRODUTIVIDADE DE UM PROCESSO DE BRITAGEM**

Elaborado por

**Ricardo Heck Gonçalves**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia de Produção**

**Comissão Examinadora:**

**Adriano Mendonça Souza, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

**Roselaine Ruviano Zanini, Dra. (UFSM)**

**Luciane Flores Jacobi, Dra. (UFSM)**

Santa Maria, 10 de março de 2015

## RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Universidade Federal de Santa Maria

### **APLICAÇÃO DA METODOLOGIA SEIS SIGMA PARA AVALIAR A PRODUTIVIDADE DE UM PROCESSO DE BRITAGEM**

AUTOR: Ricardo Heck Gonçalves

ORIENTADOR: Adriano Mendonça Souza

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 10 de março de 2015.

Atualmente, as organizações se deparam com um ambiente de elevada competitividade em que a satisfação e a fidelidade dos clientes são fatores importantes para o sucesso. Diante desse cenário, faz-se necessária a utilização de metodologias de melhoria de *performance* dos processos produtivos das empresas. O DMAIC, que faz parte do método Seis Sigma, permite identificar, analisar e melhorar os processos por meio de uma sistemática consistente, clara e compreensível. Este trabalho teve como objetivo melhorar o desempenho do processo de britagem através da aplicação da metodologia Seis Sigma. Desta forma pretendeu-se diminuir o custo de produção do processo de britagem, além de aumentar a produção final da britagem. Foram seguidas as etapas *Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar* do ciclo DMAIC. O método foi aplicado em unidade de britagem de uma construtora de rodovias de âmbito nacional. Para conduzir este trabalho utilizou-se o método da pesquisa-ação em que, primeiramente, definiram-se as características críticas para o negócio da empresa, as quais foram relacionadas com a britagem estudada. Em seguida, avaliou-se o potencial de ganho econômico com o projeto, definiu-se o método de coleta de dados, e aplicou-se algumas ferramentas, onde identificaram-se as perdas produtivas e foi analisada a capacidade atual do sistema produtivo. O estudo, a partir da metodologia, comprovou as perdas de produção e os custos da ineficiência do processo e proporcionou ações de melhorias sustentáveis, através da aplicação de um projeto de experimento e de ações de melhorias simples e criativas em cima das perdas levantadas. Conclui-se, assim, que o projeto mostrou-se eficaz no processo de identificação de perdas, além de contribuir para o aumento da produtividade através da identificação de ações de melhorias. A análise estatística utilizada no programa Seis Sigma, embora utilizando-se de ferramentas simples, foi fundamental para a sustentabilidade, continuidade e confiabilidade do trabalho.

**Palavras chave:** Seis Sigma, DMAIC, Britagem.

## **ABSTRACT**

Master's Qualification exam  
Graduate program in production engineering  
Federal University of Santa Maria

### **IMPLEMENTATION OF SIX SIGMA METHODOLOGY TO EVALUATE THE PRODUCTIVITY OF A CRUSHING PROCESS**

**AUTHOR:** Ricardo Heck Gonçalves

**ADVISOR:** Prof. Dr. Adriano Mendonça Souza

Date and place of Defense: Santa Maria, 10 March 2015.

Nowadays, organizations face a highly competitive environment where customer satisfaction and loyalty are important factors for success. In this scenario, it is necessary to use performance improvement methods of production processes. The DMAIC, which is part of the Six Sigma methodology, allows to identify, analyze and improve processes through a consistent, clear and understandable systematic. This study aimed to improve the crushing process performance through application of Six Sigma methodology. It was intended to reduce the crushing process production cost, as well as increasing the final output. It were followed the steps Define, Measure, Analyze, Improve and Control of DMAIC cycle. The method was applied in a crushing plant of a highway construction company of national scope. It was used action research approach, in which the critical features of the company were defined, at first, and related to the crushing process. Then, it was evaluated the potential economic gain from the project, set up the data collection method and applied some tools, which identified the production losses and analyzed the current capability of the production system. The study, based on the methodology, proved the production losses and costs from process inefficiency and provided sustainable improvement actions, through the implementation of an experiment project and of simple and creative improvement actions over the identified losses. It is concluded, therefore, that the project was effective in the losses identification process, and contributed to productivity by identifying improvement actions. The statistical analysis used in the Six Sigma program, although using simple tools, was essential for the sustainability, continuity and reliability of the study.

#### **Keywords:**

Six Sigma, DMAIC, Crushing

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1 - Deslocamento de 1,5 sigma da média do processo.....                        | 19  |
| Figura 2 – Método DMAIC .....   | 22  |
| Figura 3 - Percentuais da área em relação ao desvio padrão .....                      | 43  |
| Figura 4 - Britagens no processo produtivo da empresa .....                           | 45  |
| Figura 5 - Etapas Metodológicas .....   | 47  |
| Figura 6 - Organograma da Empresa.....  | 53  |
| Figura 7 - Média dos resultados da pesquisa sobre perdas de cada grupo .....          | 54  |
| Figura 8 - Perda por Retrabalho - Tratamento e compactação .....                      | 54  |
| Figura 9 - Produção $x$ Demanda .....   | 57  |
| Figura 10- Produtividade média inicial britador primário.....                         | 60  |
| Figura 11 - Produtividade média inicial rebitagem.....                                | 60  |
| Figura 12 - Treinamento dos participantes .....                                       | 62  |
| Figura 13 - Treinamento dos participantes com jogo de demonstração .....              | 62  |
| Figura 14 - Estrutura do programa .....   | 63  |
| Figura 15 -Tempos de paradas e tempos produtivos .....                                | 64  |
| Figura 16 - Mapa do processo de britagem .....  | 65  |
| Figura 17 - Tela de lançamento de informações básicas .....                           | 66  |
| Figura 18 - Capabilidade do processo de britagem .....                                | 68  |
| Figura 19 - Capabilidade produção do britador primário após as melhorias.....         | 69  |
| Figura 20 - Capabilidade do processo de rebitagem .....                               | 70  |
| Figura 21 - Capabilidade da produção da rebitagem após as melhorias .....             | 71  |
| Figura 22 - Capabilidade do processo em produção pedra não lamelar .....              | 72  |
| Figura 23 - Capabilidade do processo - produção de pó de brita .....                  | 74  |
| Figura 24 - Paradas de Produção .....   | 75  |
| Figura 25–Percentual de paradas por equipamentos .....                                | 76  |
| Figura 26–Tempo das paradas no britador primário .....                                | 76  |
| Figura 27–Tempo das paradas no VSI .....  | 78  |
| Figura 28–Tempo das paradas no CONE 36FC .....  | 78  |
| Figura 29– Tempo de paradas no CONE 367.....  | 79  |
| Figura 30–Tempo de paradas no peneirão.....   | 80  |
| Figura 31 - Paradas de produção pós melhorias .....                                   | 80  |
| Figura 32 - Comparação evolução dos problemas de produção .....                       | 81  |
| Figura 33 - Reunião de apresentação das paradas e produtividade .....                 | 84  |
| Figura 34 - Três ocorrências de ineficiência na semana.....                           | 85  |
| Figura 35 - Três ocorrências de ineficiência seguidas.....                            | 85  |
| Figura 36 - Modelo de comunicação no nível gerencial .....                            | 86  |
| Figura 37 - Tela de lançamento de produção diária no <i>software</i> da empresa ..... | 87  |
| Figura 38 - Tela de lançamento de problemas de produção .....                         | 88  |
| Figura 39- Sinal-Resposta sobre a produção total .....                                | 94  |
| Figura 40- BoxPlot da produção inicial e final do britador primário .....             | 97  |
| Figura 41 - Evolução da produção do britador primário .....                           | 98  |
| Figura 42 - Evolução da produção da rebitagem.....                                    | 99  |
| Figura 43 - Mapa de Raciocínio .....  | 110 |

## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 1 - Modelo de diagrama SIPOC .....   | 26  |
| Tabela 2 - Escala de capacidade das etapas dos processos produtivos .....             | 31  |
| Tabela 3 - Dados de capacidade e custo improdutivo antes e depois das melhorias ..... | 64  |
| Tabela 4 - Configuração do experimento.....   | 91  |
| Tabela 5-Média dos resultados de cada experimento.....                                | 92  |
| Tabela 6- Avaliação dos fatores.....  | 93  |
| Tabela 7 - Resumo dos resultados no britador primário e rebitagem .....               | 98  |
| Tabela 8 - Coeficientes da reta da britagem e rebitagem.....                          | 99  |
| Tabela 9 - Constantes para construção dos Limites de Controle .....                   | 111 |

## LISTA DE QUADROS

|  |     |
|--|-----|
| Quadro 1 - Produção mundial de brita .....                     | 11  |
| Quadro 2 - Modelo de Carta de Projeto.....                     | 25  |
| Quadro 3 - Causas comuns e especiais de variação.....          | 38  |
| Quadro 4 - Britagens em Operação .....                         | 44  |
| Quadro 5 - Etapas Metodológicas .....                          | 50  |
| Quadro 6 - Aplicação 5 Porquês – Retrabalho .....              | 55  |
| Quadro 7 - Aplicação 5 Porquês - Espera.....                   | 56  |
| Quadro 8 - Diagrama SIPOC.....                                 | 58  |
| Quadro 9 - VOC .....   | 59  |
| Quadro 10 - Principais melhorias propostas.....                | 83  |
| Quadro 11 - Plano de melhoria para as paradas de produção..... | 89  |
| Quadro 12 - Fator de controle do experimento.....              | 90  |
| Quadro 13 – Proposta de ajuste .....                           | 94  |
| Quadro 14 - Controle de Paradas – Rebritagem.....              | 112 |
| Quadro 15 - Controle de Paradas - Britador Primário .....      | 113 |
| Quadro 16 - Exemplo de mapa de raciocínio .....                | 114 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEPAC – Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil  
CEP – Controle Estatístico de Processo  
CP – Índice de Capabilidade de Processo  
DMAIC – Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar  
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte.  
DOE – *Desing Of Experiments*  
LCI – Limite de Controle Inferior  
LCS – Limite de Controle Superior  
NGT– *Nominal Group Technique*  
RDC – Regime Diferenciado de Contratação  
RPD – *Robust Parameter Desing*  
SIPOC – *Supplier, Input, Process, Output, Customer*  
TRIZ – *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch*  
VOC – *Voice of the Customer* (Voz do Cliente)

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                    | <b>5</b>  |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                    | <b>6</b>  |
| <b>LISTA DE QUADROS.....</b>                                    | <b>7</b>  |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>                      | <b>8</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>                                       | <b>11</b> |
| 1.1 Tema.....   | 12        |
| 1.2 Objetivos.....  | 13        |
| 1.2.1 Objetivo Geral.....                                       | 13        |
| 1.2.2 Objetivos Específicos.....                                | 13        |
| 1.3 Justificativa.....  | 13        |
| 1.4 Limitações da pesquisa.....                                 | 15        |
| <b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                              | <b>16</b> |
| 2.1 Qualidade.....  | 16        |
| 2.2 Seis Sigma.....   | 18        |
| 2.3 Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar - DMAIC..... | 21        |
| 2.3.1 Fase Definir – <i>Define</i> .....                        | 23        |
| 2.3.2 Fase Medir – <i>Measure</i> .....                         | 26        |
| 2.3.3 Fase Análise - <i>Analyze</i> .....                       | 29        |
| 2.3.4 Fase Melhoria – <i>Improve</i> .....                      | 31        |
| 2.3.5 Fase Controle – <i>Control</i> .....                      | 36        |
| 2.4 Controle Estatístico do Processo (CEP).....                 | 36        |
| <b>3. METODOLOGIA.....</b>                                      | <b>44</b> |
| 3.1 Empresa.....  | 44        |
| 3.2 Caracterização da pesquisa.....                             | 46        |
| 3.3 Etapas Metodológicas.....                                   | 47        |
| 3.3.1 Coleta de Dados.....                                      | 47        |
| 3.3.2 Desenvolvimento.....                                      | 49        |
| 3.3.3 Análise dos resultados.....                               | 51        |
| <b>4. ESTUDO DE CASO.....</b>                                   | <b>52</b> |
| 4.1 Definir.....  | 52        |
| 4.1.1 Diagrama SIPOC.....                                       | 58        |
| 4.1.2 Voz do Cliente (VOC).....                                 | 58        |
| 4.1.3 BoxPlot e Custo da Ineficiência.....                      | 59        |
| 4.1.4 Capacitação da equipe e estrutura do programa.....        | 61        |
| 4.2 Medir.....  | 63        |
| 4.3 Análise.....  | 67        |
| 4.3.1 Produção do primário.....                                 | 67        |
| 4.3.2 Produção da rebitagem.....                                | 69        |
| 4.3.3 Índice de lamelaridade.....                               | 71        |
| 4.3.4 Produção de pó de brita.....                              | 73        |
| 4.3.5 Gráfico de Pareto.....                                    | 74        |
| 4.4 Melhoria.....   | 82        |
| 4.4.1 Comunicação.....  | 83        |
| 4.4.2 Apontamentos.....   | 86        |
| 4.4.3 Problemas de Produção.....                                | 88        |
| 4.4.4 Projeto de Experimento.....                               | 89        |
| 4.5 Controle.....   | 95        |

|     |                                       |     |
|-----|---------------------------------------|-----|
| 4.6 | Síntese dos resultados .....          | 96  |
| 5.  | CONSIDERAÇÕES FINAIS .....            | 100 |
| 5.1 | Conclusões .....                      | 100 |
| 5.2 | Sugestões para trabalhos futuros..... | 102 |
|     | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....      | 104 |
|     | ANEXOS .....                          | 110 |

# 1. INTRODUÇÃO

O cenário mundial envolvendo a disputa de organizações por novos mercados e o crescimento e desenvolvimento mundial, aliados à necessidade de sustentabilidade das empresas, fazem com que as organizações busquem novas práticas de gestão com a finalidade de se tornarem mais competitivas.

No setor da construção civil, mais especificamente na construção civil pesada, a execução de rodovias caracteriza-se pelo emprego de equipamentos de produção em larga escala e grande quantidade de materiais. Esse processo produtivo requer um planejamento adequado desses recursos, a fim de aperfeiçoar os resultados, evitando-se, desta maneira, ociosidades e desperdícios que prejudiquem o empreendimento.

Quando se analisa o setor da construção civil, deve-se considerar a importância das britagens em toda a cadeia produtiva do setor, pois é onde ocorre a primeira fase do processo de beneficiamento da pedra de ferro. Segundo Honório (2010), um importante aproveitamento dos processos de britagem ocorre na produção de agregados para construção civil.

Pela variedade de rochas que podem ser exploradas para obtenção desses agregados, consideram-se como abundantes estes recursos em quase todos os países. No Quadro 1 apresenta-se estatísticas de países cuja indústria de construção civil é mais desenvolvida e que publicam estatísticas sobre suas matérias-primas.

| Discriminação  | Reservas (10 <sup>3</sup> t) | Produção (10 <sup>3</sup> t) |      |            |
|----------------|------------------------------|------------------------------|------|------------|
|                |                              | 2010                         | 2011 | Variação % |
| Países         | 2011                         |                              |      |            |
| Brasil         | Abundante                    | 255                          | 268  | 5,1        |
| Estados Unidos |                              | 1160                         | 1110 | -4,3       |
| Canadá         |                              | 148                          | 168  | 13,5       |

Quadro 1 - Produção mundial de brita

Fonte: (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2013).

Conforme a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), o ramo responsável por produzir agregados graníticos para o setor da construção civil possui perto de 3000 empresas, que produzem 268 milhões de toneladas de pedra/ano (VALVERDE & TSUCHIYA, 2009).

Estudos revelam uma previsão de aumento de demanda por agregados na ordem de 27% durante o período de 2009 a 2015. Contudo, a demanda atual do setor já toma 91% da capacidade instalada, evidenciando a necessidade de novas instalações, otimização dos recursos e processos atuais de atendimento dos requisitos de qualidade, prazo e custos. Conforme o autor, no Brasil a produção de brita divide-se por tipos de rochas, em 85% de rochas granitóides (granito, gnaisse, riolito e outras), 10% de rochas calcárias (calcário e dolomito) e 5% de basalto e diabásio (VALVERDE & TSUCHIYA, 2009).

Portanto, é fundamental o uso de uma metodologia para melhoria de processos, aumento de desempenho e redução de custos. Uma técnica já bastante conhecida é o Seis Sigma, que, conforme Santos e Martins (2010), está se consolidando como forma de melhoria do desempenho do negócio das empresas, de aumentar a competitividade e de incentivar ações estratégicas e gerenciais que priorizem a melhoria contínua de produtos e processos.

## **1.1 Tema**

O tema desta dissertação é o Seis Sigma e a britagem de uma construtora de rodovias. O projeto será implantado e relatado conforme as fases da metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), sendo avaliadas as ferramentas estatísticas com melhores resultados para o processo em questão, de maneira que seja possível uma aplicação de forma ágil em outras unidades de britagem da empresa.

Os benefícios podem ser obtidos aplicando a metodologia de forma completa ou, também, com o uso de alguns dos princípios e técnicas propostas em cada fase do método. Neste projeto espera-se um benefício em nível de projeto, englobando empresa, obra local e unidade de britagem local, permitindo potencializar os resultados e aplicar as ferramentas de maneira organizada e sistemática.

## **1.2 Objetivos**

### 1.2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral, propor soluções para os problemas em todo o sistema produtivo do processo de britagem por meio da aplicação da metodologia Seis Sigma, de modo que se identifiquem e se reduzam as principais perdas produtivas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para que se cumpra o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- a) Entender o comportamento do processo de britagem da empresa;
- b) Determinar quais as principais ferramentas que podem ser utilizadas em cada fase do DMAIC, de modo que seja possível aplicá-las de forma rápida e prática nas outras unidades da empresa;
- c) Identificar as principais perdas do processo;
- d) Discutir os fatores críticos do sistema produtivo da empresa em relação a agilidade e flexibilidade entre obras e britagens;
- e) Cooperar para o desenvolvimento do setor da construção civil pesada, com a utilização de técnicas e ferramentas em um ambiente diferente da qual foram produzidas;
- f) Comparar os índices do processo de antes e depois das melhorias realizadas.

## **1.3 Justificativa**

Segundo Wiginescki (2009), ainda há pouco conhecimento e aplicação prática de princípios que possibilitem a redução das perdas nas empresas de construção de rodovias.

Não somente na construção civil, mas em qualquer indústria, o empenho em aperfeiçoar processos na maioria das vezes envolve a análise sistemática do processo, identificando os obstáculos que impedem o cumprimento dos prazos e metas e eliminando-os, como forma de melhoria contínua de processos e operações. Zellner (2011) confirma a relevância e a atualidade do tema e sugere a continuidade de pesquisa no âmbito de metodologias e melhoria de processos para os mais diversos segmentos da economia.

Conforme Werner e Rodrigues (2012), o Seis Sigma não está difundido nas áreas administrativas da maioria das empresas pesquisadas e ainda está restrito a áreas como manufatura e engenharia, o que torna esta pesquisa relevante devido às poucas aplicações na indústria da construção pesada. Todavia, segundo os autores, 91% das empresas que aplicam o Seis Sigma fazem uso da metodologia DMAIC. Conforme pesquisa realizada por Satolo et al., (2009), das empresas que asseguraram aplicar o Seis Sigma no Brasil, 5,1% delas eram do Estado do Rio Grande do Sul, e 5,0% representam o setor da Construção Civil em relação aos demais setores.

Esta pesquisa é importante uma vez que as diversas mudanças do mercado, como aumento da concorrência, mudanças de regimes de contratação (RDC – Regime Diferenciado de Contratação) e a necessidade de aumento de qualidade com baixo custo estão exercendo uma pressão contínua sobre as organizações a fim que estas proporcionem, progressivamente, melhores produtos com menores preços.

A disposição pela aplicação da metodologia Seis Sigma para a empresa estudada justifica-se pela identificação da baixa produtividade, a qual demandava horas extras para tentar minimizar os efeitos negativos sobre toda a empresa. De acordo com a Alta Gerência da organização, uma ação diferente se faz necessária, pois nos últimos anos as britagens da empresa acumulam grandes prejuízos.

Através do conjunto exposto anteriormente, este projeto se justifica já que o Seis Sigma pode atender à necessidade de minimizar custos, atender demandas dos clientes, ajudar na padronização das metas, aumentar a produtividade, entre outros fatores necessários para o processo proposto, sendo benéfico para a sociedade em geral. Assim, a aplicação da metodologia Seis Sigma em um processo produtivo da Construção Civil pode trazer resultados expressivos, em especial na Construção Pesada, a qual apresenta um déficit em relação à aplicação de conceitos e ferramentas de melhoria da qualidade e controle.

Por fim, destaca-se que duas hipóteses podem ser relacionadas ao estudo: uma delas está relacionada ao aumento de produtividade e redução de custos com a metodologia

proposta para uma britagem de uma construtora de rodovias; a outra está relacionada às melhorias em todo o processo produtivo da empresa, não somente nas britagens.

#### 1.4 Limitações da pesquisa

Conforme critérios definidos para a estruturação deste trabalho, alguns limites foram pré-estabelecidos. São os seguintes:

- *Assunto*: o foco deste trabalho é a aplicação de ferramentas e técnicas estatísticas integradas no ciclo DMAIC em uma unidade de britagem. Não serão abordados aspectos como cadeias produtivas, ferramentas específicas e abordagem técnica das atividades das obras ou do Seis Sigma, nem mesmo treinamento em *Green-Belts*, *Black-Belts* e *Master Black-Belts*.

- *Campo de atuação e extensão*: o modelo estudado é de uma empresa específica, e as propostas de melhorias que poderão surgir talvez não se adaptem a outras organizações;

- *Nível de investigação*: pretende-se avaliar o modelo de gestão e execução de uma britagem por meio de um estudo de caso. As ferramentas serão aplicadas dentro de um conjunto de procedimentos já determinados. Sendo assim, os estudos nas respectivas ferramentas restringem-se aos conhecimentos necessários para aplicação e análise crítica dos resultados. Além disso, as ferramentas utilizadas serão determinadas conforme a disponibilidade e realidade da empresa e podem ser aplicadas em mais de uma fase da metodologia DMAIC.

- *Informações*: as britagens da empresa estão localizadas em lugares remotos, com dificuldade de acesso e não há conexão com internet, o que pode prejudicar o levantamento dos dados.

- *Cultural*: o setor não possui uma cultura voltada para a melhoria contínua, o que pode dificultar a implementação em campo.

Esta pesquisa está organizada em (i) introdução, (ii) revisão de conceitos, (iii) metodologia de aplicação, (iv) desenvolvimento e resultados e (v) considerações finais.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico deste trabalho foi dividido em Qualidade, Controle Estatístico do Processo, Técnicas Estatísticas, em que se faz uma abordagem inicial sobre construção civil, Seis Sigma e DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*).

### 2.1 Qualidade

A qualidade dentro do contexto das empresas é uma característica primordial, desde os processos até os produtos. As organizações brasileiras, tanto privadas quanto estatais, vêm buscando constantemente se aprimorar nesse item, até mesmo para conseguir competir no mercado mundial com produtos e serviços de qualidade.

Conforme Eckes (2001), a atenção com a qualidade é intensamente influenciada pela troca das atividades agrícolas para as industriais desde o início do século XX, passando de uma produção artesanal para uma produção em massa. A garantia da qualidade dos produtos ou serviços ocorreu conforme a colocação de especialistas que vistoriavam os produtos e suas características das peças após sua produção.

Segundo Ohno (1997), no início da década de 70, o conceito de qualidade para os norte-americanos começou a mudar: eles passaram a enxergar além das diferenças físicas que os carros apresentavam na época. Entre os fatores que contribuíram para essa alteração em relação à qualidade pode-se citar:

- entrada das mulheres no mercado de trabalho;
- necessidade de automóveis mais econômicos e de baixo custo;
- aumento da qualidade dos carros japoneses e com menor custo;
- tentativa americana de recuperação da qualidade.

Falconi (2004) resume o conceito de qualidade com esta definição: “um produto ou serviço de qualidade é aquele que atinge por completo, de forma confiável, acessível, e no tempo certo os objetivos do cliente”. Isso significa, para o produto, um projeto ideal; sem erros e com baixo custo; segurança do cliente, entrega no prazo correto, no local combinado e

na quantidade exata.

De acordo com Deming (1990), a qualidade não vem da inspeção, e sim da melhoria do processo produtivo. O autor esclarece que a melhora na qualidade não vem da inspeção; esta apenas a detecta. Assim, o presente trabalho constatará falhas, focando na melhoria do processo.

Montgomery (2004) define qualidade como algo inversamente proporcional à variabilidade, ou seja, se a variabilidade de um produto ou processo decresce, a qualidade aumenta. O autor também enfatiza que uma melhoria na qualidade é obtida com a redução da variabilidade nos processos; portanto, menos reparos significam menos retrabalho, redução de tempo, esforço e dinheiro. Para gerenciar a qualidade abrangem-se três focos: produção, paradas e má qualidade, podendo esta ser uma consequência da perda de informações ao longo do processo.

Para Benetti (2010), a variabilidade pode ser de produto ou de processo, ou seja, se a variabilidade de um produto ou processo decresce, a qualidade aumenta. Segundo Bernardes (2010), é necessário diminuir a variabilidade no processo produtivo, visto que, quando verificados os prazos das equipes de produção, a variabilidade aumenta o tempo de ciclo e também o número de atividades que não agregam valor.

Já para o controle do processo utilizam-se técnicas que auxiliam a implantação de uma metodologia de controle. Bonduelle (1997) assegura que as ferramentas de controle simbolizam as características técnicas do gerenciamento da qualidade. Para Campos (2003), é uma metodologia de caráter preventivo e com abordagem para a melhoria contínua da qualidade.

De fato, a Metodologia Seis Sigma é uma estratégia de negócio bem conhecida, utilizada para a melhoria da qualidade por meio de um conjunto de métodos estruturados e medidas estatísticas para avaliar e melhorar as operações produtivas das organizações (ANTONY et al., 2012).

Constata-se, pois, que qualidade pode ser considerada de diversas formas. Ela muda no modo como é requisitada, e as ferramentas disponíveis são muitas. Pode-se, então, afirmar que a qualidade muda conforme o modo de percepção de cada membro e vários fatores, como cultura, modelo intelectual ou mesmo tipo de serviço ou produto feito pela empresa.

Uma escolha torna-se mais clara quando se estabelecem critérios que sirvam para julgar um produto. Em algumas situações, tais critérios são relativamente simples de identificar e estabelecer. Para dispositivos simples, não é difícil enumerar algumas características que provavelmente são relevantes. Assim, a qualidade em conformidade com

os requisitos é interessante e fundamental para esse trabalho, pois é preciso um ponto de referência para julgar um produto (TOLEDO et al, 2013). E o Seis Sigma permite ajudar na idéia de como efetuar esse julgamento e, por fim, pode mostrar como o processo todo pode ser documentado, analisado e os resultados transmitidos a outras pessoas.

## 2.2 Seis Sigma

As origens dos Seis Sigma estão atreladas aos trabalhos feitos em prol da qualidade. O valor do programa se dá não pelo uso de ferramentas novas, mas pela maneira como é realizada (AMADO; ROZENFELD, 2006). Segundo Campos (2003, p. 59), “Seis Sigma é uma estratégia que busca a satisfação dos clientes e de menores custos pela redução da variabilidade e, conseqüentemente, dos defeitos”. Também representa uma medida de desempenho e meta para operação de processos, com uma taxa de 3,4 falhas por milhão de atividades ou “oportunidades”.

O Seis Sigma pode ser considerado uma metodologia organizada e metódica empregada para aprimorar a performance dos processos ou qualidade dos serviços através de resultados como a redução da variação utilizando-se de métodos estatísticos e científicos e o método estatístico empregado para medir a capacidade de um processo produzir sem defeitos (ABOELMAGED, 2010). Segundo RAY (2010), na maioria dos casos, uma organização utiliza a estratégia Seis Sigma para alcançar benefícios na lucratividade ou na satisfação do cliente.

Pande et al.,(2001), o programa Seis Sigma é um sistema robusto, cujo objetivo é elevar ao máximo os resultados das organizações. Um processo Seis Sigma significa produzir um produto ou um serviço com 0,0003% de falhas, sendo que, geralmente, a ocorrência de perdas e refugos é significativamente menor em processos Seis Sigma.

Entretanto, Perez-Wilson (1999) explica que um processo Seis Sigma seria robusto mesmo que o processo sofresse uma variação significativa de 1,5 sigma em torno da média, pois os clientes não perceberiam a diminuição da qualidade. Assim, um processo Seis Sigma, considera que pode haver uma oscilação em torno da média de até 1,5 sigma, ficando próximo de mais ou menos 4,5 sigma no longo prazo. A Figura 1 apresenta um processo Seis Sigma com deslocamento da média do processo.

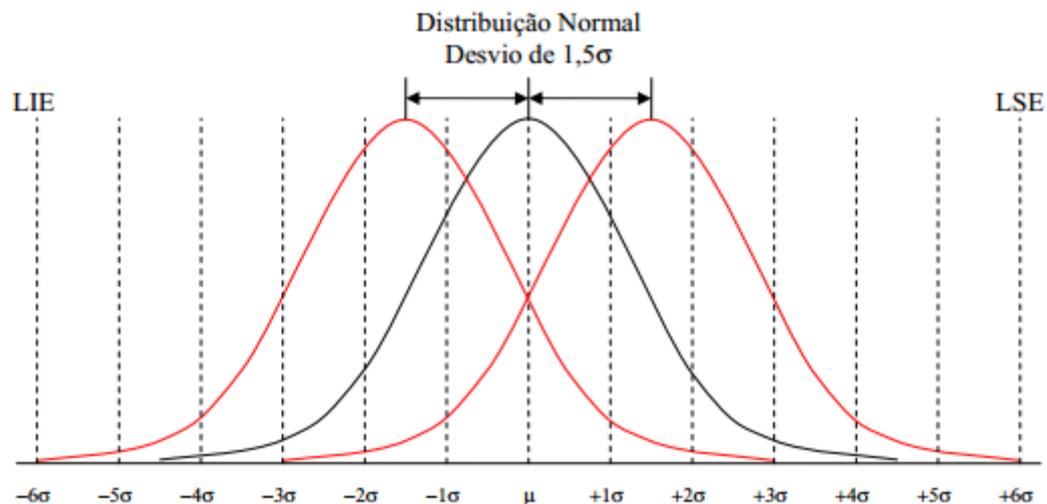


Figura 1 - Deslocamento de 1,5 sigma da média do processo

Fonte: Baba (2008)

O limite de inferior de especificação (LIE) e o limite superior de especificação (LSE) representam os limites de especificação do projeto. Quando esses limites são excedidos, significa que o produto ou processo falhou (BABA, 2008).

O sucesso, melhoria e gerenciamento de um processo dependem diretamente da coleta e análise de dados que o caracterizam e servem de base para o seu redesenho (ROHLEDER; SILVER, 1997). Para isso, é necessário identificar as atividades que não agregam valor, as quais, conforme Ghinato (1996), são conhecidas como perdas do processo produtivo, e é um dos princípios básicos do modelo de administração da empresa japonesa.

O Seis Sigma pode ser definido como uma estatística avaliada para um parâmetro de um produto em relação a uma especificação, tolerância proposta ou meta (WERKEMA, 2004; PEREZ-WILSON, 1999; ANTONY, 2012). Quando visto como uma meta, o objetivo é atingir quase zero defeito para o parâmetro proposto.

O surgimento da metodologia ocorreu na fabricante de sistemas e equipamentos chamada *Motorola*, em 1987. Para a corporação atingir o nível Seis Sigma constituía, na prática, atingir o zero defeito (PEREZ-WILSON, 1999). Na sua origem, a metodologia estava relacionada a um conceito de qualidade e uma abordagem para solução de problemas, no entanto evoluiu para um processo de melhoria geral da organização (ANTONY, 2012).

Decorrente do sucesso inicial obtido pela *Motorola*, outras companhias se interessaram pela metodologia, tais como a *Asea Brown Boveri* na unidade de transformadores, e a *General Electric*, a qual passou rapidamente dos 10% de margem operacional para os 19%. Convém ressaltar que esta organização lutou mais de cem anos para passar dos 10% (PEREZ-WILSON, 1999). A partir deste marco, a metodologia Seis Sigma difundiu-se rapidamente.

Dentre os objetivos do gerenciamento da produção da empresa japonesa está o aumento do lucro por meio da redução dos custos. Para tanto, ainda hoje se faz uso das clássicas ferramentas da qualidade, que, embora venham sendo utilizadas há muito tempo, seguem fornecendo uma grande contribuição para o mapeamento e o diagnóstico de processos (CARPINETTI, 2010).

Pande *et al.*, (2001) ressalta a importância dos treinamentos para as equipes no início do projeto e, como fator de sucesso para um adequado treinamento, deve-se abordar alguns princípios, como o enfoque na aprendizagem de forma prática e com lições realistas, construir conhecimento e ter variedade de estilos de aprendizagem. Já Berdebes (2003) salienta que o sucesso da prática da metodologia depende principalmente dos profissionais devidamente treinados, sendo que é necessário ter o conhecimento das ferramentas que serão aplicadas.

Ainda em relação à implementação do programa Seis Sigma, Campos (2005) apresenta três níveis para sua implementação, sendo um para a transformação do negócio, um para aprimoramento estratégico e um nível para a resolução de problemas, tendo como características a implantação em toda a empresa e forte mudança cultural, foco em estratégias ou deficiências operacionais e, por último, o nível voltado a um problema específico ou processo.

Assim, o programa Seis Sigma, quando implantando, busca obter a excelência por meio do progresso dos processos produtivos (SATOLO *et al.*, 2009; LINDERMAN *et al.*, 2003; MEHRJERDI, 2011). Perez-Wilson (1999) destaca que alcançar o Seis Sigma significa causar uma mudança cultural em uma organização.

Conforme Santos e Martins (2010) e Aboelmaged (2010), o Seis Sigma está se concretizando como uma forma de causar a melhoria do desempenho do negócio da empresa, aumentar a competitividade e incentivar ações estratégicas e gerenciais que priorizem a melhoria contínua de produtos e processos. Werkema (2004) salienta que a abordagem e a forma de implementação do programa são únicas.

De acordo com Werner e Rodrigues (2012), o programa é composto de vários projetos, os quais são criados para solucionar problemas ou gerar melhorias nos processos. Para consolidar o programa Seis Sigma nas empresas, conforme Perez-Wilson (1999) é

necessário adotar uma metodologia consistente, clara, concisa e compreensível. Já Werkema (2004) e Eckes (2001) não utilizam o termo metodologia, e sim método estruturado e tático, respectivamente.

Segundo Ross (2014), cabe destacar que no Brasil ainda tem-se uma dificuldade em identificar um banco de dados atualizado que tenha informações de organizações que utilizam a estratégia Seis Sigma. Essa dificuldade se reflete em poucos modelos de trabalhos aplicados na realidade industrial brasileira.

Para Santos e Jesus (2014), as empresas no Brasil estão implementando o Seis Sigma conforme os procedimentos internacionais, e em comparação com a literatura, quatro fatores críticos de sucesso aparecem repetidamente como os mais importantes:

- comprometimento da alta administração;
- treinamento;
- ligação do Seis Sigma com as estratégias dos negócios;
- seleção e priorização dos projetos.

Cumprido salientar, no entanto, que, ao avaliar as distintas metodologias disponíveis, podem-se identificar fases semelhantes que, apesar de ter nomes diferentes, completam sequências de melhoria que podem ser consideradas equivalentes. Em cada uma dessas etapas, são empregadas ferramentas, podendo ser desde uma simples ferramenta da qualidade até técnicas sofisticadas de otimização de processos.

### **2.3 Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar - DMAIC**

Werkema (2004) salienta que a abordagem Seis Sigma precisa produzir resultados expressivos em um breve período, sendo imprescindível que exista reconhecimento e comprometimento geral por parte da organização. Assim, para a realização do projeto, é muito utilizado o método DMAIC, conforme (BRADY & ALLEN, 2006). A valorização do método se deu pela forma sistemática de realização da melhoria contínua de uma maneira objetiva, utilizando técnicas e ferramentas estatísticas (AMADO e ROZENFELD, 2006; MEHRJERDI, 2011).

O DMAIC possui cinco fases, que são Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar,

tendo cada uma um objetivo diferente, havendo uma integração de ferramentas e atividades entre cada fase do ciclo (REIS, 2003; PANDE et al., 2001; WERKEMA, 2004; ECKES, 2001, RASIS et al., 2002), formando este um dos diferenciais do programa Seis Sigma, uma vez que a maior parte dos métodos estatísticos existe há décadas.

Todas as fases juntas possibilitam uma adequada organização da implantação, desenvolvimento e conclusão da maior parte dos projetos Seis Sigma (ANDRIETTA; MIGUEL, 2007). Na Figura 2 é mostrado o método DMAIC e suas respectivas fases.

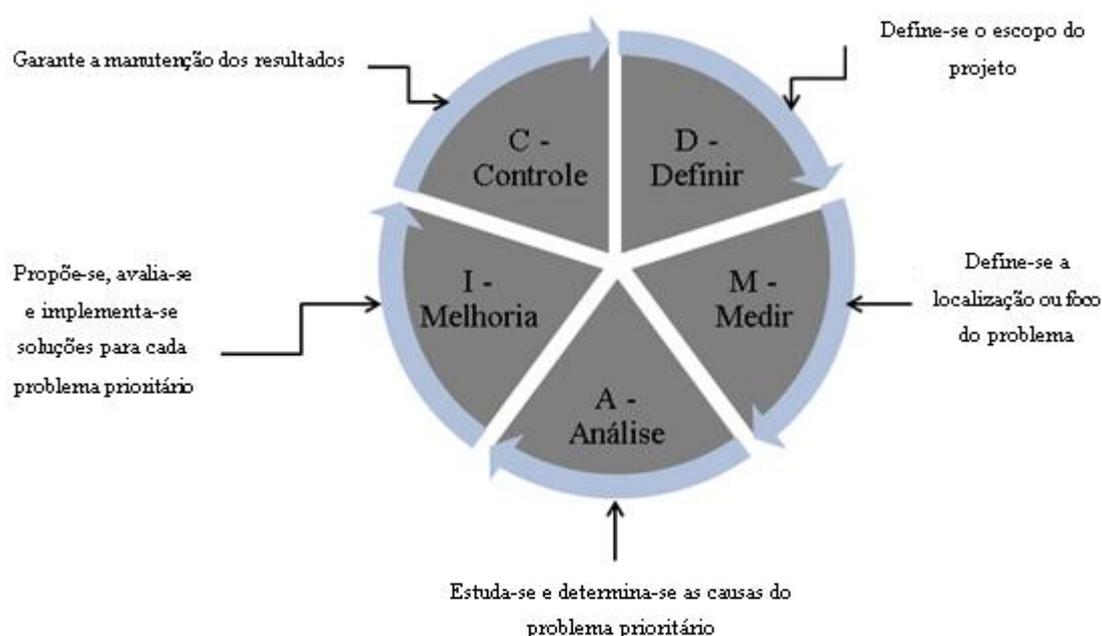


Figura 2 – Método DMAIC

Fonte: adaptado de Werkema (2004)

Segundo Campos (2005), todas as fases DMAIC devem ser cumpridas. Nenhuma das fases deverá deixar de ser analisada, pois elas seguem uma lógica de resolução de problemas, e não cumprir uma delas pode prejudicar o andamento do projeto ou até mesmo os resultados.

Para Cardoso et al., (2014), é indiscutível que a utilização de ferramentas estatísticas do controle da qualidade, como o gráfico de Pareto, diagrama de Ishikawa, folha de verificação e brainstorming, são importantes em qualquer situação cujo objetivo seja

desenvolver uma técnica para a identificação e soluções de problemas para otimizar a produção, diminuindo as perdas que afetam o lucro da empresa.

Outra ferramenta muito utilizada para a solução de problemas nos programas de melhoria da qualidade é o PDCA – Planejar, Desenvolver, Checar e Agir (*Plan - Do - Check - Act*). Segundo Ramos (2014), o diferencial do DMAIC em relação ao PDCA é a grande importância dada ao planejamento dos projetos, antes de qualquer execução das ações e uma das características que difere o DMAIC do PDCA é quando não há comprovação da eficácia da melhoria, pois no DMAIC deverão ser retomadas as etapas que obtiveram falhas quanto a sua execução e no PDCA é proposto que todas as etapas de método sejam revistas.

### 2.3.1 Fase Definir – *Define*

Nesta fase o problema é descrito. Deve-se selecionar qual projeto será utilizado para solucionar este problema e definir a meta que deverá ser alcançada (WERKEMA, 2004; ECKES, 2001).

Segundo Rasis et al., (2002) este problema é a razão básica para o desenvolvimento de um projeto Seis Sigma. Para Rotondaro et al (2002), além de definir o objetivo do projeto de melhoria, deve-se definir qual é o problema, ou efeito indesejado de um processo, o qual deve ser eliminado ou melhorado pelo projeto, sendo fundamental que o projeto esteja relacionado aos requisitos dos clientes.

O escopo do projeto determina os limites onde a equipe estará trabalhando e também com o que a equipe não estará envolvida. Além disso, para que o projeto seja gerenciável, o escopo do projeto deve determinar quais os recursos estarão disponíveis e o tempo para concluir o projeto com sucesso (ROTONDARO et al., 2002).

Entre as ferramentas que podem ser utilizadas (REIS, 2003; RASIS et al., 2002; WERKEMA, 2004, CAMPOS, 2005), destacam-se:

- (i) Mapa de raciocínio;
- (ii) VOC - Voice of the Customer (Voz do Cliente);
- (iii) Carta de projeto;
- (iv) SIPOC (S = *supplier*, I = *input*, P = *process*, O = *output*, C = *customer*).

- Mapa de raciocínio: o mapa de raciocínio é um documento que apresenta de forma progressiva o conhecimento existente através de perguntas e passos. Com isso, pode-se dizer que o mapa apresenta o caminho a ser percorrido para chegar aos objetivos.

O mapa de raciocínio deve ter a meta do projeto, questões e variantes importantes para o projeto e o produto final. Segundo Werkema (2004) o mapa de raciocínio é uma documentação progressiva da forma de raciocínio durante a execução de um trabalho ou projeto, devendo documentar:

- a meta inicial do projeto (objetivo);
- a apresentar todas as atividades desenvolvidas;
- respostas as todas as questões levantadas;
- apresentar as principais alternativas e perguntas iniciais a serem consideradas (perguntas direcionadoras);
- ter uma natureza evolutiva em que força os responsáveis pela condução do projeto a questionar a lógica de seu pensamento.

No anexo 1, há um exemplo de mapa de raciocínio.

- VOC – Voice of the Customer (Voz do Cliente): esta ferramenta define as principais necessidades e expectativa dos clientes. Alguns passos podem ser utilizados: (i) identificação dos clientes, (ii) coleta de dados e (iii) priorização das características da qualidade.

Segundo Pande et al., (2001) a VOC permite uma observação minuciosa das necessidades dos clientes de forma que sejam transformadas em variáveis para o projeto. O objetivo é focar naquilo que realmente importa e é valorizado para o cliente.

- Carta do Projeto: a carta de projeto é semelhante a um contrato entre a equipe que vai conduzir o projeto e os gerentes da organização. Segundo Werkema (2004), a carta tem o objetivo de manter a equipe focada nos objetivos da empresa, deixar definido o que é esperado com o projeto e manter a equipe dentro do escopo. Além disso, permite definir abertamente os aspectos específicos e o plano de melhoria, as funções a serem desenvolvidas e as possíveis restrições impostas pela empresa.

Para a definição do tema de um projeto Seis Sigma, Werkema (2012) sugere que sejam respondidas as seguintes perguntas:

- qual é o problema a ser estudado?
- qual a meta?

- quais são os envolvidos?
- qual o impacto financeiro do projeto?

No Quadro 2 é apresentado um modelo de carta de projeto.

| <b>Carta de Projeto</b>                                |                          |
|--|--------------------------|
| <b>1. Nome/Descrição do Projeto:</b>                   |                          |
| <b>2. Objetivo(s) do Projeto</b>                       |                          |
| <b>3. Participantes</b>                                |                          |
| <b>Nome</b>  | <b>Função no Projeto</b> |
|  |                          |
| <b>4. Medição do Projeto</b>                           |                          |
| <b>5. Principais Datas</b>                             |                          |
| Início: _____  |                          |
| Conclusão da Fase de <b>Definição</b> : ____/____/____ |                          |
| Conclusão da Fase de <b>Medição</b> : ____/____/____   |                          |
| Conclusão da Fase de <b>Análise</b> : ____/____/____   |                          |
| Conclusão da Fase de <b>Melhoria</b> : ____/____/____  |                          |
| Conclusão da Fase de <b>Controle</b> : ____/____/____  |                          |
| <b>Elaboração:</b>                                     | <b>Aprovação:</b>        |
| _____  | _____                    |
| Assinatura Representante da Equipe/Data                | <i>Champion</i> /Data    |

Quadro 2 - Modelo de Carta de Projeto

Fonte: adaptado de Reis (2003)

- Diagrama SIPOC (S = *supplier*, I = *input*, P = *process*, O = *output*, C = *customer*): o Diagrama SIPOC é um mapeamento de processo em nível macro e tem como objetivo possibilitar uma visualização do processo que está sendo melhorado. Nele são demonstrados os fornecedores, as entradas, as saídas e os consumidores do processo.

Segundo Eckes (2001), o objetivo dessa fase é criar uma representação de como o processo esta operando, sempre cuidando para que pontos de início e fim do processo não fujam do escopo. Para Pande et al. (2001), este mapa define apenas as atividades principais do processo, não entrando nos detalhes, como pontos de decisão, sendo que um mapeamento mais detalhado pode ser feito na fase de medição ou análise.

Segundo Baba (2008), a sigla do SIPOC significa:

- Fornecedores (*Suppliers*): pessoas ou grupos que fornecem as entradas do processo;
- Entrada (*input*): materiais, informações ou pessoas;
- Processo (*Process*): processo de produção com uma sequência de atividades;
- Saída (*Output*): produto ou informações que são enviadas ao cliente;
- Clientes (*Client*): pessoa ou empresa que recebe a saída.

Na Tabela 1 é apresentado um exemplo de diagrama SIPOC.

Tabela 1 - Modelo de diagrama SIPOC

| Supplier     | Input        | Process            | Output    | Customer |
|--------------|--------------|--------------------|-----------|----------|
| Fornecedores | Entradas x's | Passos do processo | Saida y's | Clientes |
|              |              | Etapa 1            |           |          |
|              |              | Etapa 2            |           |          |
|              |              | Etapa 3...         |           |          |

Fonte: adaptada de Campos (2005)

### 2.3.2 Fase Medir – *Measure*

Nesta fase precisam ser decididas quais as características do projeto que deverão ser monitoradas, de que forma os dados serão obtidos e registrados e quais as especificações do projeto que serão medidos (ECKES, 2001).

Reis (2003) sugere a seguinte sequência para a fase de medição: (i) definir as variáveis de saída, (ii) elaborar mapa detalhado do processo, (iii) elaborar um plano de coleta de dados, (iv) medir desempenho das variáveis de saída. Para Rasis et al.,(2002) e Pande et al.,(2001), nessa fase se faz necessário entender as características críticas à qualidade, as quais podem ser chamadas de “resultado-chave” ou variáveis associadas aos Limites de Especificação.

Segundo Eckes (2001), o plano de coleta de dados é uma das ferramentas mais

importantes para que a fase de medição seja eficaz. O plano de coleta de dados define “quem”, “o que”, “onde”, “quando”, e “como” medir.

Durante essa fase, podem ser utilizadas as seguintes ferramentas (REIS, 2003; RASIS et al., 2002; WERKEMA, 2004):

- Mapeamento do processo;
- Estatística descritiva;
- *BoxPlot*: é um gráfico que apresenta simultaneamente inúmeras características dos dados, como dispersão, simetria ou assimetria, localização e presença de discrepâncias (*outliers*), segundo Werkema (2012). A localização pode ser representada pela mediana, e a dispersão pode ser pelo valor mínimo, primeiro quartil, terceiro quartil e valor máximo.

- Mapeamento do Processo: o Mapeamento do processo permite formalizar o conhecimento existente sobre o processo, podendo descrever os limites, as principais atividades, os parâmetros do produto final, os parâmetros do produto durante o processo e os parâmetros do processo. Para Pande et al.,(2001) o mapeamento do processo é outra ferramenta importante do Seis Sigma.

Campos (2005) ressalta que o mapeamento do processo é uma descrição gráfica que demonstra a sequência das atividades de forma lógica e interconectada, necessária para que o processo atinja sua finalidade. Segundo Werkema (2004), com base no mapeamento do processo é possível descrever alguns limites, principais atividades, parâmetros do produto final e também das características durante a produção. Entretanto, essa ferramenta também pode ser utilizada em outras fases do projeto.

Conforme Pande et al. (2001), o mapa do processo pode ser analisado em busca de problemas como:

- atividades repetidas ou redundantes no processo;
- gargalos ou pontos onde o volume de trabalho é maior do que a capacidade;
- pontos em que há transferências mal sucedidas;
- pontos onde ocorrem retrabalhos;
- pontos onde tem escolhas, verificações, decisões ou onde ocorre atrasos.

- Estatística Descritiva: os métodos de estatística descritiva são usados para descrever as características de um conjunto de dados. Um conjunto de dados é geralmente definido através de: (i) Forma da distribuição dos dados, (ii) medida de localização e (iii) medida de variação ou dispersão. Destaca-se o uso de tabela de frequência, histograma e polígono de frequência, medidas de tendência central, medidas de variação e diagrama de caixa (*Box Plot*) e gráficos sequenciais.

Segundo Eckes (2001), em alguns casos a validação da causa raiz do problema pode ser feita pela simples análise dos dados disponíveis, que podem explicar 99% do processo. A estatística descritiva pode em alguns casos fornecer informações suficientes para validar uma causa.

Os gráficos sequenciais mostram os dados ao longo do tempo, sendo muito utilizados para verificar as tendências, podendo haver causas especiais ou não. São exemplos de causas especiais: desgaste de ferramentas, mudanças das condições ambientais, mudança brusca no processo, mudanças nas matérias-primas, mudança de operadores, equipamento sem calibragem e até mesmo medições erradas.

Já o Histograma, explica Werkema (2004), é um gráfico de barras que contém as informações de maneira que é possível visualizar uma distribuição de dados de um fenômeno estudado e a noção da localização do valor central e da dispersão em torno dele. Entre as análises que podem ser feitas está a possibilidade de verificar se o processo está centrado no valor nominal e se é necessária uma medida para reduzir a variabilidade.

Com os dados em uma tabela de frequência, do plano de coleta de dados, pode-se criar o histograma. Segundo Rotondaro et al. (2002) um histograma é uma representação gráfica dos dados quantitativos agrupados em classe de frequência, que permite verificar a forma da distribuição, o valor central e a dispersão dos dados.

O histograma pode ser assimétrico e com um pico, com declive, com mais de um pico, com uma mistura de várias distribuições com médias diferentes, com isolamentos e simétrico ou normal.

As medições das variáveis de saída podem ser analisadas utilizando séries temporais com cartas de controle e média fixa ou móvel. Conforme Werkema (2004), as técnicas estatísticas de previsão com base em Séries Temporais modelam matematicamente o comportamento futuro do processo da variável de interesse. A série pode ter componentes de tendência, ciclo, sazonalidade e ruído.

Também pode ser usado a NGT (*Nominal Group Technique*) que é um processo de grupo para identificação de uma característica. Para a Seleção de Variáveis, pode utilizado o conhecimento técnico da equipe.

Por fim, destaca-se que a fase de medição é crucial para o projeto, pois é a definição e medição das variações com o objetivo de conhecer as causas principais dos problemas.

### 2.3.3 Fase Análise - *Analyze*

Para Eckes (2001), nesta etapa são analisados os dados e os processos envolvidos e determinadas as causas que contribuem para o desempenho atual do processo. Reis (2003) recomenda a seguinte sequência para a fase de análise com as atividades e a integração das ferramentas: (i) analisar dados do processo, (ii) verificar as relações entre as variáveis de entrada e saída, (iii) quantificar a relação entre as principais variáveis, (iv) priorizar as principais causas e (v) identificar as variáveis de entrada com os maiores riscos.

De forma geral, nesta fase o objetivo é transformar os dados brutos em informações que permitam o entendimento do processo. Este estudo consiste na identificação das principais causas dos principais problemas que ocorre para cada característica crítica da qualidade (RASIS et al., 2002).

Para Eckes (2001), esta é considerada a fase mais importante do DMAIC, pois é durante a fase de análise que a causa raiz do problema é descoberta. Para isso um conjunto de variáveis são validados, os quais devem explicar o desempenho atual e quais as variáveis que mais estão influenciando no processo.

Segundo Reis (2003); Rasis et al. (2002) e Werkema (2004), para verificar as relações entre as variáveis envolvidas, podem ser utilizadas as seguintes ferramentas: diagrama de dispersão e NGT (*Nominal Group Technique*), que é uma técnica de priorização em grupo, já para quantificar o relacionamento entre as atividades: teste de hipóteses, análise de correlação e regressão, análise de variância, diagrama de dispersão e capacidade de processos. Para priorizar as principais variáveis, pode-se utilizar o gráfico de pareto para visualização.

- Diagrama de Dispersão: é um gráfico em que cada ponto representa um par de valores em relação a duas variáveis. No eixo X, encontra-se a variável independente e, no eixo Y, a variável dependente. Segundo Eckes (2001), diagrama de dispersão é uma

ferramenta que pode ser utilizada quando há suspeita sobre uma causa de um problema que precisa ser validada.

- Capabilidade de Processos: Paladini (2008) esclarece que capabilidade do processo se refere a um processo cuja operação não sofre influências externas, está sob controle estatístico e tem capacidade de produzir itens similares. Um estudo de capabilidade permite saber se o processo é uniforme ou não, e se tem condições de atender às especificações.

Dessa forma, o processo pode ser considerado capaz quando consegue atender às especificações, por meio dos índices Cp e Cpk, sendo que Cp mede o quanto o processo está se alastrando em relação à especificação e leva em consideração a dispersão em relação aos limites de especificação. Já o Cpk considera a dispersão e centragem em relação aos limites e mede o deslocamento em relação à especificação.

$$Cp = \frac{(LS - LI)}{6\sigma} \quad (01)$$

Onde:

- Cp: Capabilidade;
- LS: Limite Superior de Especificação;
- LI: Limite Inferior de Especificação;
- $\sigma$  : Desvio padrão.

$$Cpk = Cp - \frac{(Q - \bar{X})}{3\sigma} \quad (02)$$

Sendo:

- Cpk: Capabilidade nominal do processo;
- Cp: Capabilidade;
- Q: LS ou LI;
- LS: Limite Superior de Especificação;
- LI: Limite Inferior de Especificação;
- $\sigma$  : Desvio padrão.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores correspondentes do Cpk relacionado com o percentual de peças fora de especificação.

Tabela 2 - Escala de capacidade das etapas dos processos produtivos

| <b>Cpk</b> | <b>% peças fora da especificação (aproximado)</b> | <b>Capacidade</b>  |
|------------|---|--------------------|
| 0,33       | 32,0  | Totalmente Incapaz |
| 0,67       | 4,4   | Incapaz            |
| 1,0        | 0,27  | Capaz              |
| 1,33       | 0,0064  | Muito Capaz        |
| 1,67       | 0,0000  | Extremamente Capaz |

Fonte: Adaptado de RIBEIRO e CATEN (2012)

- Diagrama de Pareto: o diagrama de pareto favorece a identificação, a medição e a prioridade dos problemas mais constantes e as características de saída necessárias para o cliente. O gráfico ajuda a determinar qual a ordem em que, por exemplo, um problema deve ser resolvido levando em consideração a frequência de ocorrência, indicando a importância correta para cada categoria. Comumente a barra mais alta é a de maior relevância ou mais problemática, e a linha cumulativa, que mostra a soma percentual das barras.

Segundo Eckes (2001), o diagrama de pareto é uma ferramenta muito útil na análise dos dados brutos. O diagrama de pareto torna evidente a priorização de temas, possibilitando concentrar os esforços de melhoria nos pontos que representam as melhores oportunidades de ganho.

Para Rotondaro et al. (2002), as vantagens do diagrama de pareto são que os gráficos transmitem informações de maneira mais rápida do que tabelas e que todos na empresa, independente o nível hierárquico, terão o mesmo entendimento a respeito do assunto.

#### 2.3.4 Fase Melhoria – Improve

Werkema (2004) pondera que é neste período do projeto que devem ser geradas soluções possíveis para a eliminação ou minimização das causas fundamentais dos problemas detectados na etapa anterior.

Reis (2003) sugere a seguinte sequência para essa fase, contemplando atividades e a integração das ferramentas: (i) geração de alternativas de soluções, (ii) seleção das soluções e (iii) implantação das soluções.

Nessa fase do DMAIC, as ferramentas de destaque são as seguintes:

- *Brainstorming*;
- Projeto de Experimento;
- Solução inventiva de problemas (Triz): Esse método pode ser resumido nos seguintes passos: (i) identificação das características ou parâmetros a serem melhorados; (ii) identificação dos conflitos entre características; (iii) pesquisa dos princípios de inovação.

- Projeto de experimentos: quando um processo possui um número expressivo de variáveis, aplica-se uma técnica para identificação das mais importantes ou das que mais influência têm no processo e, através de arranjos ortogonais, aplica-se o projeto de experimento com um número reduzido de ensaios (ROSS; LOVERRI, 1991).

De acordo com Werkema (2004) e Montgomery (2004), um experimento pode ser considerado um método em que mudanças propositais são realizadas em variáveis de entrada de um processo ou sistema, de maneira que é possível avaliar as prováveis alterações ocorridas na variável resposta. Montgomery (2004) complementa que esta ferramenta necessita ser utilizada quando há suspeitas a respeito de que fator influencia mais ou menos na variabilidade observada na saída do processo e consiste em planejar experimentos capazes de gerar dados apropriados para uma eficaz análise estatística, o que resulta em conclusões válidas e objetivas.

Reis (2003) ressalta que a principal ferramenta da fase de melhoria é a experimentação planejada e resume as abordagens, Projeto de experimentos clássico (*design of experiments* – DOE), método de Taguchi e métodos de Shainin. O DOE Clássico tem uma ênfase maior na área estatística e nos projetos fatoriais; Taguchi tem como principal característica a simplicidade e ser um projeto chamado de projeto robusto de experimento (*Robust Parameter Design* – RPD). Já os métodos Shainin fazem uso de técnicas estatísticas com uma abordagem mais intuitiva.

Segundo Ross & Loverri (1991), o método de Taguchi corresponde a uma abordagem fora da linha da engenharia da qualidade e se distingue de outras ferramentas por conceitos específicos como:

- maximização de uma função perda da qualidade;
- maximização da relação sinal-ruído;
- arranjos ortogonais.

Para Freitas, Faleiro e Borges (2007) o objetivo pretendido com o RPD é desenvolver um projeto de produto ou processo em que os parâmetros especificados se tornem robustos aos efeitos dos fatores que causam a variabilidade no desempenho. Na abordagem de Taguchi para o RPD, as entradas do processo (*inputs*) podem ser classificadas em:

- parâmetros ou fatores de controle “Z” que são os parâmetros que podem ser facilmente controlados e manipulados durante a operação;
- fatores ou variáveis de ruído “R” que são variáveis que influenciam no funcionamento do sistema tendo um difícil monitoramento e controle.

Portanto, pode-se dizer que em todo sistema de engenharia têm maneiras de relação perfeita ou ideal entre as entradas e saídas do processo, na qual toda força aplicada (de entrada) é modificada eficientemente em energia para cumprir a função do sistema (FREITAS, FALEIRO, BORGES 2007).

Segundo Montgomery (2009), a metodologia proposta por Taguchi tem dois objetivos principais:

- projetar produtos ou processos que sejam robustos em relação às condições ambientais e à variabilidade de seus componentes;
- minimizar a variabilidade em torno de um valor nominal.

As chamadas Matrizes Ortogonais desenvolvidas por Taguchi para se idealizarem experiências, correspondem a matrizes fraccionadas, mas normalizadas de acordo com o número de fatores e dos níveis por fator considerados. A metodologia possibilita utilizar arranjos ortogonais explorando vários fatores, com um número razoável de níveis, com uma quantidade de certa forma pequena de experimentos (MONTGOMERY, 2009).

A representação tradicional dos arranjos desenvolvidos por Taguchi é do tipo  $L_n$  onde  $n$  representa o número de experiências a serem realizadas. Em relação aos graus de liberdade, eles medem a quantidade de informação existente, sendo que a medida que aumenta o número de fatores e ajustes, aumenta o número de graus de liberdade. Os graus de liberdade do fator é igual ao número de níveis dos fatores menos 1, vezes o número de fatores (REIS, 2003).

A escolha da matriz de Taguchi mais adequada, caso a caso, faz-se a partir do número de fatores principais a controlar e dos níveis de ajuste por fator, já os fatores não controláveis, são chamados de fatores de ruído. As matrizes disponíveis na literatura cobrem a maioria dos casos mais comuns, desde que os fatores controláveis apresentem os mesmos níveis, 2, 3 ou 4

e a interação entre os fatores seja, de fato, desprezável. Quando isso não acontece, há que utilizar as chamadas matrizes modificadas de modo a contemplar as particularidades próprias do problema em análise (ANAWA; OLABI, 2008).

Basicamente, em projetos complexos os parâmetros de processo não são fáceis de usar, isto é, quando o número de parâmetros do processo aumenta, levando a um grande número de experimentos. Para resolver esta tarefa, o método de Taguchi como um especial projeto de matrizes ortogonais, pode ser usado para estudar os parâmetros de processo com um pequeno número de experimentos (ANAWA; OLABI, 2008).

Para a análise, Button (2012) coloca que o método de Taguchi se baseia na resposta média para cada combinação de arranjo, e a variabilidade é analisada conforme uma razão sinal-ruído. Três razões sinal-ruído são comumente usadas:

- melhor nominal, usada quando se deseja reduzir a variabilidade em torno de um valor nominal;
- quanto maior melhor, usada quando se deseja maximizar os resultados;
- quanto menor melhor, usada quando se deseja minimizar os resultados.

Assim, a análise pode ser feita com gráficos, com os resultados dos valores médios e das razões sinal-ruído para cada variável de influência e seus níveis.

Filho (2009) sintetiza sua pesquisa com a possibilidade de maximizar um processo e obter um projeto robusto com o uso do método de Taguchi e uso da ferramenta superfície de resposta. Paiva (2006) em sua pesquisa literária conclui que a utilização do sinal-ruído realmente é uma forma interessante de se padronizar a busca pela otimização das respostas.

Em relação ao planejamento do experimento, Werkema e Aguiar (1996) salientam que tem como objetivo determinar as causas mais influentes no processo e determinar as faixas de valores para os itens de verificação com associação aos fatores de controle. Os fatores podem ser definidos como as variáveis cuja influência sobre a variável resposta, está sendo estudada, e os fatores de ruído são os fatores que não são de interesse mas que influenciam nas respostas do experimento.

Para Button (2012), a preparação de um modelo físico-matemático, mesmo que aproximado, possibilita um planejamento experimental mais orientado, definindo-se valores de estudo adequados para as variáveis, reduzindo desta forma o número de ensaios. Montgomery (2009) sugere um procedimento para o planejamento do experimento e análise dos resultados:

- reconhecimento e definição do problema, que geralmente depende da experiência já adquirida;
- escolha das variáveis ou fatores e das faixas de valores em que as variáveis serão estudadas, definindo o valor específico de cada fator. Quando o objetivo for avaliar a influência de uma variável específica, o número de níveis deve ser reduzido;
- escolha da variável de resposta de modo que se garanta a objetividade na análise dos resultados;
- delineamento dos experimentos, definindo assuntos como o número de réplicas e sequências;
- execução dos experimentos;
- análise dos resultados, que pode ser feito através de gráficos e métodos estatísticos;
- elaboração de conclusões e recomendações

- Brainstorming: o Brainstorming ou tempestade de ideias é uma método utilizado com o objetivo de aproveitar ideias e procurar a potencialidade criativa de um indivíduo ou de um grupo, de maneira que seja possível aproveitá-las a serviço de objetivos pré-determinados (SANTOS e MARTINS (2010). Esses objetivos podem ser a identificação de prováveis causas ou soluções para algum problema ou parada de produção, a criação de produtos, inovações e melhoria no processo, definições estratégicas da organização, entre outros.

Durante o brainstorming, todas as ideias sugeridas são inicialmente registradas, sem considerar a importância da ideia, sua usabilidade e praticabilidade. Após a coleta de todas as sugestões, uma análise crítica para seleção de ideias é realizada e pode ser apoiada pelo uso de diagramas (CAMPOS, 2005).

Para Toledo et al (2013), o brainstorming pode ser utilizado como suporte a muitas ferramentas da qualidade. O objetivo é criar ideias por um grupo de indivíduos reunidos de maneira rápida e dinâmica para debater os principais problemas da organização e suas respectivas causas.

### 2.3.5 Fase Controle – *Control*

Eckes (2001) destaca que, nesta fase do projeto, aplicam-se as soluções da etapa anterior em larga escala e é feito o controle do processo. Para Werkema (2004) também é necessário que ocorra uma padronização das alterações realizadas no processo e também sugere a transferência dos conhecimentos adquiridos durante o projeto para outros membros da organização, pois nenhuma mudança significativa se mantém sem uma profunda mudança nas formas de pensar e interagir com as pessoas.

Welkema (2004) sugere os gráficos sequenciais, cartas de controle estudos de capacidade de processo para estabelecer os parâmetros do processo e manter os ganhos obtidos. Agora, para um melhor nivelamento do conhecimento será feita uma abordagem sobre o Controle Estatístico de Processo, uma vez que durante todas as fases do DMAIC é necessário um conhecimento básico para a aplicação de algumas ferramentas.

## 2.4 Controle Estatístico do Processo (CEP)

O CEP é uma técnica que se resume em examinar o processo, instituir padrões, confrontar desempenhos, analisar e estudar desvios, procurar e implementar soluções, após as modificações reavaliar o processo, buscando a melhor performance do serviço (BONDUELLE, 1997). O controle de processo consiste em um modelo de fornecimento de informações composto por quatro estruturas principais: o processo, informação, ação nos resultados e ação no processo. O processo é a concordância de máquinas, equipamentos, métodos, pessoal, materiais e o local de trabalho, que devem trabalhar com o seguinte propósito: produção de bens e/ou serviços (MONTGOMERY, 2004). Já as informações indicam a realidade do processo e as ações são preventivas, enquanto nos resultados são corretivas.

Se um produto ou serviço deve atender principalmente às necessidades dos clientes, esse produto deve ser produzido por um processo estável, o qual deve ter resultados constantes ao longo de um projeto quando operado em condições já definidas (MONTGOMERY, 2004). Tal processo deve ser capaz de operar sem variabilidade, e o CEP é uma ferramenta capaz de estabilizar processos e aumentar sua capacidade (FALCÃO,

2001).

No momento em que a variabilidade dos processos de produção é reduzida, o CEP ajuda na melhoria da qualidade intrínseca, na confiabilidade e produção e, conseqüentemente, possibilita a redução de custos. Logo, obtêm-se produtos e serviços com qualidade superior e preços menores (MONTGOMERY, 2004).

Em suma, o CEP é uma metodologia que permite conhecer o processo, mantê-lo sob controle estatístico e melhorar a sua capacidade, ou seja, reduzir a variabilidade do processo (SCHISSATTI, 1998). Tal melhoria só será possível identificando as causas que contribuem para a variabilidade e buscando meios de eliminá-las (MONTGOMERY, 2004). Conforme Ribeiro e Caten (2001), essa identificação das causas é o primeiro passo para iniciar as melhorias nos processos.

Pode-se, portanto, afirmar que o CEP é um processo preventivo no qual os resultados são confrontados continuamente, identificando as evoluções e tendências para as variações mais importantes e aos poucos excluindo ou controlando estas variações com o intuito de diminuir os índices, podendo atuar e tomar providências em tempo real.

Pode haver dois tipos de causas que originam a variabilidade (PALADINI, 2008): as causas comuns e as especiais. As causas comuns são fontes de variações que atuam de forma aleatória (FALCÃO, 2001), ocasionando uma variabilidade inerente ao processo. Por mais eficiente que seja a operação do processo, essas causas estarão presentes (MONTGOMERY, 2004).

A variabilidade ocasionada por causas comuns apresentará uma distribuição de probabilidade normal (MONTGOMERY, 2004), ou seja, os processos que operam sob causas comuns são considerados em controle estatístico, pois a variabilidade será a mesma. Segundo Falcão(2001), para melhorar os processos que têm apenas causas comuns é necessário investir em tecnologia, equipamentos ou ainda trocar a matéria-prima.

As causas especiais são as que ocasionam variações grandes no processo. Diferentes das causas comuns, as aleatórias não possuem uma distribuição de probabilidades. Processos que operam sob tais causas são considerados fora de controle estatístico, já que, segundo Falcão (2001), não é possível prever o seu comportamento.

As causas especiais devem ser identificadas e eliminadas, pois sua presença reduz consideravelmente os resultados dos processos produtivos. Para Montgomery (2004), quando um processo está apresentando causas especiais, é possível que os materiais estejam fora de padrão, as ferramentas de trabalho ou máquinas estejam com algum problema e também pode haver instrumentos descalibrados.

No Quadro 3 é apresentada a relação dos tipos de causas.

| <b>Tipo de causa</b> | <b>Tipo de variação</b>        | <b>Processo</b>         | <b>Ação requerida</b> |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| <b>Comum</b>         | Inerente, natural, previsível  | Em Controle estatístico | Ação sobre o sistema  |
| <b>Especial</b>      | Alteração brusca, fuga gradual | Fora do controle        | Ação localizada       |

Quadro 3 - Causas comuns e especiais de variação

Fonte: Ribeiro e Caten (2001).

Para descobrir que tipo de causa está ocasionando as variações no processo são utilizadas as cartas de controle de processo (MONTGOMERY, 2004), que contêm limites de controle definidos. Os limites de controle, conseqüentemente, estabelecem os limites de variabilidade do processo (FALCÃO, 2001).

Para Montgomery (2004), a implantação do CEP não é feita de uma única vez, nem apenas quando a empresa está com problemas: a melhoria na qualidade que foca na redução da variabilidade deve fazer parte da organização. Também assume grande importância o compromisso e envolvimento da gerência com os projetos que focam a melhoria da qualidade, sendo o elo de maior relevância no sucesso de implantação do CEP.

Para se obter sucesso na implementação do CEP é necessária uma correta utilização e interação com as cartas de controle (SCHISSATTI, 1998). A carta de controle é uma técnica estatística que consiste na utilização de gráficos com limites de controle (LCS: limite de controle superior; LCI: limite de controle inferior), que facilitam a visualização do comportamento de um processo, identificando a variabilidade e, assim, podendo controlá-lo. No fim dessa etapa, pretende-se saber quais as causas especiais que estão presentes na operação estudada.

As cartas de controle podem ser por variáveis ou por atributos (COSTA, 2009). As cartas de controle por variáveis utilizam informações que podem ser medidas ou que passam por variações contínuas, como comprimento, peso, pH ou resistência. As cartas de controle por atributos se permite identificar se as características estão conforme ou não conforme, ou seja, produto bom ou ruim (MONTGOMERY, 2004).

As cartas de controle por variáveis têm uma linha central que representa a média da característica controlada, e dois limites, o LCS e LCI, os quais são calculados de forma que,

se praticamente todos os pontos do gráfico estão entre as linhas, o processo está sob controle estatístico.

De acordo com Montgomery (2004), o gráfico de controle é uma técnica de monitoramento de extrema utilidade e também uma das principais ferramentas do CEP. Como os processos naturalmente não trabalham sob controle, o uso de gráficos de controle é um passo importante a ser dado no início do CEP para eliminar causas atribuíveis, diminuir a variabilidade e, conseqüentemente, estabilizar seu desempenho. Contudo, Bonduelle (1997) acrescenta que o controle de processos realizado através de cartas de controle tem como benefícios colocar em relevância uma eventual anomalia, prever ajustes e períodos de regulagens e mostrar as variações do processo.

Para se identificar se as ocorrências estão dentro ou fora do esperado, é necessário indicar e medir a característica da qualidade em um diagrama cuja escala de tempo é chamada de gráfico de controle.

As cartas de controle para variáveis são utilizadas em monitoramento de processos com características da qualidade mensuráveis e a escala de valores podem ser contínua, como peso, comprimento, densidade, pureza e tempo (FALCÃO, 2001). Essas cartas podem ser utilizadas para controle de medidas de tendência central e para controle de dispersão.

Outra característica importante é dada por Bonduelle (1997), que descreve as cartas de controle por variáveis como processo baseado na distribuição com dados que podem ser medidos ou que sofrem variações contínuas. Dentre os tipos de cartas de controle para variáveis temos as cartas para a média ( $\bar{x}$ ), para a amplitude ( $R$ ), para a mediana ( $\tilde{x}$ ) e para valores individuais ( $x$ ). Segundo Montgomery (2004), a carta  $\bar{x}$  é usada para observar mudanças na média de uma característica da qualidade, já a carta  $\tilde{x}$  observa variações na mediana, a  $R$  para mudanças na dispersão ou amplitude de uma característica da qualidade.

Utilizando em conjunto as cartas  $\bar{x}$  e  $R$ , é possível monitorar a localização (média amostral) e a variabilidade (amplitude) do processo (RIBEIRO e CATEN, 2012). Ishikawa (1986) salienta que a utilização dessas duas cartas permite identificar informações técnicas importante, tendo extrema utilidade nos estudos de capacidade de processo.

Para a definição dos limites de controle e da linha central da carta da média ou carta  $\bar{x}$ , utiliza-se as equações (3), (4) e (5), (WERKEMA, 2004; RIBEIRO e CATEN, 2012).

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{R} \quad (3)$$

$$LM = \bar{\bar{x}} \quad (4)$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{R} \quad (5)$$

Onde:

- $\bar{\bar{x}}$ : média das médias das amostras ou média do processo;
- $A_2$ : coeficiente tabelado em função da quantidade de elementos na amostra;
- $\bar{R}$ : média das amplitudes das amostras.

Já para as cartas de amplitude ou cartas  $R$  são usadas as equações (6), (7) e (8).

$$LSC = d_4 \cdot \bar{R} \quad (6)$$

$$LM = \bar{R} \quad (7)$$

$$LIC = d_3 \cdot \bar{R} \quad (8)$$

Sendo:

- $\bar{R}$ : amplitude média das amostras;
- $d_3$  e  $d_4$ : coeficientes tabelados em função do número ou tamanho da amostra.

Já para grandes amostras, sugerem-se as cartas de controle da média e desvio padrão,  $\bar{x}$  e  $s$ , respectivamente, sendo que para a carta  $\bar{x}$  é utilizado às equações (9), (10) e (11):

$$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2 \cdot \bar{s} \quad (9)$$

$$LM = \bar{\bar{x}} \quad (10)$$

$$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2 \cdot \bar{s} \quad (11)$$

Já para as cartas  $s$ , são utilizadas as equações (12), (13) e (14):

$$LSC = B_4 \cdot \bar{s} \quad (12)$$

$$LM = \bar{s} \quad (13)$$

$$LIC = B_3 \cdot \bar{s} \quad (14)$$

Onde:

- $\bar{\bar{x}}$ : média do processo;
- $\bar{s}$ : desvio padrão médio do processo;
- $A_2$ ,  $B_3$  e  $B_4$ : fator dependente do tamanho da amostra.

Para as cartas de valores individuais, tem-se a carta  $x$  e  $AM$  e devem ser utilizadas quando  $n = 1$ , o cálculo dos limites de controle é similar ao das médias e é apresentado nas equações (15), (16) e (17):

$$LSC = \bar{\bar{x}} + E_2 \cdot \bar{R} \quad (15)$$

$$LM = \bar{\bar{x}} \quad (16)$$

$$LSC = \bar{x} + E_2 \cdot \bar{R} \quad (17)$$

Onde:

- $E_2$ : constante dependente do tamanho da amostra.

No anexo 2 são apresentadas as constantes para a construção dos limites de controle.

Para os processos que têm uma distribuição de dados normal, a distribuição das médias tem três propriedades importantes (BOTHE, 1997):

- a média de todas as médias amostrais é igual à média dos valores individuais;
- desvio-padrão dos valores médios é proporcional ao desvio-padrão dos valores individuais;
- limite de controle de uma carta  $\bar{x}$  é simétrico a  $\bar{\bar{x}}$ .

Entretanto, por mais que seja primordial o entendimento do uso dos recursos estatísticos para um projeto com influências sobre o processo, não será feito aprofundamento teórico.

No contexto deste trabalho, pretende-se fornecer informações sucintas sobre a construção civil no Brasil, com foco na construção rodoviária. Segundo Farah (1996), a construção civil é dividida em 3 subsetores: edificações, construção pesada e montagem industrial.

A empresa em estudo engloba o segundo setor, da construção pesada. Entretanto a Construção Civil é integrada por várias atividades com diferentes graus de complexidade, as quais, geralmente, são ligadas entre si, com processos tecnológicos e produtos variados (MELLO & AMORIN, 2009).

Na construção de rodovias, um planejamento adequado é a base para se executar o serviço com baixo custo, já que elas são licitadas com o custo já estabelecido pelos órgãos, obrigando as empreiteiras a fazer um planejamento estratégico adequado (INSFRÁN, 2001).

Conforme Aguiar (2004), adotar medidas de controle e solução de problemas que surgem durante a obra é de suma importância para que o prazo seja atendido. Porém, para resolver problemas, é necessário conhecê-los. Uma boa decisão é aquela que atende os requisitos: *O que?, Como?, Onde?, Quando? e Quem?*.

Montgomery (2004) salienta que os processos produtivos trabalham com apoio no controle de vários fatores, os quais devem ser mantidos em certos níveis. Estes níveis sempre

apresentarão certa medida de variabilidade, independente de como o processo está operando, e uma das formas de garantir a característica dos produtos pode ser a diminuição da variação observada na saída do processo.

A variabilidade na saída dos processos pode ser analisada conforme as informações obtidas sobre uma característica mensurável ou com base em uma especificação. Estas características necessitam ter uma variabilidade máxima, de maneira que não ultrapassem os limites máximos de variabilidade permitidos ao processo (ECKES, 2001).

Com isso, os fatores monitorados durante um processo ou na sua saída podem alterar-se dentro de uma escala contínua. Em relação às amostras, elas podem ser divididas em categorias ou classes, podendo-se, assim, no fim desse processo, verificar o comportamento dos dados da amostra, ou seja, o tipo de distribuição que os dados seguem (RIBEIRO e CATEN, 2001; MONTGOMERY, 2004; TIBONI, 2010).

Dessa forma, relacionado à abordagem da qualidade e à abordagem estatística da variação dos processos, o Seis Sigma surge e tem chamado a atenção de muitas organizações por sua forma sistemática de conseguir a diminuição da variabilidade e das perdas dos processos, utilizando métodos estatísticos e da qualidade (PANDE, *et. al.*, 2001).

Para Werkema (2004), quanto maior o nível sigma (número de desvios), menor será a probabilidade de defeitos ou erros em um processo, produto ou serviço. Portanto, o nível sigma representa o número de desvios da amplitude total em relação à média ( $\mu$ ). Assim, se um processo está operando com uma variabilidade de dois desvios padrões ou dois sigmas dentro dos limites de especificação máximos exigidos, significa uma produção de 5,0%, aproximadamente, de produtos fora da especificação. Essa explicação pode ser melhor entendida na Figura 3.

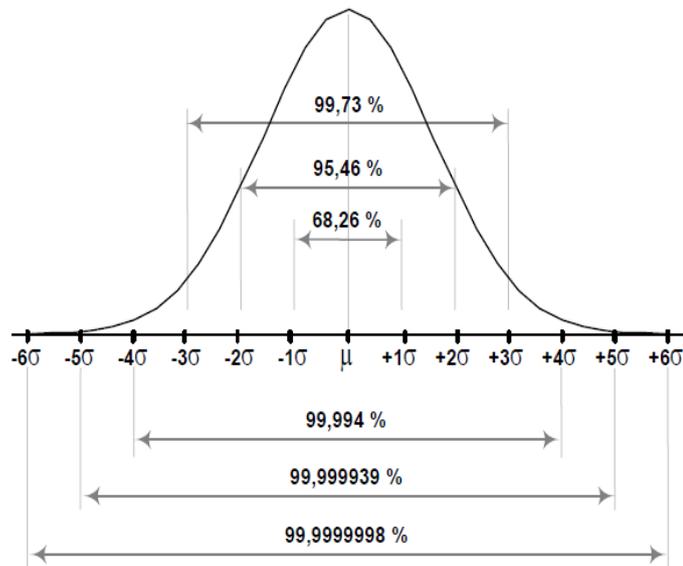


Figura 3 - Percentuais da área em relação ao desvio padrão

Fonte: Perez-Wilson (1999)

Portanto, o nível sigma pode ser definido como a métrica utilizada para descrever a capacidade de um processo operar dentro das especificações, e, quanto mais alto for esse valor, maior é o desempenho e menores são as probabilidades de ocorrer uma falha (MEHRJEDI, 2011).

No próximo capítulo, será apresentado a metodologia de aplicação do estudo de caso.

### 3. METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em apresentação da empresa, caracterização da pesquisa e etapas metodológicas.

#### 3.1 Empresa

A empresa estudada pode ser considerada uma empresa de médio porte e executa projetos principalmente para o setor estatal. A área de atuação é o ramo de rodovias, desenvolvendo projetos de diversos portes, desde pequenas obras com duração reduzida, até grandes projetos, de maior complexidade, com duração de até 5 anos, nos quais geralmente se faz necessária a instalação de uma unidade de britagem para atender as obras.

A empresa caracteriza-se por ter uma estrutura descentralizada, uma vez que a grande maioria dos projetos executados exige a construção de uma estrutura indireta em cada local. Para tanto, existe um escritório central, no qual se encontram a diretoria, setor tecnológico, setor de compras e custos, orçamentação, recursos humanos, contabilidade e controle.

Para o respectivo trabalho, as obras foram classificadas por requisitos estabelecidos pelo autor, conforme o Quadro 4.

| Valor de Contrato R\$ | Quantidade de Obras Atendidas | Características | Região                  | Contratantes   |
|-----------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------|--|
| Entre 10 e 30 Milhões | 2                             | Conserva        | Fronteira Sul - RS      | DAER-RS<br>DER-RS<br>DNIT<br>PREFEITURAS<br>ELETROBRÁS |
| Entre 30 e 50 milhões | 2                             | Restauração     | Paraná e Santa Catarina |  |
| Entre 50e 100 Milhões | 3                             | Pavimentação    | Fronteira Oeste – RS    |  |
| Acima de 150 Milhões  | 3                             | Construção      | Paraná                  |  |
|                       |                               | Terraplenagem   | Região Central – RS     |  |
|                       |                               | Drenagem        | Fronteira Oeste - RS    |  |
|                       |                               | Obras de Arte   |                         |  |

Quadro 4 - Britagens em Operação

A empresa está presente em três Estados, com obras em execução em 12 cidades diferentes, possuindo cinco escritórios regionais, quatro unidades de britagem e quatro usinas de asfalto. Para o presente trabalho, foi analisada a britagem da região central do estado do Rio Grande do Sul, pois é a unidade que atende à maior obra da empresa, tendo um alto valor financeiro, maior duração e também com diversos tipos de serviços sendo executados ao mesmo tempo, como drenagem, terraplenagem, pavimentação e obras de arte especiais, o que requer um planejamento e comunicação constante entre obra e britagem.

A atividade principal da empresa é a construção de rodovias, sendo as britagens uma unidade industrial necessária para produzir os agregados para a obra, conforme a Figura 4.

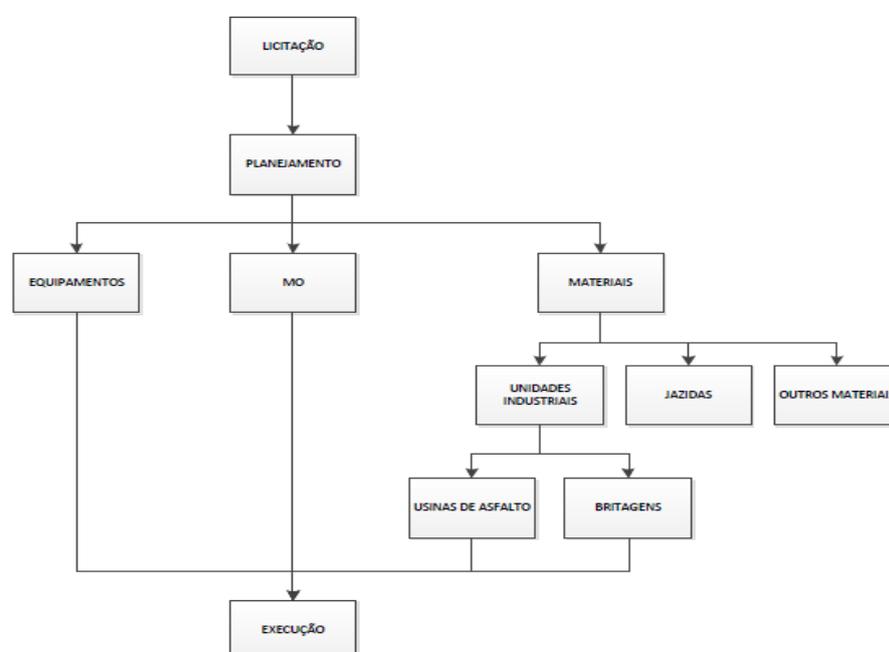


Figura 4 - Britagens no processo produtivo da empresa

Outro fator relevante para tal escolha é que o projeto escolhido se localiza perto da sede da empresa estudada, o que facilita as visitas a todos os setores.

### 3.2. Caracterização da pesquisa

Este trabalho está classificado como de natureza exploratória. O delineamento foi por meio de um estudo de caso, e a abordagem teve critérios tanto quantitativos como qualitativos.

Assim, aliando as pesquisas na literatura, que foram realizadas conforme cada fase e ferramenta do ciclo do DMAIC, o banco de dados já preparado desde o início da operação do complexo e as informações necessárias que foram levantadas por meio de visitas, tenta-se aplicar uma ferramenta com coerência científica que seja capaz de operar na realidade da empresa com o intuito de aproximar os objetivos dos envolvido.

Segundo Marconi e Lakatos (2009), pesquisas de caráter exploratório são pesquisas empíricas cujo objetivo é a formulação de questões ou de um problema, com a tripla finalidade de desenvolver hipóteses, aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno, para a realização de uma pesquisa futura mais precisa ou para modificar e clarear conceitos. Portanto, a primeira etapa deste trabalho tem a característica exploratória.

Para a aplicação dessas ferramentas foi utilizada a análise documental e a observação direta, além da realização de entrevistas informais com os operadores e técnicos ligados ao processo. Destaca-se a função dos “apontadores”, responsáveis por fazer anotações de todas as paradas realizadas em todos os equipamentos e máquinas da empresa durante a produção.

A aplicação das ferramentas proposta neste trabalho limitou-se à realidade industrial das britagens, geralmente instaladas em locais remotos, o que dificulta a coleta de dados. Após a aplicação das fases do ciclo DMAIC, foi feita uma análise dos resultados obtidos com o trabalho.

A metodologia proposta tem como pressuposto gerar conhecimentos focados para a aplicação dos conceitos e técnicas em cada fase do ciclo DMAIC. Considerando a necessidade de constante interação entre a aplicação do projeto na empresa e pesquisas teóricas, o método adotado se enquadra na pesquisa-ação, uma vez que esse tipo de trabalho deve aliar a pesquisa com os aspectos práticos durante toda a pesquisa (GIL, 2009; MARCONI e LAKATOS, 2009).

### 3.3 Etapas Metodológicas

Para um detalhamento melhor da metodologia, optou-se por dividi-la em quatro etapas, como demonstra a Figura 5.

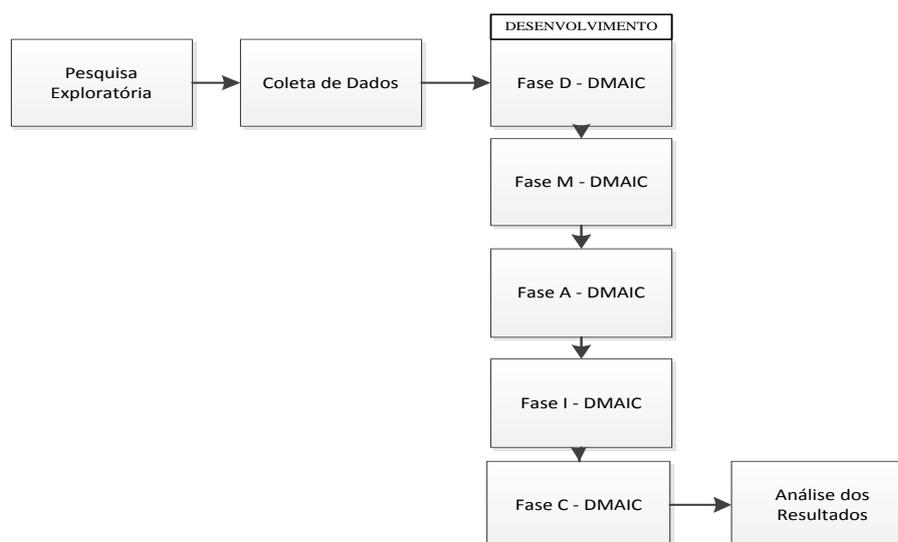


Figura 5 - Etapas Metodológicas

#### 3.3.1 Coleta de Dados

Os dados provenientes da empresa foram coletados através de pesquisas no banco de dados já desenvolvido, o qual é alimentado e monitorado periodicamente no *software* de gestão da própria organização. Também foi efetuado, com a realização de visitas e entrevistas à unidade industrial, o acompanhamento, monitoramento e levantamento das informações necessárias em cada fase do projeto.

Nesta fase, os principais envolvidos no processo da britagem foi aqueles diretamente ligados à obra e à britagem, podendo assim definir como população desta pesquisa:

- Mão de Obra:
  - engenheiros;
  - encarregados;

- operários;
  - apontadores;
  - mecânico;
  - operadores;
  - soldadores;
  - equipe de planejamento e controle.
- Máquinas:
    - Escavadeira Hidráulica;
    - Caminhões fora de estrada;
    - Pá carregadeira;
    - Britadores;
    - Correias transportadoras.
- Pedras:
    - Pó de brita;
    - Rachão;
    - Brita  $\frac{3}{4}$ ;
    - Brita  $\frac{3}{8}$ .

As variáveis de saída desse projeto estão relacionadas aos equipamentos, produtos e processos, produtividade, índices lamelaridade, produção de pó, percentual de *filler* e perdas produtivas relacionadas à brita, velocidade das esteiras, rotação dos britadores e outras de menor relevância.

Já as variáveis relacionadas a pessoas e procedimentos operacionais são aquelas em que não se tem controle direto, pois as pessoas são diferentes uma das outras e mesmo que se aplique os mesmos procedimentos ou conceito de produtividade, os resultados podem ser diferentes, assim as principais variáveis estão na relação entre obra e britagens e as implicações, para a empresa, das falhas nesse processo para a empresa.

Em relação ao processo produtivo da empresa, faz-se necessária uma coleta de dados na pista para identificar as principais paradas nas equipes. Não bastando, entrevistas semiestruturadas com diferentes profissionais envolvidos devem ser realizadas para verificar problemas relacionados à britagem que ocorrem antes mesmo de uma equipe entrar na pista,

para identificar possíveis correlações entre britagem e pista durante várias situações distintas da empresa.

A coleta de dados, que foi iniciada em janeiro de 2013, continuou durante todas as fases do ciclo DMAIC, tendo diferentes durações. As medições de produção, atualmente, podem ser realizadas em toneladas hora, toneladas dia, toneladas mês e são feitas pelas equipes de topografia, laboratório ou pesadas em balanças da própria empresa.

Para as medições de produtividade foi considerada a produção média por hora e nas medições onde é medido a produção total é a produção total de um período específico.

Para tanto, em relação aos apontadores, foi utilizada uma ficha modelo da empresa, que deve ser utilizada pelos apontadores para anotar as informações.

### 3.3.2 Desenvolvimento

Deseja-se diminuir a variabilidade da produção e aumentar a produtividade do complexo. Para isso, foi utilizado o método DMAIC que, tradicionalmente, é aplicado no Seis Sigma para solução de problemas (REIS, 2003; SATOLO *et. al*, 2009; WERKEMA, 2004; RODRIGUES e WERNER, 2012).

As ferramentas foram aplicadas para medir e avaliar a produção total da britagem e produção de cada equipamento em toneladas média por hora, o percentual de pó e de *filler* e também os índices de lamelaridade da pedra 3/4" e 3/8". Esses itens foram definidos conforme as características importantes determinadas pelo cliente e foram as variáveis medidas durante a aplicação do projeto de experimento, através de uma matriz ortogonal L8.

Nesta etapa, em cada fase do ciclo DMAIC, foram utilizadas técnicas e ferramentas específicas; entretanto, algumas ferramentas podem ser reutilizadas em mais de uma fase do ciclo, conforme segue no Quadro 5, que mostra algumas das análises e ferramentas que podem ser utilizadas.

| <b>Fase</b> | <b>Objetivo</b>   | <b>Principais Atividades</b>   | <b>Ferramentas</b>   |
|-------------|---|--|--|
| Definição   | Definição de oportunidades e avaliação financeira   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definir requisitos dos clientes</li> <li>• Identificar variáveis de saída</li> <li>• Planejar o projeto e definir com precisão a meta e resultados pretendidos com o Seis Sigma para a empresa</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carta de projeto</li> <li>• Gráfico de Pareto</li> <li>• Diagrama SIPOC</li> <li>• Voz do Cliente <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>BoxPlot</i></li> </ul> </li> <li>• Treinamento</li> </ul> |
| Medição     | Medição de Processos e conversão em informações que indiquem soluções. Nesta fase uma das finalidades é identificar quais pontos do processo merecem maior ênfase | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mapear o processo</li> <li>• Refinar os problemas</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluxograma do processo</li> <li>• Custos da ineficiência e das paradas</li> </ul>   |
| Análise     | Analisar os problemas identificado e as eficiências   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Priorizar principais tipos de defeitos</li> <li>• Priorizar principais tipos de variáveis</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estatística descritiva</li> <li>• Gráfico de Pareto</li> <li>• Capabilidade de processos</li> </ul>   |
| Melhoria    | Propor, avaliar e implementar melhorias   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selecionar fatores e níveis</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Projeto Robusto de Experimento</li> </ul>   |
| Controle    | Padronização dos resultados e processos   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle Estatístico do Processo</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartas de controle</li> </ul>   |

### Quadro 5 - Etapas Metodológicas

As perdas produtivas foram calculadas através dos índices de paradas do complexo produtivo. Os apontadores serão responsáveis por transcrever cada parada ocorrida em qualquer parte do processo, desde o carregamento dos caminhões até a britagem terciária, conforme o fluxograma do processo produtivo que será desenvolvido. Calculou-se os custos da ineficiência com base no levantamento das horas paradas do sistema produtivo e no custo que o sistema tem por hora parada.

A capacidade do processo utilizou-se para avaliar a quantidade produzida em toneladas hora por equipamento e também a total do sistema. Foi avaliado o antes e o depois da aplicação do projeto de experimento para aferir o quanto se conseguiu de aumento de produtividade com as ferramentas.

Outras ferramentas podem ser utilizadas:

- tabela de frequência;
- histograma;
- medidas de tendência central;
- medidas de variação;
- diagrama de BoxPlot;
- gráficos sequenciais;
- teste de normalidade;
- gráfico de pareto.

### 3.3.3 Análise dos resultados

A análise dos resultados foi feita através da interpretação das informações recolhidas durante o estudo de caso, as tabelas e gráficos gerados. A interpretação realizada pelo autor deste trabalho foi por meio do Minitab 14.1, Statistic 9.1 e Microsoft Excel.

As análises estatísticas utilizadas durante a fase de análise do DMAIC podem ser reutilizadas para comprovação e sustentação das hipóteses levantadas relacionadas à melhoria do processo.

## **4. ESTUDO DE CASO**

O objetivo deste capítulo é apresentar os resultados das etapas metodológicas propostas no capítulo anterior, e também, a avaliação de um processo através do estudo de caso em uma unidade de britagem. Assim, este capítulo contextualiza a pesquisa na obra da empresa estudada e apresenta os resultados coletados conforme o DMAIC.

### **4.1 Definir**

A construtora analisada no estudo de caso foi fundada em 01 de julho de 1975 pelos antigos sócios, em uma cidade do oeste do Rio Grande do Sul, atuando na fabricação de Artefatos de Cimento e no ramo da Construção de Estradas. Em 1984, foi adquirida pelos atuais sócios, incluindo, a partir deste ano, a prestação de serviços de Topografia e Laboratório de Solos e mudando a sua Sede Administrativa para outra região.

A partir dessa data, em busca de qualidade e melhoria contínua dos processos e serviços, estruturou seu Sistema de Gestão da Qualidade, investindo fortemente em equipamentos, infraestrutura e recursos humanos. Em 2002, iniciou-se a implementação da ISO 9001, certificado conquistado no ano de 2005, sob o escopo “Execução de obras de infraestrutura e pavimentação urbana e viária”. Atualmente a empresa presta serviços de Construção, Manutenção e Restauração de Rodovias, Obras de Saneamento e Infraestrutura Urbana e Viária e Construção Civil (destacando Obras de Arte Especiais e Infraestrutura Energética).

A construtora caracteriza-se por ser uma empresa de médio porte, familiar, tendo em seu quadro de funcionários 600 trabalhadores, além das equipes terceirizadas, que são contratadas diretamente pelas obras para prestar serviço. Atualmente a empresa possui quatro engenheiros, os quais são responsáveis por gerenciar os contratos, conforme a Figura 6.

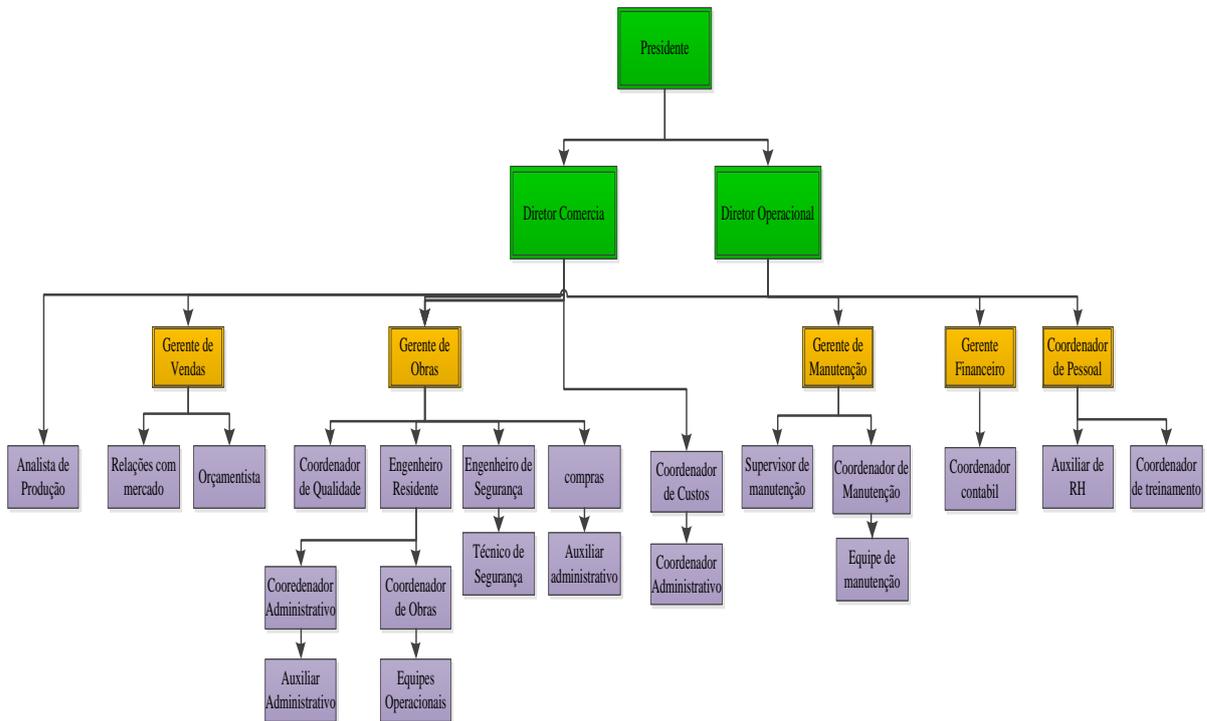


Figura 6 - Organograma da Empresa

Para conhecer a situação atual da empresa em relação as perdas mais relevantes e suas consequências foi aplicado um questionário para os setores de gerência, engenharia, coordenação e planejamento da organização. Para a entrevista semiestruturada foram utilizados quatro níveis de resposta: (0) não existe/desconhece; (1) pouco; (2) médio; (3) muito, e também uma breve descrição sobre a definição das perdas. Segue adiante a Figura 7 com os itens mais relevantes.

Os valores apresentados são as médias das respostas de cada grupo da empresa para cada tipo de perda, sendo o item média a média geral de todos os grupos.

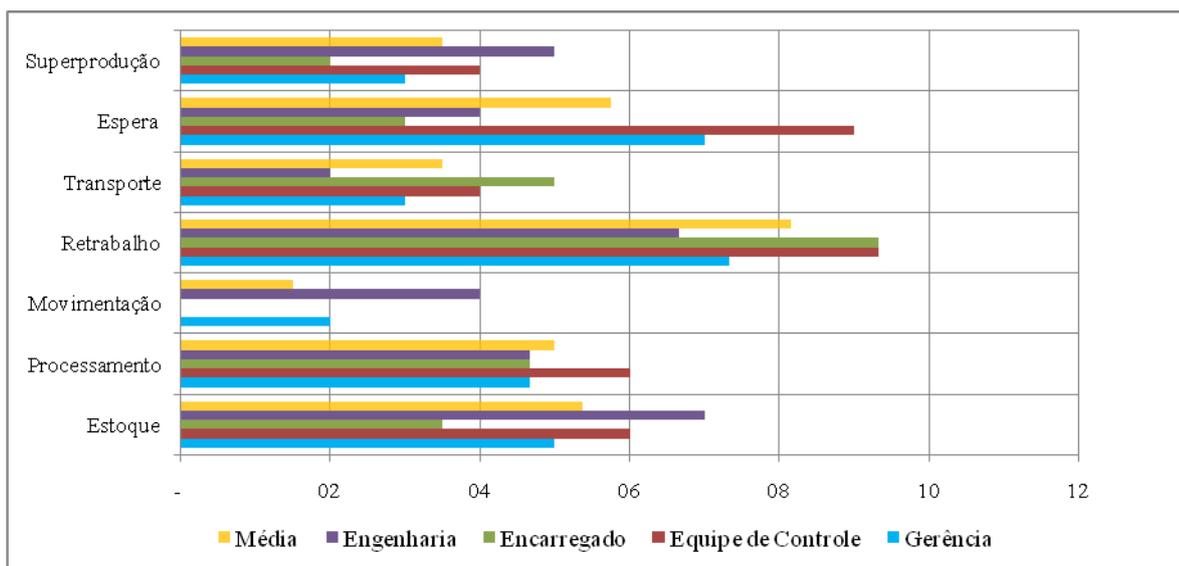


Figura 7 - Média dos resultados da pesquisa sobre perdas de cada grupo

Para verificar as principais perdas na visão da empresa, identificou-se que, na média, as perdas por retrabalho e espera se destacam sobre as demais. Nas visitas à obra foi feito registro fotográfico ao longo do desenvolvimento do estudo do caso e foram verificadas as características da obra, bem como foi possível identificar uma das principais perdas na obra, conforme se verifica na Figura 8.



Figura 8 - Perda por Retrabalho - Tratamento e compactação

Sabe-se que o retrabalho e a espera ocorreram devido às chuvas; porém, para descobrir a causa raiz do problema, fez-se uso da técnica “5 Porquês”, ferramenta muito utilizada na

área de qualidade e também pelo STP durante a evolução de suas metodologias. O Quadro 6 mostra a aplicação da técnica ao engenheiro da obra.

| Problema: Ocorrência de Retrabalho por Erosão, Tratamento e Compactação |   |
|---|---|
| 1   | P: Porque teve retrabalho?<br>R: Devido à grande quantidade de chuva.   |
| 2   | P <sub>1</sub> : Poderia ter sido eliminado ou minimizado?<br>R <sub>1</sub> : Sim.<br>P <sub>2</sub> : Porque não foi eliminado ou minimizado?<br>R <sub>2</sub> : Porque a equipe sucessora não estava mobilizada. Assim a equipe de terraplenagem teve que fazer manutenção no próprio serviço antes de entregar para a equipe sucessora.  |
| 3   | P: Porque a equipe sucessora não estava mobilizada?<br>R: Porque a previsão de mobilização era para quatro a cinco meses depois do início das atividades de terraplenagem e junto do término da instalação da unidade industrial.   |
| 4   | P: Porque estava prevista para quatro a cinco meses depois das atividades de terraplenagem?<br>R: Porque no fim desse período estaria praticamente todo o trecho com a atividade de terraplenagem executada, porém não foi previsto que durante esse período as atividades de terraplenagem seriam muito prejudicadas pela chuva, sendo necessário fazer a manutenção do estoque entre esses processos. |
| 5   | P: Porque não foi detectado que as atividades de terraplenagem seriam prejudicadas pela chuva?<br>R: Porque não foi realizado um planejamento formal, com conceitos pré-definidos de forma que fosse possível detectar que a utilização de um lote único teria grandes influências no andamento da obra.  |

#### Quadro 6 - Aplicação 5 Porquês – Retrabalho

Conforme a quinta pergunta, não foi detectado que as atividades de terraplenagem seriam prejudicadas pela chuva porque não foi realizado um planejamento formal, o qual poderia ser repassado para outros setores da empresa para que fosse analisado e detectado que um grande lote teria fortes influências no andamento da obra.

Em relação às perdas por espera, também foi aplicada a técnica dos “5 Porquês”, conforme o Quadro 7.

Constatou-se que um dos motivos foi a falta de planejamento entre a obra e unidade industrial. As obras de construção de rodovias são muito afetadas pelas condições do tempo, visto que chuvas com precipitação maior que cinco milímetros já prejudicam os serviços, principalmente a terraplenagem. Além dos dias de paralisações por causa das precipitações, existem os danos causados por elas, como a erosão de taludes, nos casos de solos arenosos, o

que muitas vezes implica a necessidade de uma nova execução daquele trecho em função da perda de estabilidade (RICARDO e CATALANI, 2007).

| Problema: Perda por Espera: Equipe de Sub-base de Macadame |  |
|--|--|
| 1  | P: Porque teve retrabalho?<br>R: A equipe de sub-base de macadame teve que ser mobilizada para que as perdas por retrabalho fossem reduzidas. Contudo ela trabalhou com capacidade reduzida, pois não havia matéria-prima para atender a demanda da equipe.  |
| 2  | P: Porque não havia matéria prima para atender a demanda da equipe?<br>R: Porque a previsão era de que a equipe de sub-base iniciasse suas atividades após o término da instalação da unidade industrial. Com a antecipação, foi necessário comprar a matéria-prima do comércio local com um custo superior ao custo de produção e sem que fosse atendida a demanda da equipe. |
| 3  | P: Porque a unidade industrial não foi instalada com antecedência?<br>R: Porque, conforme o previsto pela equipe de gerenciamento da obra, a matéria-prima seria utilizada apenas quando todos os segmentos de terraplenagem estivessem concluídos.  |
| 4  | P: Porque a matéria-prima seria utilizada apenas quando todos os segmentos de terraplenagem estivessem concluídos?<br>R: Porque a obra não foi planejada em lotes menores, de forma que fosse necessário utilizar a matéria-prima sobre a terraplenagem conforme os lotes do serviços fossem terminando.   |
| 5  | P: Porque a obra não foi planejada em lotes menores?<br>R: Porque não existe um procedimento padrão ou determinação de algum conceito, de forma que a obra iniciou sem um planejamento.  |

#### Quadro 7 - Aplicação 5 Porquês - Espera

Após a identificação e correção dos problemas das obras, foi necessário desenvolver um setor especializado em planejamento de obras. Após essa fase, os grandes problemas da empresa ficaram restritos as unidades industriais, sendo o novo gargalo da organização e definido como o local a ser aplicado o projeto Seis Sigma. Salienta-se que, mesmo o planejamento sendo a causa raiz dos problemas, as unidades industriais faziam parte e tinham influência direta no processo.

Para a empresa a unidade de britagem é considerada como uma obra, tendo a mesma estrutura e os outros setores dando o mesmo suporte que é dado para as obras. Assim as unidades de britagens têm um gerente geral e um engenheiro residente em cada britagem, conforme a Figura 6.

Inicialmente foram identificados os requisitos críticos do cliente da britagem. As britagens da empresa fazem parte do caminho crítico de praticamente todas as obras da empresa, sendo tais os principais clientes do processo. Por fazer parte do caminho crítico, qualquer parada não planejada produz reflexos tanto no resultado da unidade industrial como nos prazos e resultados do cliente. Quando a demanda do cliente não é atendida, sempre que possível recorre-se a outros fornecedores ou o prazo do projeto fica prejudicado.

Assim, o contexto do projeto advém da capacidade produtiva do sistema ser totalmente utilizada, produção em dois turnos, elevado índice de paradas e demanda maior que a oferta, conforme a Figura 9.

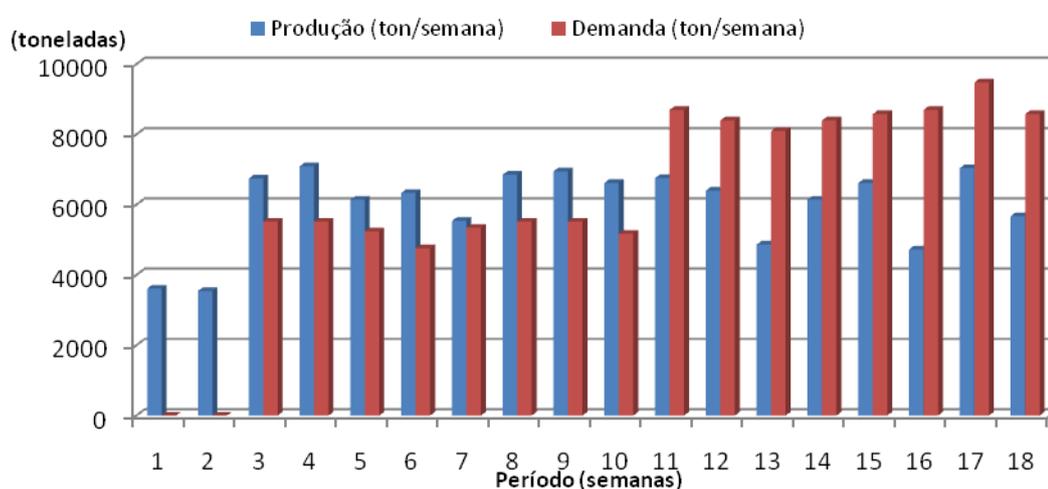


Figura 9 - Produção x Demanda

Observa-se na Figura 9 que há uma mudança de comportamento da demanda: a partir da 10ª semana há um incremento, o que se deve à inclusão de mais uma equipe de trabalho no processo de construção rodoviária próxima à britagem. Busca-se, portanto, reduzir o número de paradas por meio do estudo DMAIC para que a produção seja no mínimo equivalente à demanda. No processo de britagem já há um esgotamento de tempo para a implementação de outro turno de trabalho, uma vez que este já existe. Então, o que se busca é uma sincronia nas equipes de obra e britagem, para haver um ganho de eficiência.

Na carta do projeto foram definidas as metas, objetivos, cliente, principais medidores e equipe do projeto. Conforme a metodologia, o problema foi determinado com base na análise da produção, terminando em março de 2013, período em que foi evidenciada a grande variabilidade da produção e um grande número de paradas, entretanto, até então, não apontadas e evidenciadas.

#### 4.1.1 Diagrama SIPOC

O diagrama SIPOC foi realizado com base no processo de britagem e rebitagem, que são os principais processos envolvidos na produção de brita e possibilita um melhor entendimento, conforme o Quadro 8.

| <b>Fornecedor</b>   | <b><i>Input</i></b> | <b>Processo</b> | <b><i>Output</i></b> | <b><i>Customer</i></b>                |
|---------------------|---------------------|-----------------|----------------------|---------------------------------------|
| Detonação (externo) | Pedra Detonada      | Britagem        | Macadame<br>Rachão   | Cliente Externo<br>Obras<br>Rebitagem |
| Processo Interno    | Rachão              | Rebitagem       | Britas               | Cliente Externo<br>Obras<br>Usinas    |

Quadro 8 - Diagrama SIPOC

#### 4.1.2 Voz do Cliente (VOC)

A VOC, apresentada no Quadro 9, mostra as características críticas baseadas nas necessidades do cliente, neste caso a obra é o principal cliente da unidade industrial.

| VOC – Voz do Cliente                     | Questões Chave  |
|--|---|
| Material não entregue no momento correto | Comunicação/Atendimento   |
| Não atendimento da demanda               | Produtividade – Produção de pó                                  |
| Material fora da especificação           | Qualidade – Percentual de <i>filler</i> – lamelaridade da pedra |
| Custo                                    | Paradas de Produção   |

#### Quadro 9 - VOC

As questões chave são quesitos que serão medidos durante o andamento do estudo de caso tendo como objetivo a melhoria de características importantes para o cliente.

#### 4.1.3 BoxPlot e Custo da Ineficiência

Cada hora não trabalhada pelo sistema produtivo foi determinada como perdas de produção. Assim, o marco inicial do projeto ocorre pelo início dos apontamentos das paradas de produção a partir de março de 2014 e nas 18 semanas seguintes.

A Figura 10 e 11 apresenta a média de produtividade do sistema produtivo britador primário e rebitagem, respectivamente, antes da aplicação do Seis Sigma na unidade, considerando apenas os dias que tiveram operação.

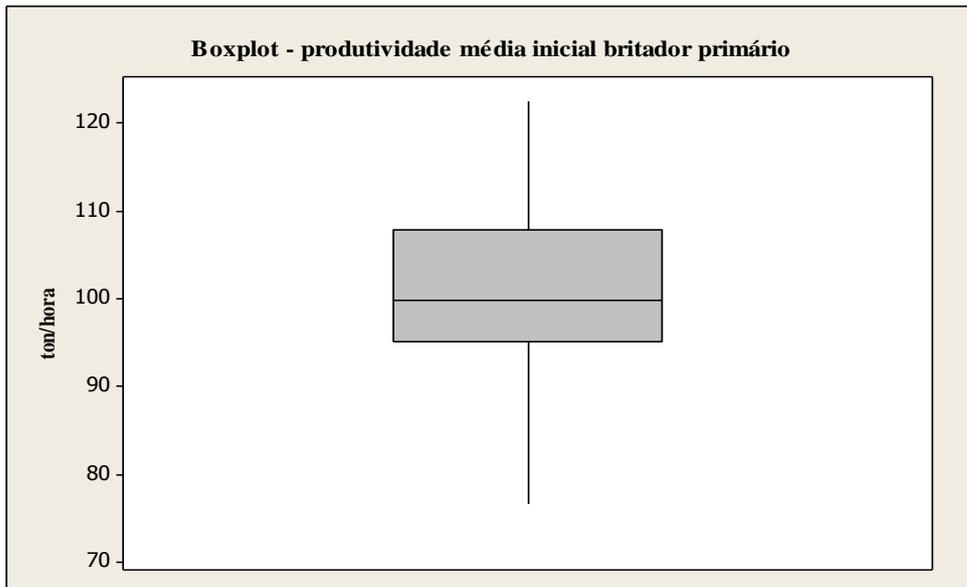


Figura 10- Produtividade média inicial britador primário

Onde:

- a mediana foi de 99 ton/hora;
- a menor produtividade foi de 76 ton/hora;
- a maior produtividade foi de 122 ton/hora.

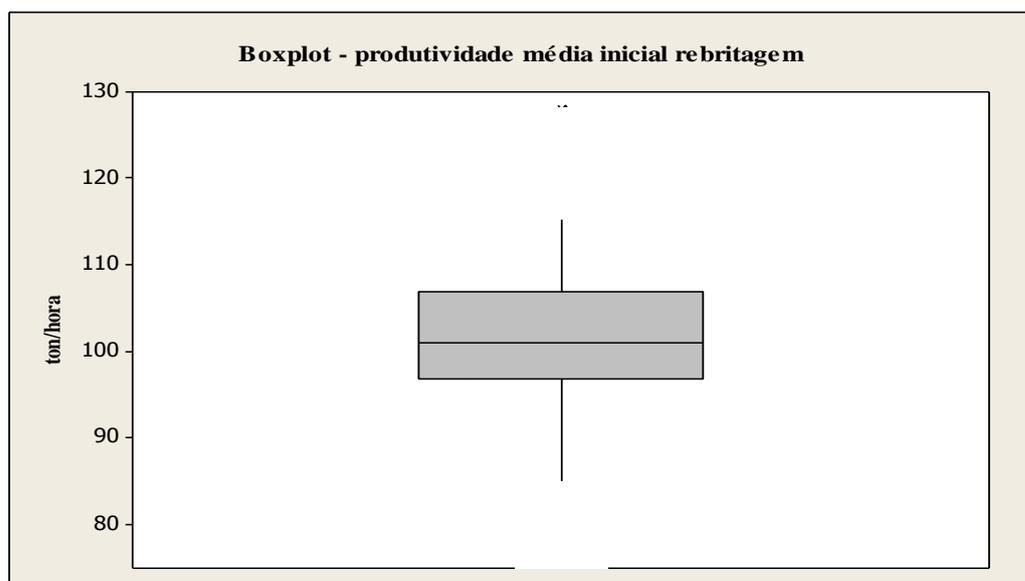


Figura 11 - Produtividade média inicial rebitagem

Onde:

- a mediana foi de 102 ton/hora;
- a menor produtividade foi de 78 ton/hora;
- a maior produtividade foi de 125 ton/hora.

Ambas as distribuições são positivamente assimétricas, a mediana que é representada pela linha central (linha que corta a caixa), da produção do britador primário estava em 99 toneladas por hora e a rebitagem em 102 toneladas por hora. É possível observar na linha vertical que os dados da rebitagem são mais homogêneos que os dados da produção do britador primário e ter uma caixa menor.

Estima-se um custo de aproximadamente R\$155,00 por hora parada do britador primário e R\$ 180,00 da rebitagem, considerando máquinas, mão de obra, custo de capital e resultado, sem considerar os inúmeros problemas causados nas obras devido às paradas não programadas do britador e, conseqüentemente, das frentes de serviço.

#### 4.1.4 Capacitação da equipe e estrutura do programa

Para um melhor andamento do projeto, foram realizados diversos treinamentos com a equipe participante de maneira que os demais participantes entendessem o seu papel e tivessem um conhecimento básico a respeito do assunto, conforme a Figura 12 e 13.



Figura 12 - Treinamento dos participantes



Figura 13 - Treinamento dos participantes com jogo de demonstração

Nesse treinamento foi abordado os seguintes assuntos:

- definição de qualidade;
- sistema da qualidade;
- CEP e paradas de produção;
- projetos de Melhoria;
- padronização;
- Seis Sigma.

A estrutura do programa definida ficou conforme a Figura 14.

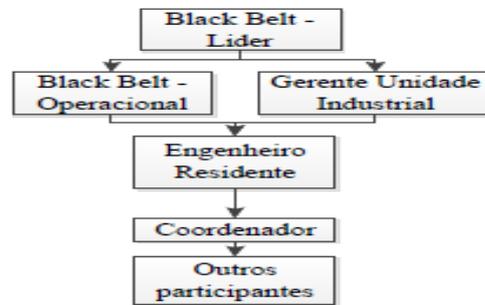


Figura 14 - Estrutura do programa

Assim, com a realização desse projeto Seis Sigma espera-se reduzir o tempo de paradas do complexo produtivo e aumentar a produtividade.

## 4.2 Medir

Nesta fase foi usado o *software* de gestão da empresa para a alimentação das informações necessárias. Entretanto, foi necessário desenvolver diversas tabelas para os apontadores registrarem os dados e aprimorar as planilhas já existentes e usadas pela empresa.

Durante as 18 semanas de medição, a britagem apresentou os seguintes dados de capacidade: Capacidade nominal = 130 toneladas/hora; Capacidade disponível no período = 171.600 toneladas; Britagem real do primário = 103.525 toneladas; Rebritagem real no período = 101.000 toneladas.

Após as melhorias realizadas, o sistema produtivo apresentou novos valores de tempo disponível, horas paradas e conseqüentemente foi possível avaliar o quanto diminuiu o custo improdutivo da unidade de britagem, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Dados de capacidade e custo improdutivo antes e depois das melhorias

|            | Antes                |                   |      |                   | Depois               |                   |      |                   |
|------------|----------------------|-------------------|------|-------------------|----------------------|-------------------|------|-------------------|
|            | Tempo Disponível (h) | Horas Paradas (h) | %    | Custo Improdutivo | Tempo Disponível (h) | Horas Paradas (h) | %    | Custo Improdutivo |
| Primário   | 1320:00              | 300:00            | 22,7 | R\$ 46.500,0      | 1440:00              | 170:00            | 11,8 | R\$ 26.350,0      |
| Rebritagem | 1800:00              | 573:00            | 31,8 | R\$ 103.140,0     | 1880:00              | 432:00            | 23   | R\$ 77.760,0      |
| Total      | 3120:00              | 873:00            | 28   | R\$ 149.640,0     | 3320:00              | 602:00            | 18,1 | R\$ 104.110,0     |

Comparando-se a o antes e depois das melhorias observa-se que houve uma redução de aproximadamente 271 horas paradas em relação às primeiras medições e, conseqüentemente, uma redução do custo improdutivo de, aproximadamente, R\$ 45.530,00, considerando apenas as horas paradas dos equipamentos.

O custo improdutivo é calculado multiplicando as horas paradas dos britadores pelo custo hora da parada.

Na Figura 15 é mostrado a comparação do tempo de parada antes e depois das melhorias realizadas. É possível observar uma redução do tempo de parada total do britador primário e da rebritagem.

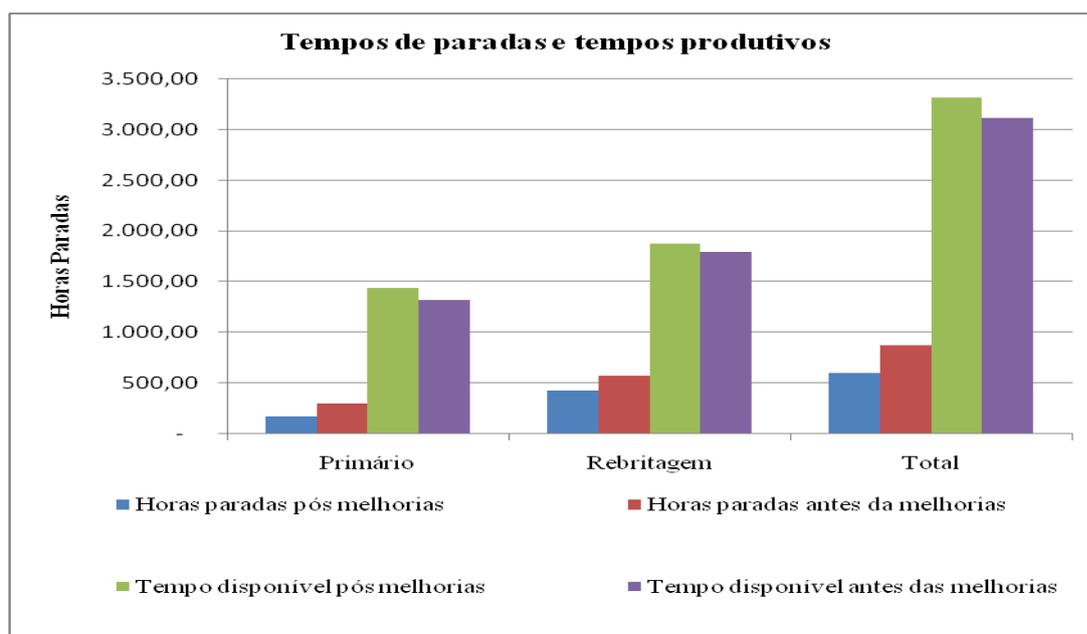


Figura 15 - Tempos de paradas e tempos produtivos

Também é possível observar na Figura 15 que o tempo disponível de cada britador aumentou em relação às primeiras medições, o que comprova que as ações tomadas tiveram um resultado significativo, pois além de ter reduzido o tempo total de paradas, a relação entre as paradas e o tempo disponível também reduziu. Por exemplo, considerando-se o índice de 27,98% do tempo produtivo que foi perdido com paradas nas medições iniciais, haveria uma tendência a ter, aproximadamente, 928,94 horas paradas, o que representa 326 horas a mais de paradas do que foi medido.

Nessa etapa, também foi elaborado o mapa do processo de britagem, conforme a Figura 16. Dessa forma, foi possível indicar onde e quais equipamentos devem ser controlados e registrados pelos apontadores. Esses registros correspondem às horas em que a máquina esteve parada.

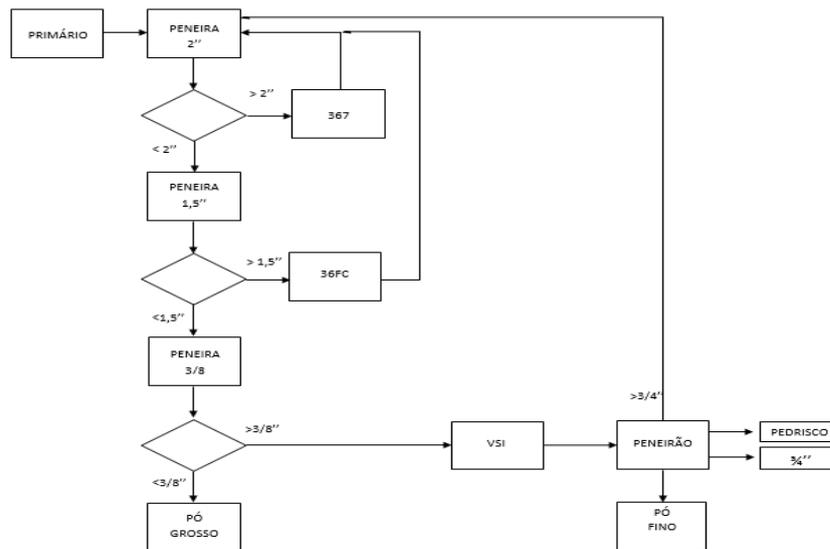


Figura 16 - Mapa do processo de britagem

Na fase de medição foi necessária uma constante interação entre os operadores, apontadores, gerentes, coordenador de manutenção e administrativo, pois os dados coletados precisavam ser constantemente trabalhados, para melhor identificação da parada e elaboração da matriz de causa e efeito.

Antes desse projeto, os dados eram armazenados em papel e não se tinha garantia se as análises eram realizadas ou não. Para o início do projeto foi desenvolvido, no software, uma área para lançamento de informações julgadas como básicas, conforme a Figura 17, podendo esta ser considerada uma das primeiras melhorias para a empresa, sendo as informações:

- produção do primário;
- produção rebritagem;
- paradas de produção;
- produção equipamentos.

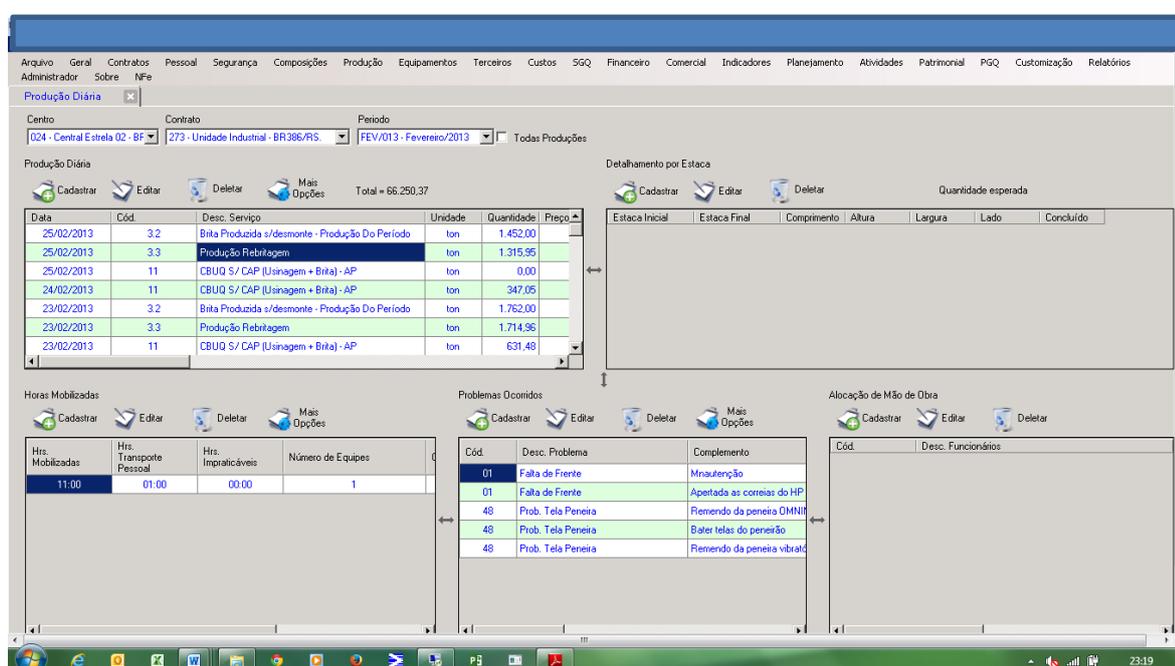


Figura 17 - Tela de lançamento de informações básicas

A fase de medição apresentou uma certa dificuldade no seu desenvolvimento, pois foi necessária uma série de atividades extras para os funcionários operacionais, não sendo possível que essas atividades consideradas novas afetassem as demais atividades já desenvolvidas no cotidiano.

### 4.3 Análise

Para melhor entendimento do processo estudado, foi medida a variabilidade e capacidade do processo produtivo, em que os dados foram aferidos através das variáveis definidas pelo cliente:

- produção do primário;
- produção rebitagem;
- índice de lamelaridade;
- produção de pó de brita.

Os gráficos utilizados nessa fase são importantes para a empresa pois apresenta de certa forma um resumo do comportamento do processo através de algumas ferramentas. Através do conjunto de gráficos é possível verificar se o processo está sob controle estatístico, se o processo é capaz e se atende as especificações do cliente e a distribuição de frequência dos dados.

A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Anderson-Darling. Os testes apresentaram o  $p\text{-value} > 0,05$ , o que caracteriza as distribuições como sendo normal, aceitando a hipótese nula, permitindo a análise de capacidade normal.

Assim foi possível avaliar a capacidade graficamente, através de histogramas e gráficos de capacidade. Os gráficos auxiliam na avaliação da distribuição dos dados e na verificação do controle do processo. Os índices de capacidade, ou estatísticas, são uma maneira simples de avaliar a capacidade do processo.

#### 4.3.1 Produção do primário

A Figura 18 apresenta os gráficos referentes à produção inicial do britador primário, onde, “Produção Diária” indica que os dados estão sob controle.

O gráfico “Produção Diária” mostra a distribuição dos dados em torno da média, a qual ficou em 101 ton/hora. Já o gráfico “Histograma” apresenta os valores distribuídos em

torno da média e mostra que, apesar dos dados estarem sob controle, a capacidade do processo não está satisfatória, pois conforme o limite de especificação do cliente, o britador deve produzir no mínimo 90 ton/hora, entretanto, segundo o manual do equipamento, uma meta de produção é 130 ton/hora.

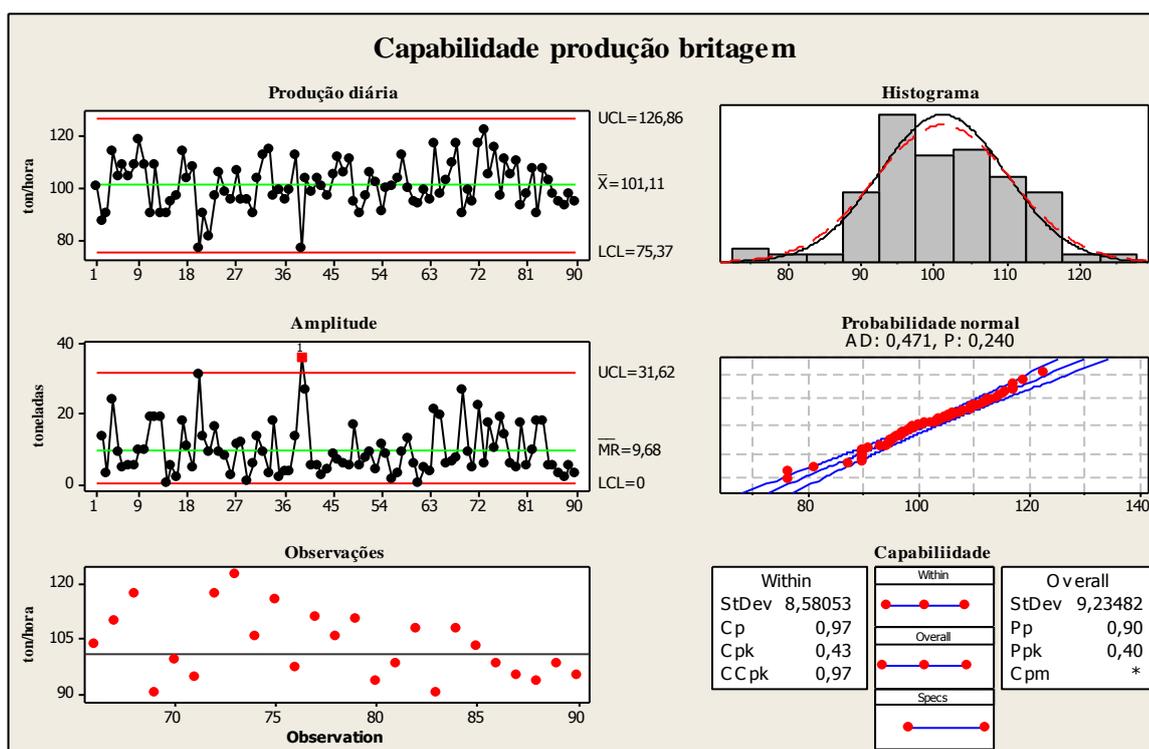


Figura 18 - Capabilidade do processo de britagem

Conforme o histograma em um grande número de dias teve-se produção abaixo da especificação, o que já demonstra que o processo muitas vezes não produz o mínimo esperado. A produção diária que mais ocorreu no período no britador primário foi a de aproximadamente 95 ton/hora com 21 dias, seguido por 105 ton/hora com 16 dias.

Em relação ao gráfico “Capabilidade”, não está sendo analisada uma característica da pedra, mas as condições de produção do complexo produtivo. Assim, comparando os intervalos *Within* e *Overall* com as especificações de produção dos equipamentos (*Specs*), pode-se afirmar que em alguns dias as produções foram abaixo da especificação do equipamento. Os índices de capacidade mostram que o sistema está operando com

ineficiência, pois o  $Cpk=0,43$  está longe do parâmetro sugerido para um processo capaz,  $Cpk=1,33$ .

Após as melhorias realizadas, os índices de capacidade apresentados na Figura 19, mostram que o sistema ainda está operando com ineficiência, pois teve um  $Cpk=0,85$ , entretanto teve uma melhoria significativa em relação as medições iniciais, que tinha um  $Cpk=0,43$ .

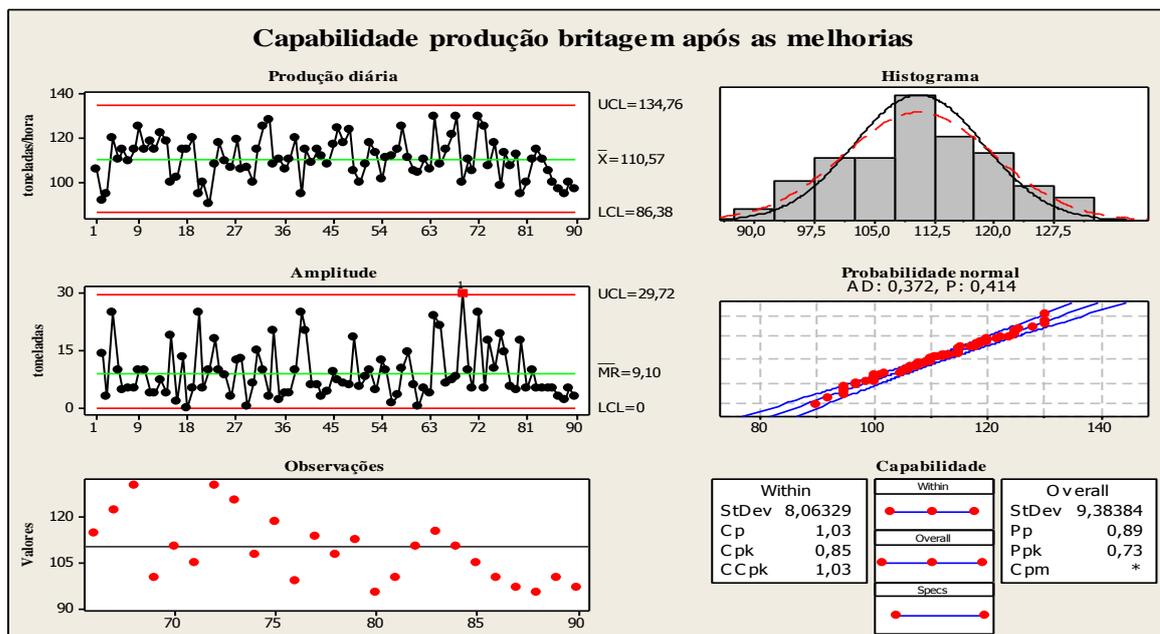


Figura 19 - Capabilidade produção do britador primário após as melhorias

#### 4.3.2 Produção da rebitagem

A Figura 20 apresenta os gráficos referentes à produção da rebitagem, onde, “Produção Diária” indica que os dados estão fora de controle, entretanto foram apenas 2 ocorrências.

Analisando o gráfico “Histograma” já é possível verificar que a capacidade do processo não está satisfatória, pois conforme o limite de especificação do cliente, a rebitagem também deve produzir no mínimo 90 ton/hora e tem como meta 120 ton/hora. Assim, já é

possível visualizar que a rebitagem também não está atendendo a especificação e está produzindo abaixo do esperado, pois também teve diversas ocorrências abaixo do limite inferior de especificação.

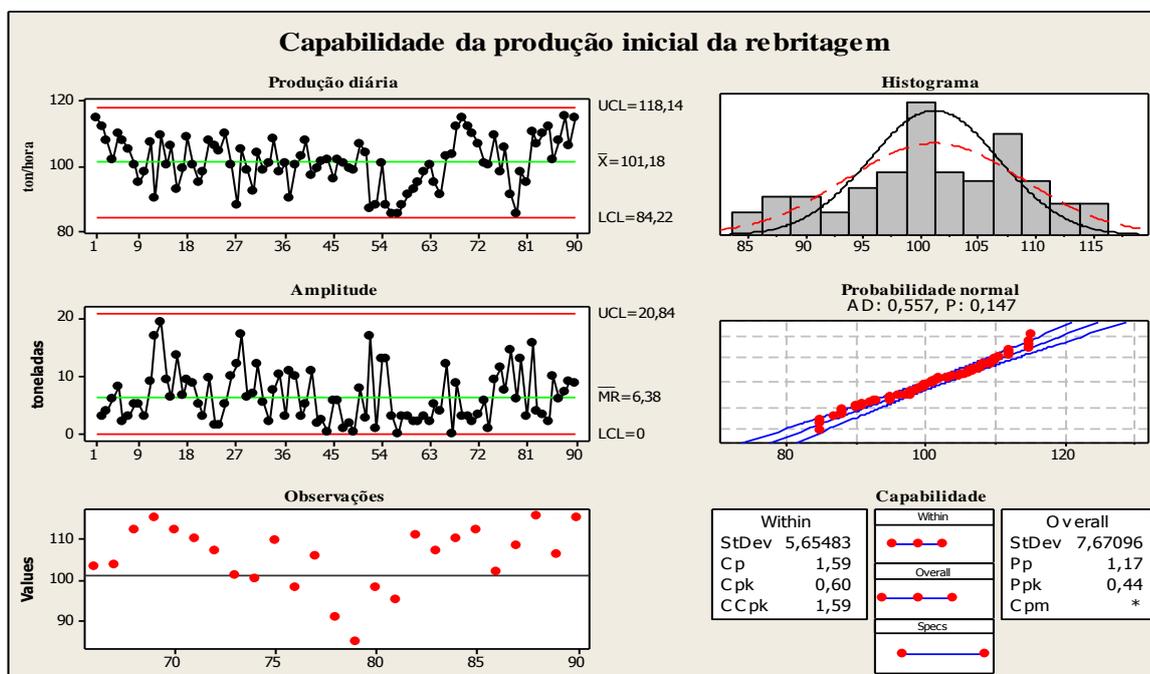


Figura 20 - Capabilidade do processo de rebitagem

A produção diária que mais ocorreu no período na rebitagem foi a de aproximadamente 100 ton/hora com 28 dias, seguido por 110 ton/hora com 16 dias. A média da produção estava em 101,2 ton/hora. Na rebitagem há um crescimento e decréscimo em torno do valor médio um tanto significativo e é possível ver que necessita-se de ações para reduzir as variações e colocar os dados mais próximos do meio e também da meta de produtividade esperada.

Em relação ao gráfico “Capabilidade”, os índices de capacidade mostram que o sistema está operando com ineficiência, pois o  $Cpk=0,60$  está longe do parâmetro sugerido para um processo capaz,  $Cpk=1,33$ . Comparando o britador primário com a rebitagem, o último está apresentando rendimento mais satisfatório.

Após as melhorias realizadas, os índices de capacidade mostram que o sistema está operando com ineficiência, pois o  $Cpk=0,87$ , entretanto teve uma melhoria em relação às medições iniciais, que tinha um  $Cpk=0,60$ , conforme a Figura 21.

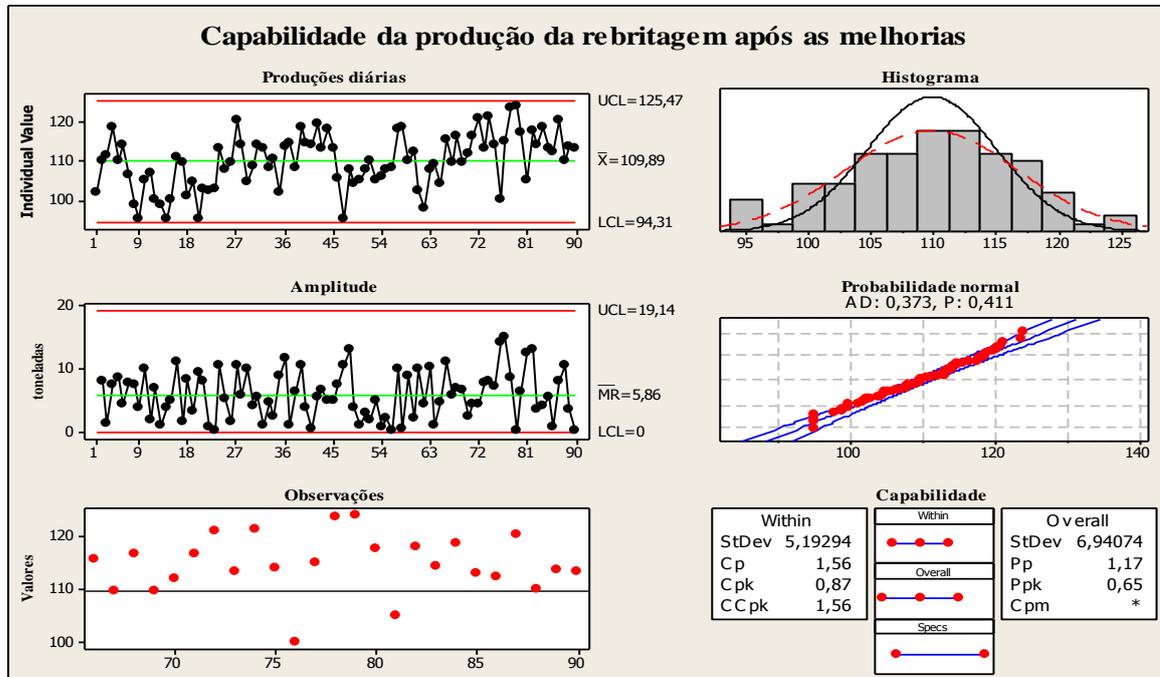


Figura 21 - Capabilidade da produção da rebitagem após as melhorias

#### 4.3.3 Índice de lamelaridade

A lamelaridade é um parâmetro de forma do agregado onde a espessura é pequena em relação às outras dimensões. Em outras palavras, diz-se que agregados lamelares são aqueles achatados ou que possuem formatos de lâminas.

De acordo com as normas de pavimentação do DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte, o agregado deve ter na sua característica um Índice de forma superior ou igual a 0,5 (DNER-ME 086/94) e índice de lamelaridade menor que 20%, ou seja, o índice de forma não deve ser inferior a 0,5 e a percentagem de grãos de forma defeituosa, determinada no ensaio de lamelaridade (DERBA-B-13/70), não poderá ultrapassar a 20%.

Para verificar a capacidade do processo em não produzir pedras lamelares, foi necessária uma grande participação do laboratório da empresa para a realização de ensaios. Durante 2 meses foram coletadas 3 amostras por dia, uma pela manhã, uma pela tarde e uma pela noite.

Conforme a Figura 22, o gráfico “Ensaio” e “Amplitude” indicam que as observações individuais dos dados estão sob controle. O gráfico “Histograma” apresenta os dados distribuídos em torno da média 0,15 e que, a capacidade do processo está satisfatória, pois não foram evidenciados dados fora do limite de especificação. O processo atual está capaz de atender ao requisito do cliente, ou seja, produzir pedra com no máximo 20% delas sendo lamelares.

Comparando os intervalos *Within* e *Overall* do gráfico “Capabilidade” com o intervalo de especificação (*Specs*), pode-se concluir que o processo atual está produzindo pedra dentro das especificações do cliente.

Além disso, o índice  $Cpk=1,28$  de capacidade evidencia a eficácia do processo atual no quesito lamelaridade, o que deixou os gestores satisfeitos.

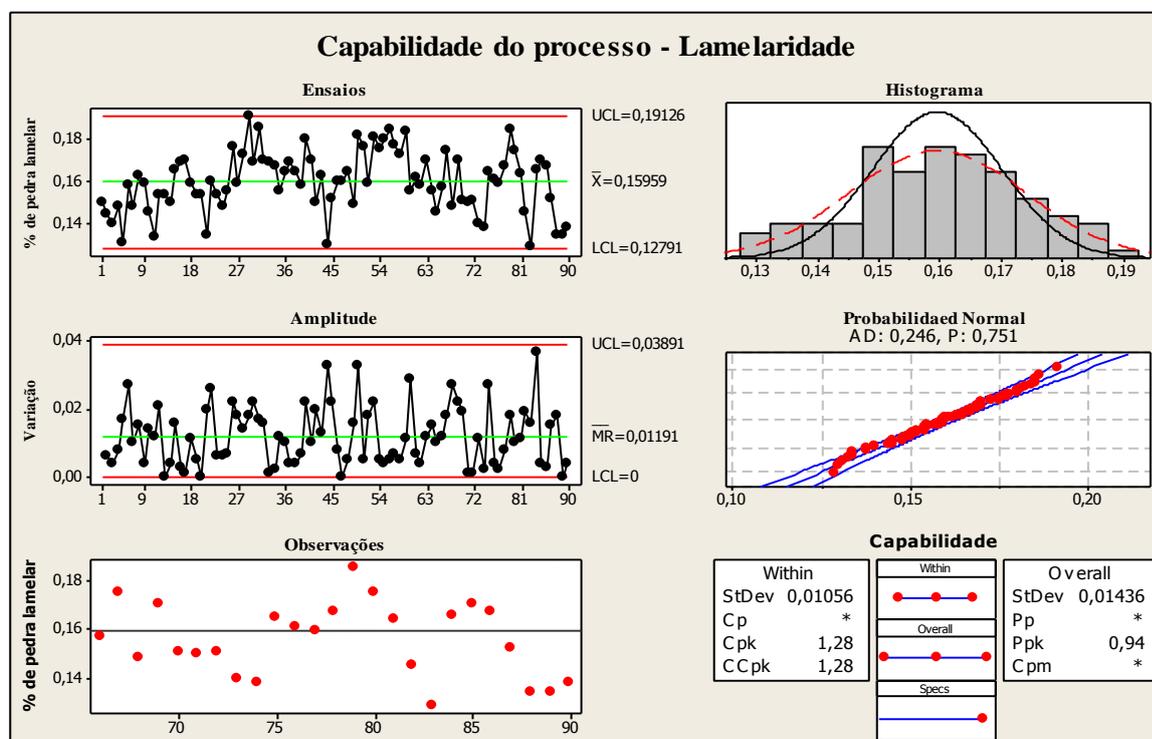


Figura 22 - Capabilidade do processo em produção pedra não lamelar

#### 4.3.4 Produção de pó de brita

O pó de brita é considerado pela empresa o agregado com maior demanda interna e de maior

dificuldade para ser obtido na quantidade e qualidade certa. O pó é o agregado miúdo que passa na peneira nº10 (2,0mm) e fica retido na peneira nº200 (0,075mm). Já o que passa no mínimo 65% na peneira nº200 (0,075mm) é chamado de material de enchimento (*filler*).

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006) o diâmetro máximo de um agregado é a abertura da malha da menor peneira na qual passam, no mínimo 95% do material. O diâmetro mínimo é a abertura da malha da maior peneira na qual passam, no máximo, 5% do material. Portanto o pó de brita deve conter no máximo 5% de material de enchimento.

A empresa estimava sua produção de pó em 30% da produção da rebitagem para efeitos de programação e planejamento. A Figura 23 apresenta os resultados das medições da produção.

Conforme pode ser analisado na Figura 23, o processo está longe de atender a necessidade do cliente que é de 30% de pó, conforme os planejamentos das obras. Se contabilizado que a produção da rebitagem também pode não estar atendendo a distância da produção de pó para a demanda aumenta ainda mais.

O  $Cpk = -0,54$  mostra a grande ineficiência, como também o histograma comprova que foram poucos os dias que se obteve a produção esperada e necessária.

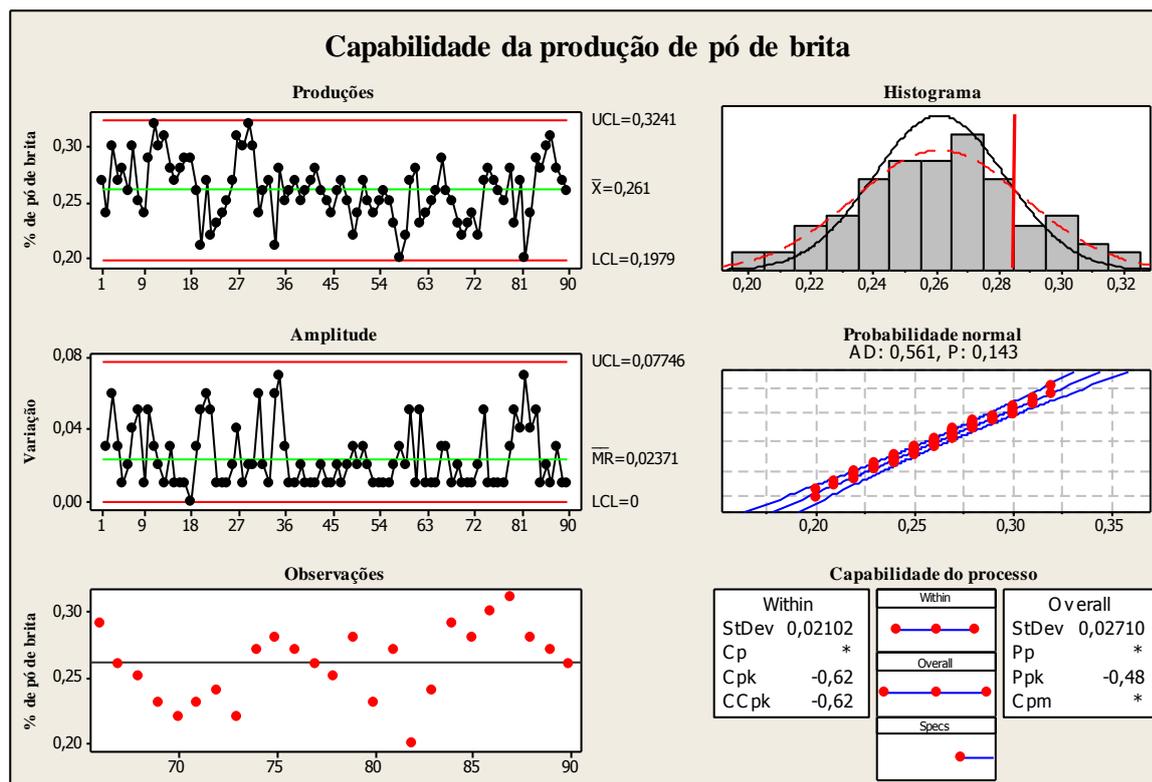


Figura 23 - Capabilidade do processo - produção de pó de brita

#### 4.3.5 Gráfico de Pareto

Com os dados mensurados na fase *medir*, foi possível pesquisar os problemas ocorridos, bem como as principais paradas. A Figura 24 apresenta o Gráfico de Pareto com base no tempo de cada tipo de parada de todo o complexo produtivo durante as 18 semanas.

Salienta-se que quando algum equipamento da rebitagem parar, todo o sistema produtivo da rebitagem é obrigatoriamente desligado. Assim, quando ocorre a parada é anotado o equipamento que teve a causa raiz do problema, por mais que todos estejam parados.

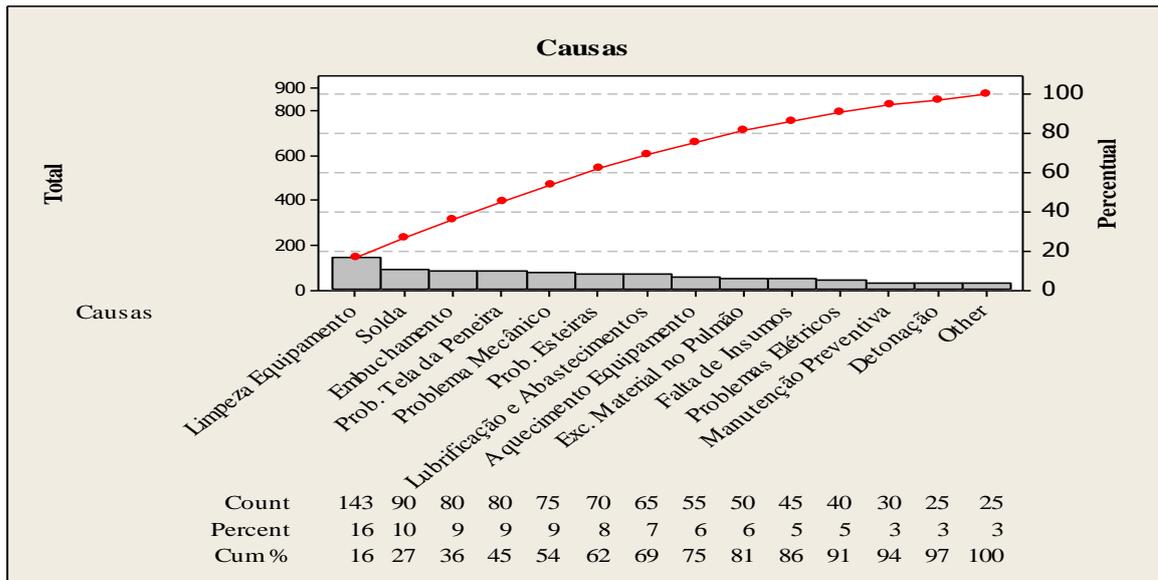


Figura 24 - Paradas de Produção

Na Figura 24, observa-se que o maior tempo de parada deve-se à limpeza do equipamento, que corresponde a 143 horas, e o menor tempo de parada corresponde, à detonação e problema nas correias, que é de 25 horas. Há outras paradas menores, mas são muito pequenas e não foram mostradas na figura. O importante a ser observado é que, independentemente do tipo de parada, o custo da não produção é o mesmo.

Conforme a Figura 24, aproximadamente 40% do tempo total das paradas são devido a 3 tipos de problemas de produção:

- limpeza de equipamento;
- solda;
- embuchamento.

Para cada área do complexo produtivo foi investigado o problema mais agravante, bem como o equipamento com o maior tempo improdutivo, tendo o Britador Primário 17,9% das paradas, o VSI e os Cones 36FC e o peneirão, 13,2%, 13,2% e 13,0%, respectivamente, conforme a Figura 25.

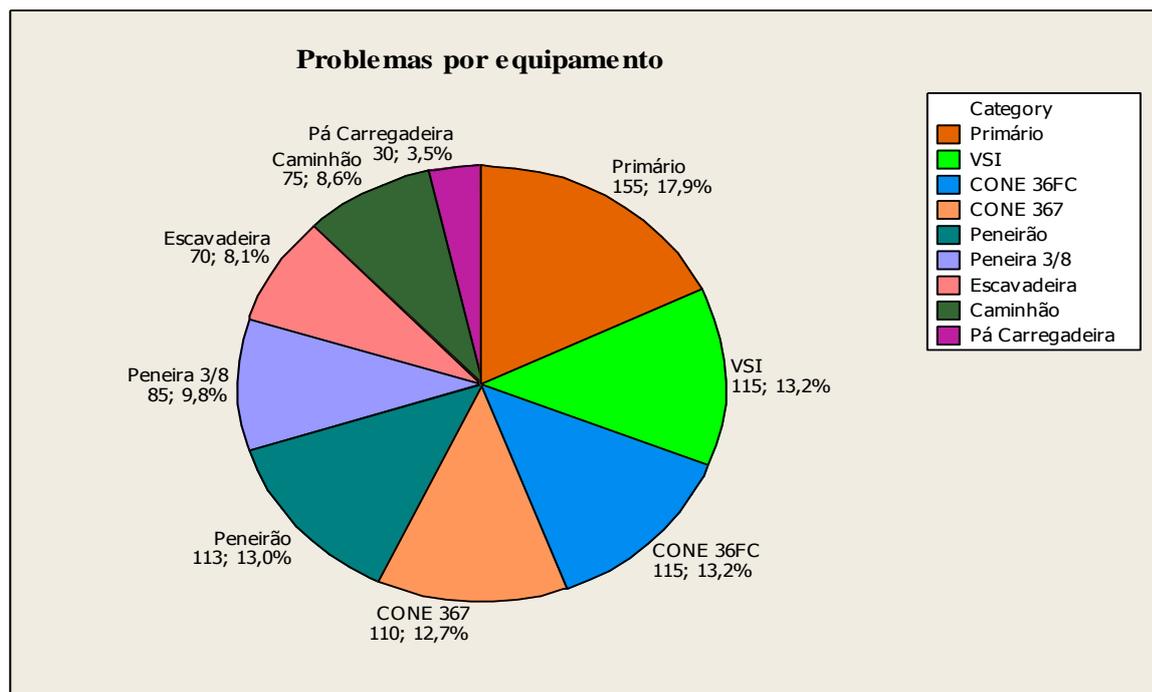


Figura 25–Percentual de paradas por equipamentos

Após classificar os equipamentos com maior índice de parada, foi possível organizar os principais problemas por equipamento, conforme as Figura 26, 27, 28, 29 e 30.

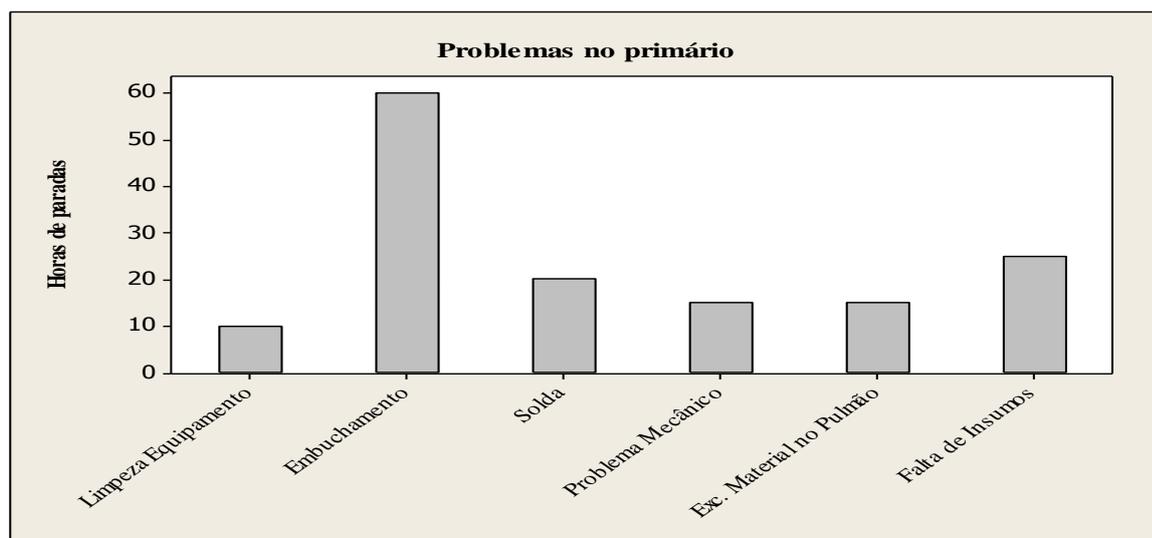


Figura 26–Tempo das paradas no britador primário

Na Figura 26 é possível visualizar que a parada de embuchamento é a mais relevante entre as ocorridas no britador primário com aproximadamente 60 horas. Esse embuchamento ocorre quando a pedra tranca no equipamento, sendo necessário desligar o britador e ir manualmente quebrar a pedra ou colocar cabos de aço para tentar retirar. Essa parada pode ter diversas durações.

Outros problemas não menos relevantes, mas com tempo total de parada inferior ao problema de embuchamento são:

- solda;
- limpeza do equipamento;
- problema mecânico;
- falta de insumos.

A falta de insumos no britador primário é quando não tem pedra detonada disponível.

Na Figura 27 apresenta-se os problemas ocorridos no equipamento VSI. Destaca-se os problemas ocorridos nas Esteiras e paradas devido a Limpeza do Equipamento, com aproximadamente 20 horas. Diferentemente dos problemas ocorridos no britador primário teve problemas com ocorrências próximas as principais, como:

- embuchamento;
- excesso de material no pulmão;
- aquecimento do equipamento;
- problema nas correias;
- problemas elétricos;
- falta de insumos.

As esteiras são responsáveis por levar o material de um equipamento para outro e de um equipamento para as pilhas de estoque. Já a limpeza é necessária quando tem muito material nas estruturas, momento que começa a danificar diversos componentes.

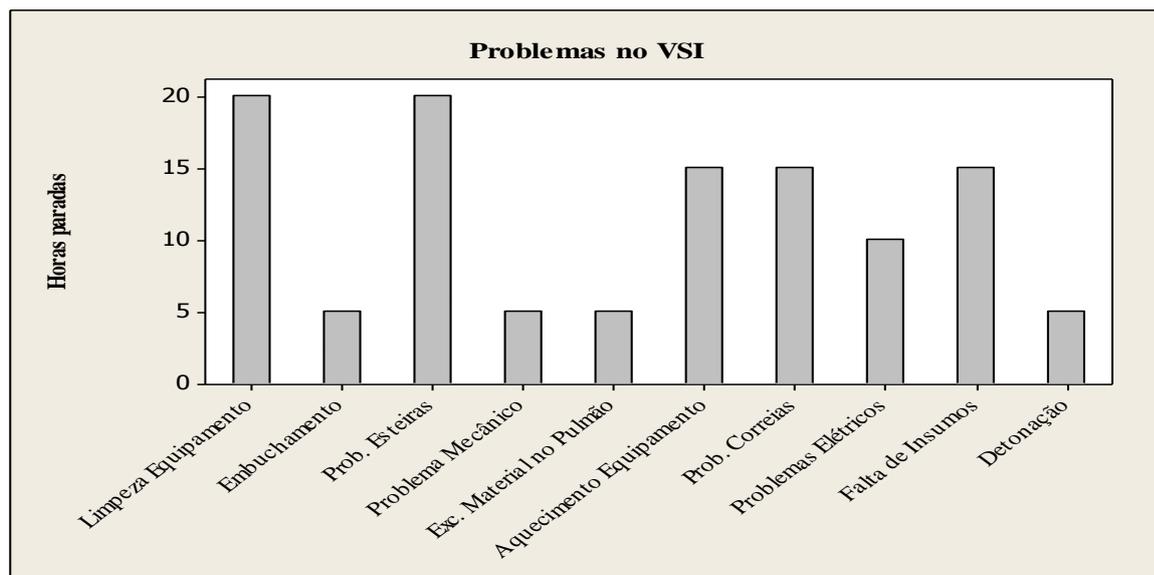


Figura 27–Tempo das paradas no VSI

Na Figura 28 é possível visualizar que a parada devido a problema nas esteiras com aproximadamente 25 horas é a mais relevante entre as ocorridas no britador Cone 36FC. A limpeza do equipamento, excesso de material no pulmão, solda e problema mecânico também foram prejudiciais.

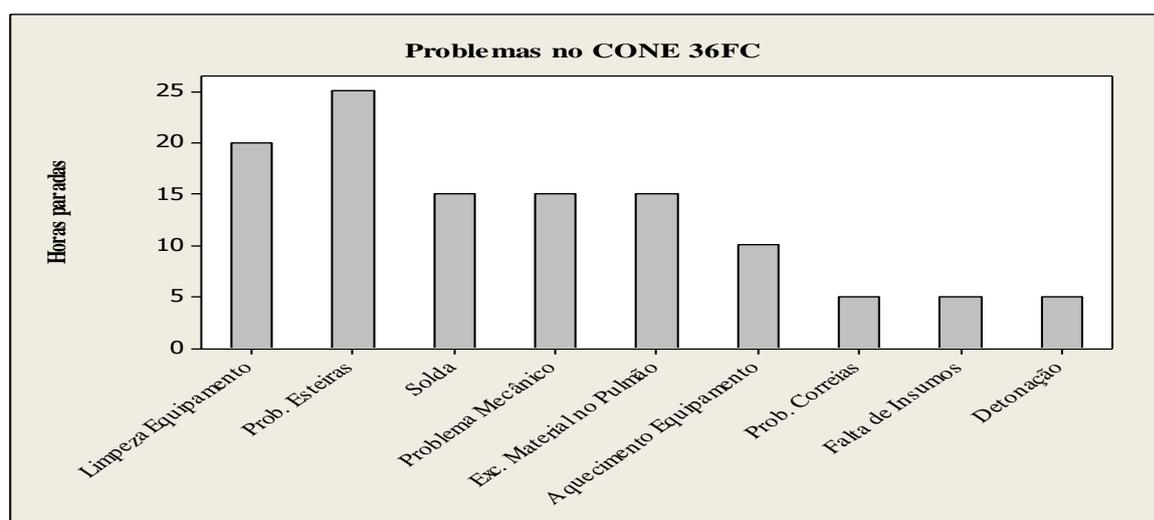


Figura 28–Tempo das paradas no CONE 36FC

O problema de excesso de material no pulmão é prejudicial quando a pilha atinge as correias transportadoras, sendo necessário nesse momento desligar o equipamento até a pá carregadeira abaixar a pilha.

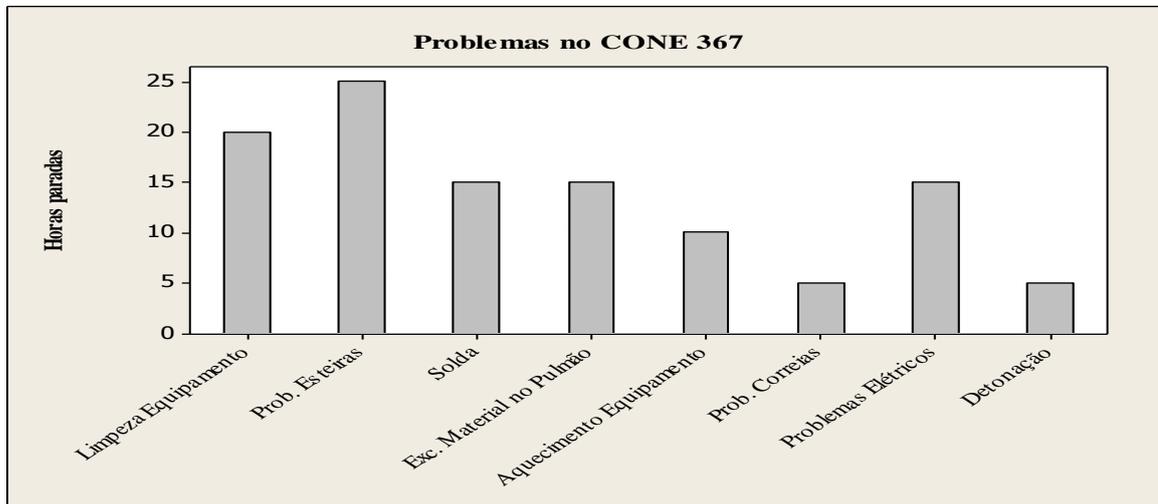


Figura 29– Tempo de paradas no CONE 367

A Figura 29 apresenta os problemas ocorridos no equipamento cone 367. Limpeza de equipamento e problema nas esteiras foram os que mais ocorreram, com 20 e 25 horas, respectivamente. Demais paradas relevantes:

- solda;
- excesso de material no pulmão;
- aquecimento no equipamento;
- problemas elétricos.

A parada por solda ocorre quando é necessário fazer um reparo em algum componente, seja por quebra ou reforço. Já na tela da peneira pode ser uma quebra ou quando fica muito material trancado e é necessário retirar.

Os problemas representados na Figura 30 são referentes ao peneirão, que é a peneira maior dentro do sistema produtivo da britagem e para esse trabalho foi considerada um equipamento. As paradas do peneirão fazem com que todo o sistema produtivo pare, diferentemente dos problemas representados pela parada problema na peneira.

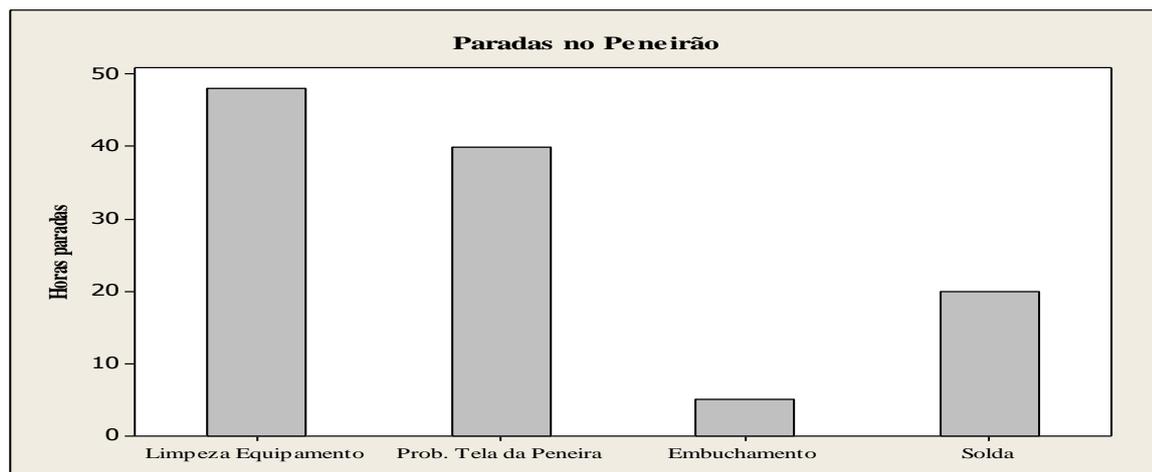


Figura 30–Tempo de paradas no peneirão

Com os dados mensurados novamente foi possível pesquisar e analisar o comportamento dos problemas ocorridos após a realização de melhorias que tinham o objetivo de reduzir a frequência e tempo de parada dos britadores. A Figura 31 apresenta o Gráfico de Pareto com base no tempo de cada tipo de parada de todo o complexo produtivo durante as 90 medições.

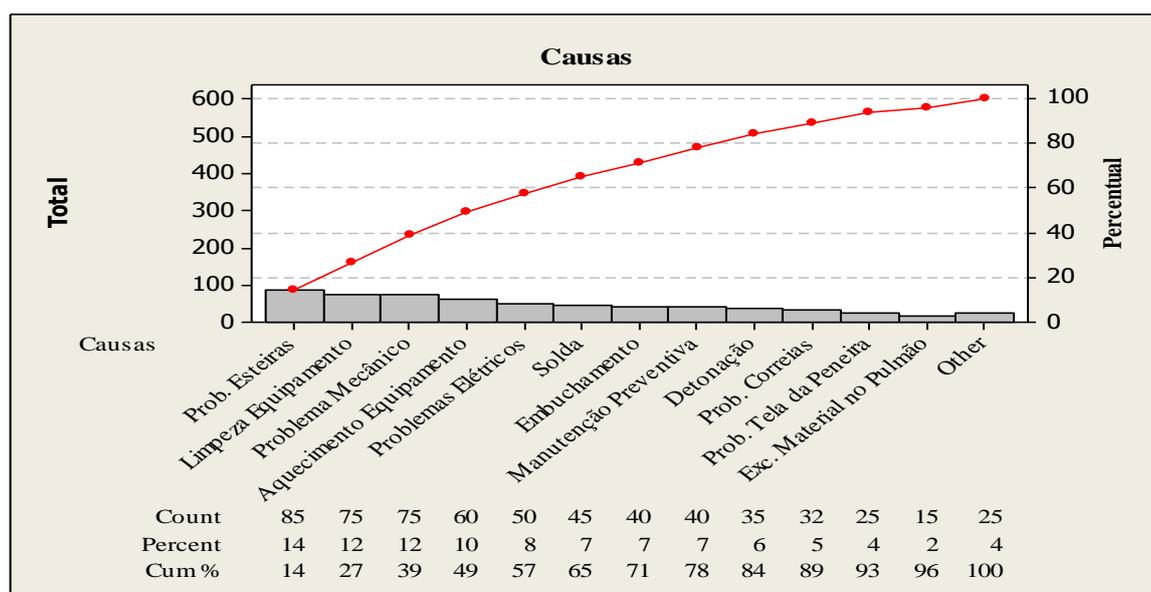


Figura 31 - Paradas de produção pós melhorias

Antes da melhoria, era possível observar que aproximadamente 40%, do tempo total de paradas é devido a 3 tipos de ocorrências diferentes. Na medição atual 40% dos problemas também são representados por 3 tipos de problemas, conforme a Figura 31, entretanto diferentes, que são eles:

- problema nas esteiras;
- problema mecânico;
- limpeza de equipamentos.

Já para comparar e analisar as melhorias realizadas foi feito a comparação de cada tipo de problema nas duas medições, conforme a Figura 32.

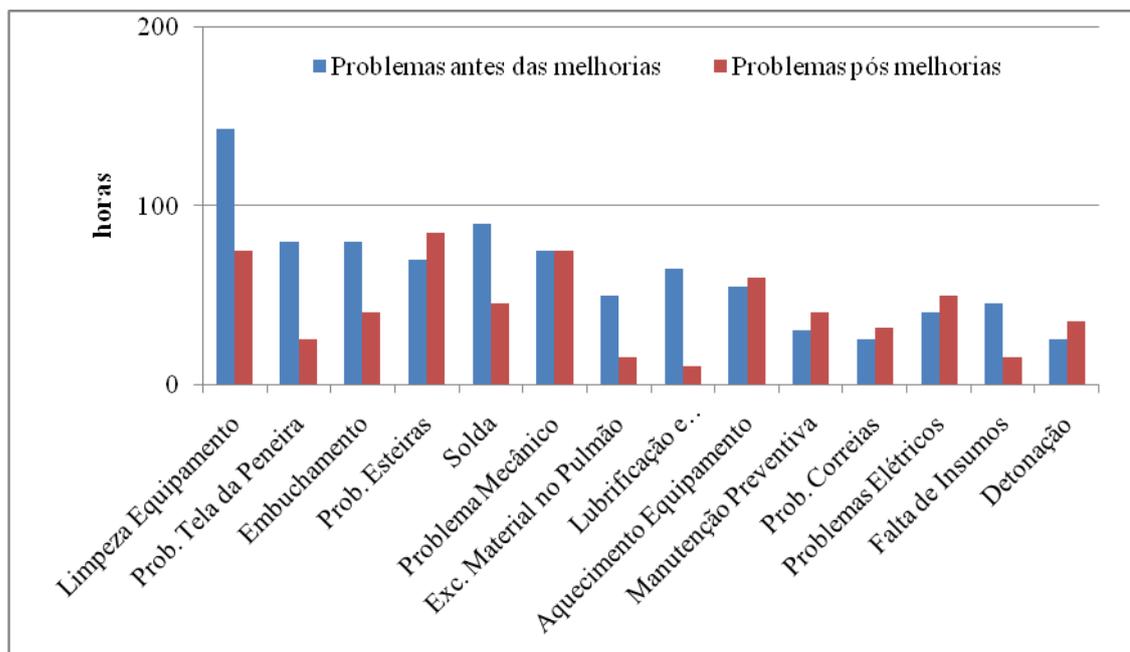


Figura 32 - Comparação evolução dos problemas de produção

Observa-se na Figura 32 que as paradas de produção de limpeza de equipamento, problema na tela da peneira, embuchamento, solda e lubrificação e abastecimentos tiveram uma redução significativa e pode-se afirmar que foi devido as melhorias ocorridas.

A parada por manutenção preventiva teve uma elevação, o que pode ser considerado positivo, pois com a programação de ocorrência na sexta-feira de um turno para manutenções

diversas a manutenção preventiva foi mais efetiva e teve como consequência redução das paradas devido às telas, esteiras e solda.

Também é possível observar que a sistemática de lubrificação e abastecimento durante os intervalos de turnos também trouxe resultados, pois diminuiu o tempo desse problema. A equipe que foi mobilizada para realizar diariamente as limpezas, em horários diferentes dos turnos de produção, também trouxe resultado significativo com a redução desse problema.

Problemas como detonação, problema nas esteiras e correias, problema mecânico e aquecimento de equipamento também tiveram uma elevação, entretanto, diretamente sobre eles não foi aplicada uma melhoria e ainda foram aumentadas as horas disponíveis e, conseqüentemente, as horas trabalhadas, o que levou ao aumento desse tipo de parada.

#### **4.4 Melhoria**

Para a definição das melhorias a serem tomadas, foram realizados estudos das análises e *brainstorm* com os envolvidos no projeto de aumento de produtividade. Neste caso a experiência dos envolvidos foi fundamental para as ideias resultantes.

Nesta fase serão mostradas as principais ações que foram realizadas para melhorar a produtividade da unidade de britagem e o atendimento ao cliente. As ações de melhoria apresentadas no Quadro 10 são resultados das etapas anteriores do processo do DMAIC e o aumento da produção sem a realização de novos investimentos é uma das características do programa proposto.

| <b>Fase</b>   | <b>Situação</b>   | <b>Melhoria</b>   | <b>Quando</b>                       |
|---|---|---|-------------------------------------|
| Definição:<br>comunicação<br>britagem-obra          | Problema na comunicação entre a unidade industrial e a obra principalmente quando a demanda não era atendida. | Controle da produção de maneira que a cada 3 dias consecutivos sem atender a demanda um aviso é disparado a todos os envolvidos.                    | Imediata                            |
| Medição:<br>apontamentos                            | Retrabalho excessivo com as planilhas dos apontadores   | Colocação de <i>Tablet</i> para os apontadores.   | Imediata                            |
| Medição:<br>apontamentos                            | Divergência entre a causa raiz do problema e o que foi informado.   | Implantação de um programa de gerenciamento do posto de trabalho, de forma que o equipamento só seja acionado após a informação da causa da parada. | Dependente da liberação de recursos |
| Análise: Problemas de produção                      | Muitas paradas e problemas produtivos   | Plano de manutenção por equipamento e paradas programadas.  | Imediata                            |
| Análise: Problemas de produção                      | Muitas paradas e problemas produtivos   | Implementação de reuniões semanais para análise das paradas e das ações propostas   | Imediata                            |
| Análise: Produção da britagem primária e rebritagem | Insatisfatória  | Necessidade de maior tempo de operação sem a interrupção da produção.   | Imediata                            |
| Análise: Produção de pó                             | Insatisfatória  | Aplicação do projeto de experimento com o objetivo de aumentar a produção de pó   | Imediata                            |

#### Quadro 10 - Principais melhorias propostas

##### 4.4.1 Comunicação

O melhor resultado para a obra não passa apenas pela pedra. A comunicação ou resposta a demanda é um fator de sucesso, pois se a obra não tem o retorno desejado no momento correto acarreta em uma série de problemas e ineficiências operacionais.

Para resolver esse problema, foi alterado o conteúdo, formato e meio de comunicação entre a obra e unidade industrial, sendo necessário identificar as barreiras e distorções nesse processo. Reuniões quinzenais são realizadas na unidade industrial e um representante da obra deve comparecer para ter conhecimento dos resultados obtidos e ações planejadas, conforme a Figura 33 que apresenta uma reunião rápida de apresentação.



Figura 33 - Reunião de apresentação das paradas e produtividade

Em relação à produção diária da britagem, estabeleceu-se um valor limite para a relação entre a demanda de cada agregado com a produção:

$$\text{Limite} = DE \cdot (1 + FS) \quad (19)$$

Onde:

- DE: demanda estimada;
- FS: fator de segurança estabelecido pelo Engenheiro da Obra.

Com isso foi possível formar as situações que a comunicação automática é enviada a todos os envolvidos no processo produtivo da obra. As produções são informadas diretamente no software e o próprio programa encaminha um alerta quando:

- três ocorrências abaixo do limite na semana, conforme Figura 34;
- três ocorrências seguidas, conforme Figura 35.

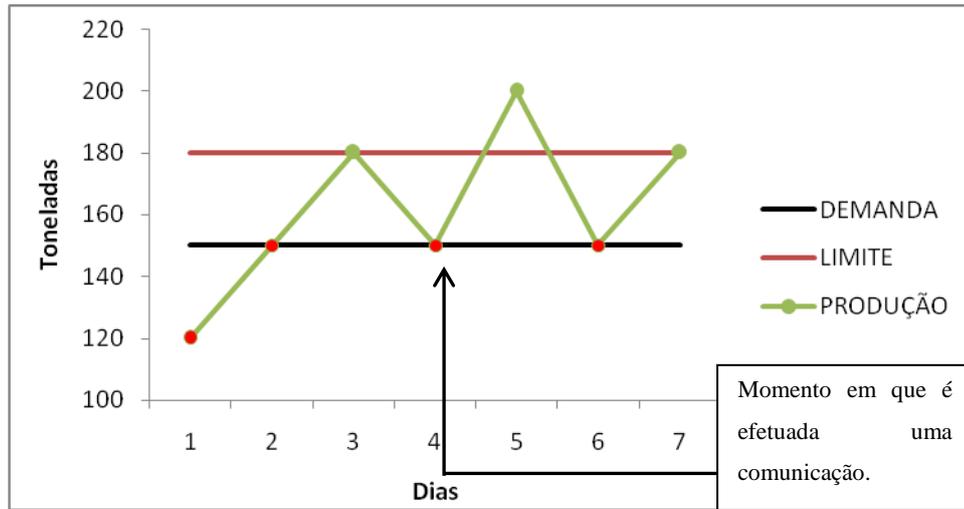


Figura 34 - Três ocorrências de ineficiência na semana

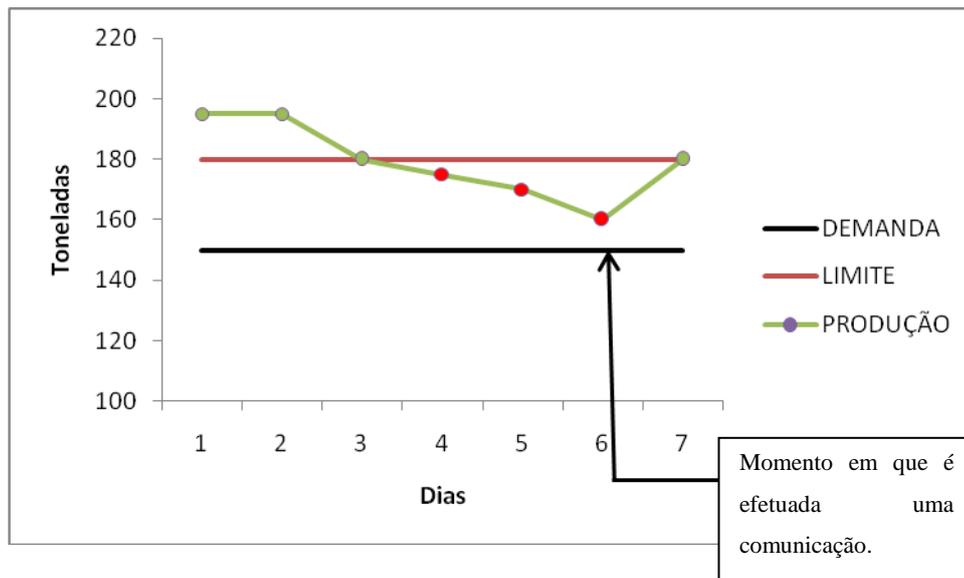


Figura 35 - Três ocorrências de ineficiência seguidas

No nível gerencial, a comunicação é efetuada a cada semana quando a produção não atende o limite, conforme a Figura 36.

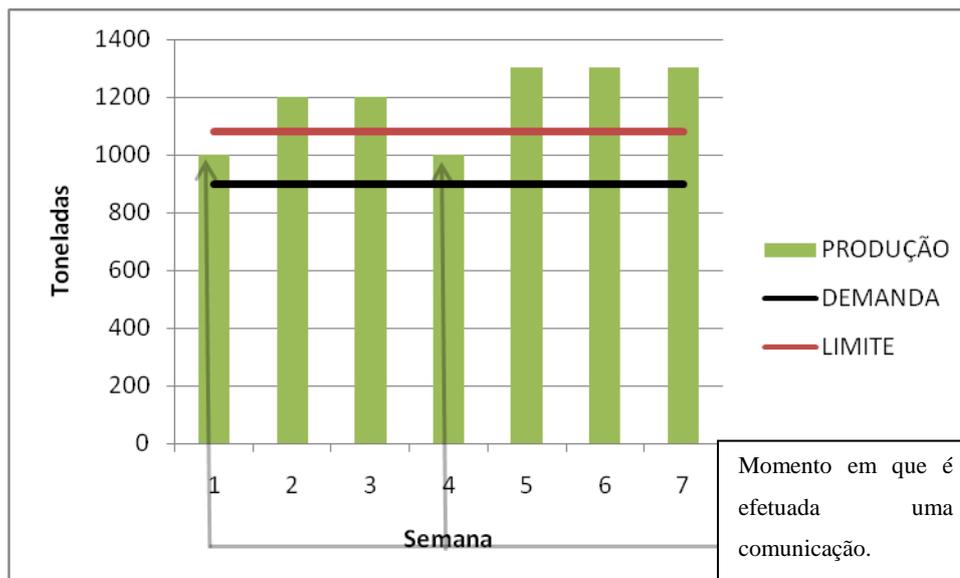


Figura 36 - Modelo de comunicação no nível gerencial

#### 4.4.2 Apontamentos

Todos os apontamentos eram realizados em planilhas, conforme o anexo 4 e 5, onde o apontador poderia ter a escolaridade fundamental, pois não era dada a devida importância às informações ali lançadas. Após o desenvolvimento do mapa do processo foi realizado diversos treinamentos para instruir os apontadores a fazer os apontamentos corretamente.

Atividades desenvolvidas pelos apontadores:

- controlar frequência da mão-de-obra;
- registrar as horas trabalhadas, anotando-as nas planilhas;
- registrar as ocorrências diárias, anotando-as nas planilhas;
- receber e conferir materiais destinados às obras;
- encaminhar ao setor competente os documentos pessoais dos funcionários das obras;
- auxiliar o coordenador nas solicitações de materiais;
- executar outras tarefas de mesma natureza e nível de complexidade associadas ao ambiente organizacional;

- encaminhar as produções dos britadores e equipamentos.

Todas essas informações eram encaminhadas no fim do dia para o escritório onde o administrativo da central que por sua vez, encarregava-se de até as 10:00 horas do dia seguinte fazer todos os lançamentos no software de gestão da empresa, nas telas desenvolvidas para essa finalidade, conforme a Figura 37.

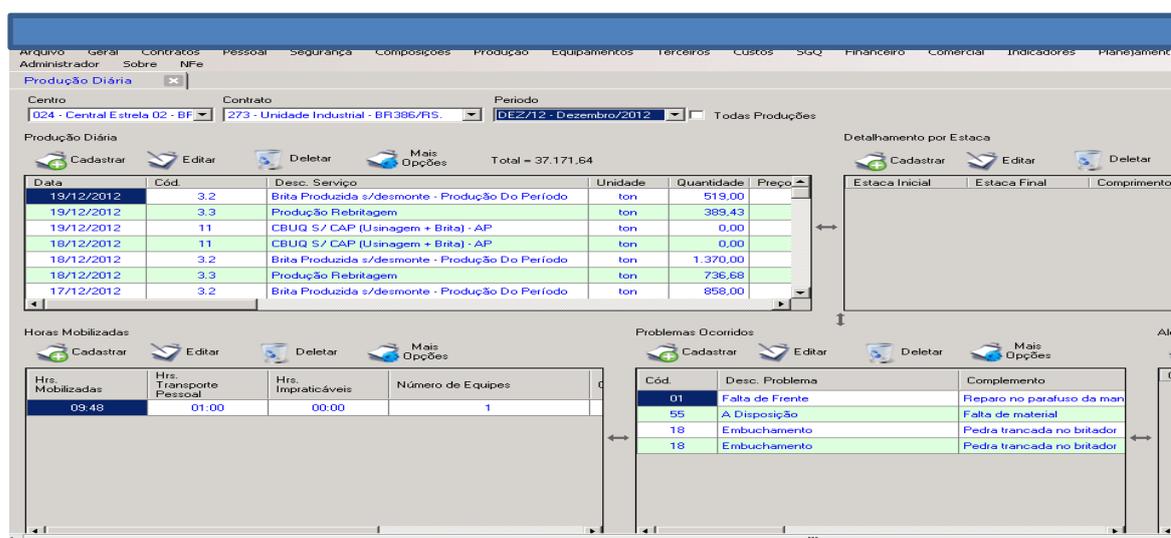


Figura 37 - Tela de lançamento de produção diária no *software* da empresa

Entretanto, uma série de divergências nas informações ocorriam, pois o administrativo interpretava as informações dos formulários e nem sempre isso acontecia da maneira correta. E nas reuniões de análise dos problemas e paradas essas falhas eram detectadas.

Para amenizar, o perfil dos apontadores foi alterado, passando a necessitar de funcionários com maior escolaridade para trabalhar com *tablet* diretamente no local de serviço. Para os aparelhos foi desenvolvido um aplicativo que se comunica com o *software* da empresa, de forma que os lançamentos sejam realizados apenas uma vez, diminuindo os retrabalhos e a possibilidade de erros.

Com isso, espera-se aumentar a qualidade das informações com um custo menor, para que dentro do escritório passe a ser um local de análise e não apenas de lançamentos. A Figura 38 exemplifica o aplicativo desenvolvido.



The image shows a mobile application interface for reporting production problems. At the top, there is a status bar with icons for signal, Wi-Fi, and battery, and the time 15h40. Below the status bar, there is a header with the text "Versão 5.0.4 - Produção" and "Lançar Problema Ocorrido". The main content area is divided into several sections: "Problema" with a dropdown menu showing "Embuchamento"; "Horas Paradas" and "Hora Ocorrência" with input fields showing "00:00"; "Equipamento" with a dropdown menu showing "Código" and "Selecionar Item"; and "Complemento" with a text input field.

Figura 38 - Tela de lançamento de problemas de produção

Na Figura 38 é demonstrado a tela onde o apontador faz os lançamentos das paradas ocorridas durante o dia. É necessário colocar em que equipamento ocorreu, quanto tempo ficou parado e qual o horário da ocorrência. Os problemas levantados durante as fases de medição foram informados previamente no sistema para facilitar os lançamentos.

#### 4.4.3 Problemas de Produção

Após a apresentação dos dados para a equipe, em um dos *brainstorm* realizados, com base na experiência dos conhecedores dos equipamentos, uma das principais causas da ineficiência pode ser as grandes e frequentes interrupções a que estão expostos os britadores.

Com o objetivo de aumentar o tempo produtivo e também o tempo sem interrupção foi definido um plano de ação de curto prazo, conforme o Quadro 11. Salienta-se que é um trabalho de melhoria contínua em que as medições devem seguir ocorrendo e a reavaliações e planos de ação refeitos.

| <b>Problema</b>                 | <b>Melhoria</b>  |
|---------------------------------|--|
| Lubrificação e Abastecimento    | Com o objetivo de eliminar os abastecimentos durante os turnos de trabalho ficou definido que as máquinas serão abastecidas e lubrificadas durante o horário de almoço e janta dos turnos do dia e noite, respectivamente.   |
| Limpeza de equipamentos         | Com o objetivo de reduzir a necessidade de parar a produção para fazer as limpezas foi mobilizado uma equipe de 4 pessoas para realizar a limpeza de todos os tuneis e correias durante os intervalos e antes do início de cada turno.   |
| Embuchamento e falta de insumos | Para resolver o problema do britador primário foi renegociado com o fornecedor de furação e detonação em rocha para que assuma a responsabilidade pelos “matacos” de forma que sejam detonados antes da escavadeira carregar o caminhão para alimentar o britador primário.<br>O monitoramento sobre quanto e quando deveria ocorrer as detonações também foi passado para a empresa que faz as detonações. Antes era aberto um chamado e a contratada se deslocava até a britagem, entretanto muitas vezes ocorria um atraso no chamado ou no deslocamento, deixando o britador parado. |
| Manutenção Preventiva           | A manutenção preventiva da Escavadeira, pá carregadeira e caminhão é responsabilidade do setor de manutenção da empresa. Assim foi solicitado que essas manutenções sejam realizadas em horários de intervalos ou quando ocorrer alguma quebra em qualquer um dos componente da britagem.  |
| Demais paradas                  | Ficou definido que na sexta feira no turno da tarde será utilizado para fazer uma manutenção preventiva nos seguintes componentes: telas, correias transportadoras, roletes e peneiras. Planeja-se fazer as soldas e reforços necessários, redução do tamanho dos monte de pulmão de forma que durante a semana não ocorra o problema de excesso de material no pulmão. Caso durante a semana ocorra uma quebra significativa essa rotina pode ser antecipada.   |

Quadro 11 - Plano de melhoria para as paradas de produção

#### 4.4.4 Projeto de Experimento

Com base no estudo da produção de pó, onde constatou-se uma ineficiência muito alta e uma grande necessidade de aumentar a produção para atender ao cliente, um projeto de experimento se faz necessário, uma vez que não há recursos para investimento de aumento de capacidade.

É importante salientar que é necessário aumentar a produção, sem interferir em características como produção de *filler* e lamelaridade da pedra. Outra característica importante para a empresa é o conhecimento a respeito da influência que um equipamento tem sobre o outro na produção final.

A função básica do sistema em estudo é produzir pedra na característica exigida pelo cliente, em um prazo adequado, com agilidade e baixo custo. Assim, em reuniões realizadas durante este projeto, foram identificadas as entradas (*inputs*) do sistema, que são as principais características da pedra definida pelo cliente da britagem. Com base nessas características levantadas, foi possível fazer o planejamento do experimento.

Uma das problemáticas que o projeto de experimento permite ajudar a empresa é sobre o histórico que ficará a respeito do quanto uma mudança em um equipamento afeta outro. Por exemplo, o quanto a abertura de um Cone 367 junto com a abertura do 36FC afeta no produto final?

As variáveis de resposta (Y) foram definidas como Produção Total, Percentual de Pó de Brita e Percentual de *Filler*. Os fatores de controle relevantes foram identificados com os técnicos de manutenção da empresa e os coordenadores de britagem, os quais podem ser vistos no Quadro 12 em conjunto com os níveis.

Conforme o Quadro 12, o *layout* atual da britagem possibilita um total de 7 fatores de ajuste cada um podendo ter no mínimo 2 ajustes, o que leva a um total de 128 possibilidades diferentes. Se contabilizar que, dependendo do ajuste que deve ser feito, pode levar até 2 dias para ser realizado, a empresa ficaria até um ano aplicando os experimentos para realizar todas as possibilidades.

| FATOR DE CONTROLE                    | AJUSTES     |             |
|--------------------------------------|-------------|-------------|
|                                      | 1           | 2           |
| Abertura do Primário                 | 75 mm       | 87 mm       |
| Abertura do Cone 367                 | 19 mm       | 25mm        |
| Abertura do Cone 36FC                | 10 mm       | 14 mm       |
| Retorno entre 1" e 3/4" Cone 367/VSI | 70% cone    | 70% VSI     |
| Retorno da Brita 3/4 Cone 36FC/VSI   | 50% cone    | 50% VSI     |
| Velocidade VSI (rpm)                 | 1400        | 1700        |
| Retorno do VSI em 3/8"               | Com Retorno | Sem Retorno |

Quadro 12 - Fator de controle do experimento

Assim, o experimento, foi planejado conforme a Tabela 4, o qual possibilita a exploração de sete fatores de controle a dois níveis cada um. Para cada arranjo foram realizados 2 experimentos, de duração de 1 dia cada. Destacou-se o trabalho realizado pelos laboratoristas da empresa para realizar as medições no fim de cada dia.

Tabela 4 - Configuração do experimento

| FATORES           |                   |                   |                    |                                     |                           |                |                  |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------|------------------|
| Nº do experimento | Abertura Primário | Abertura Cone 367 | Abertura Cone 36FC | Retorno entre 1" e 3/4" Cone367/VSI | Retorno 3/4 Cone 36FC/VSI | Velocidade VSI | Retorno VSI 3/8" |
|                   | A                 | B                 | C                  | D                                   | E                         | F              | G                |
| 1                 | 75 mm             | 19 mm             | 10 mm              | 70% cone                            | 50% cone                  | 1400           | Com              |
| 2                 | 75 mm             | 19 mm             | 10 mm              | 70% VSI                             | 50% VSI                   | 1700           | Sem              |
| 3                 | 75 mm             | 25mm              | 14 mm              | 70% cone                            | 50% cone                  | 1700           | Sem              |
| 4                 | 75 mm             | 25mm              | 14 mm              | 70% VSI                             | 50% VSI                   | 1400           | Com              |
| 5                 | 87 mm             | 19 mm             | 14 mm              | 70% cone                            | 50% VSI                   | 1400           | Sem              |
| 6                 | 87 mm             | 19 mm             | 14 mm              | 70% VSI                             | 50% cone                  | 1700           | Com              |
| 7                 | 87 mm             | 25mm              | 10 mm              | 70% cone                            | 50% VSI                   | 1700           | Com              |
| 8                 | 87 mm             | 25mm              | 10 mm              | 70% VSI                             | 50% cone                  | 1400           | Sem              |

Os dados controlados pelos laboratoristas podem ser vistos na Tabela 5, sendo que é apresentadas as médias de dois experimentos realizados.

Tabela 5–Média dos resultados de cada experimento

| <b>RESULTADOS</b> |                |      |          |
|-------------------|----------------|------|----------|
| Nº do Experimento | PRODUÇÃO TOTAL | % PÓ | % FILLER |
| 1                 | 500            | 31   | 9        |
| 2                 | 480            | 39   | 8        |
| 3                 | 510            | 30   | 12       |
| 4                 | 500            | 34   | 10       |
| 5                 | 450            | 30   | 11       |
| 6                 | 390            | 35   | 10       |
| 7                 | 560            | 26   | 13       |
| 8                 | 510            | 29   | 12       |

Os dados foram analisados utilizando a razão de sistema sinal-resposta. O resultado dessa avaliação também pode ser visto na Tabela 6, que apresenta em verde o que seria o melhor ajuste para cada variável de saída e em vermelho o fator de maior influência sobre a variável de saída medida, quando alterado.

O cálculo do resultado de cada um dos fatores foi feito da seguinte forma: o resultado do fator abertura do primário no ajuste 1 em relação a produção total de pó é dado pela soma de todos os resultados do fator abertura do primário no ajuste 1, divididos pela quantidade de vezes em que foi utilizado, ou seja:  $(500 + 480 + 510 + 500)/4 = 497,5$ .

O efeito de um fator de dois níveis é fornecido pela diferença entre os resultados do fator em cada um de seus níveis, podendo ser considerado a sua força. Sendo os fatores mais fortes aqueles que apresentam os maiores efeitos e que está representado na Tabela 6 pelas linhas “módulo” e exemplificado na Figura 42 para a produção total, onde pode ser visualizados através da inclinação das retas.

Tabela 6- Avaliação dos fatores

|                       | Abertura Primário | Abertura Cone 367 | Abertura Cone 36FC | Retorno entre 1" e 3/4" Cone367/VSI | Retorno 3/4 Cone36FC/VSI | Velocidade VSI | Retorno VSI 3/8" |
|-----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------|----------------|------------------|
| <b>PRODUÇÃO TOTAL</b> |                   |                   |                    |                                     |                          |                |                  |
| <b>AJUSTE 1</b>       | 497,5             | 455               | 512,5              | 505                                 | 477,5                    | 490            | 487,5            |
| <b>AJUSTE 2</b>       | 477,5             | 520               | 462,5              | 470                                 | 497,5                    | 485            | 487,5            |
| <b>MÓDULO</b>         | 20                | 65                | 50                 | 35                                  | 20                       | 5              | 0                |
| <b>% PÓ</b>           |                   |                   |                    |                                     |                          |                |                  |
| <b>AJUSTE 1</b>       | 33,5              | 33,75             | 31,25              | 29,25                               | 31,25                    | 31             | 31,5             |
| <b>AJUSTE 2</b>       | 30                | 29,75             | 32,25              | 34,25                               | 32,25                    | 32,5           | 32               |
| <b>MÓDULO</b>         | 3,5               | 4                 | 1                  | 5                                   | 1                        | 1,5            | 0,5              |
| <b>% FILLER</b>       |                   |                   |                    |                                     |                          |                |                  |
| <b>AJUSTE 1</b>       | 9,75              | 9,5               | 10,5               | 11,25                               | 10,75                    | 10,5           | 10,5             |
| <b>AJUSTE 2</b>       | 11,5              | 11,75             | 10,75              | 10                                  | 10,5                     | 10,75          | 10,75            |
| <b>MÓDULO</b>         | 1,75              | 2,25              | 0,25               | 1,25                                | 0,25                     | 0,25           | 0,25             |

Conforme a Figura 39, sobre a produção total, observa-se que a abertura do Cone 367, abertura do Cone 36FC e o retorno entre 1" e 3/4" Cone/VSI foram os fatores que quando alterados tiveram a maior variação no resultado medido. A abertura do Cone 36FC e o retorno entre 1" e 3/4" Cone 367/VSI tiveram melhor rendimento no fator de ajuste 1, enquanto a abertura do Cone367 teve rendimento mais satisfatório no fator de ajuste 2.

As variáveis de resposta abertura do primário, abertura do Cone 367, e retorno de brita entre 1" e 3/4" para o Cone 367 e VSI, apresentaram grande variação em todos os resultados medidos, mostrando assim grande influência no processo, principalmente sobre o percentual de *filler*, pois os outros fatores tiveram pouca variação. Já o Cone 36FC apresentou variação significativa apenas para a produção total.

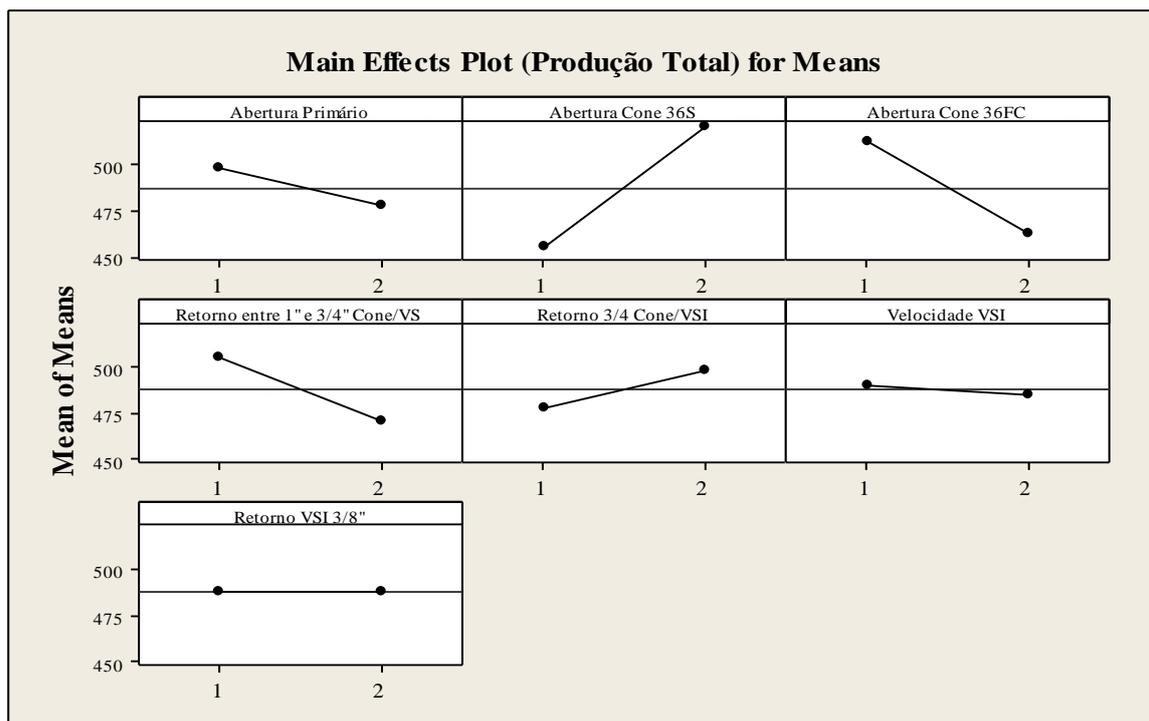


Figura 39- Sinal-Resposta sobre a produção total

Assim, com base nas respostas foi possível determinar a configuração que melhor atende às variáveis de saídas que foram medidas. Como já descrito nesse trabalho, o pó de brita é sempre uma dificuldade e um gargalo nas obras, então para a definição de uma proposta de ajuste para a britagem em questão priorizou-se a produção de pó, conforme o Quadro 13.

|        | FATORES           |                   |                    |                                     |                           |                |                  |
|--------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------|------------------|
|        | Abertura Primário | Abertura Cone 367 | Abertura Cone 36FC | Retorno entre 1" e 3/4" Cone367/VSI | Retorno 3/4 Cone 36FC/VSI | Velocidade VSI | Retorno VSI 3/8" |
| AJUSTE | 75 mm             | 25mm              | 10 mm              | 70% VSI                             | 50% VSI                   | 1400           | Sem              |

Quadro 13– Proposta de ajuste

## 4.5 Controle

A presente fase tem como objetivo controlar as ações de melhoria implementadas na fase anterior de modo a assegurar que o processo trabalhe com a menor quantidade de desvios possível. As melhorias realizadas fazem com que o processo trabalhe sendo monitorado pelo *software* da empresa, sendo necessárias reuniões para análise.

Assim, um dos controles necessários é as Atas de Reunião que devem ser enviadas para o setor de treinamento da empresa como uma forma de garantir que o grupo realiza os encontros para analisar os relatórios do sistema e tomarem as ações necessárias.

Outro controle desenvolvido é o fator de segurança demonstrado no item 4.4.1 que automaticamente encaminha aos envolvidos um aviso quando o processo não produz conforme o definido podendo gerar ações imediatas entre a obra e britagem, aproximando significativamente os dois setores.

Muitas das melhorias implementadas consistiram na alteração de procedimentos, logo o controle da sua aplicação é realizado de um modo simples e quase automático.

As alterações de procedimentos, tipo de ação a submeter ao processo e preenchimento dos relatórios de medição e análise são controladas de modo imediato pelo coordenador, pois consiste em verificar se todos os técnicos cumprem as alterações definidas e programar novas ações.

Em relação à melhoria obtida no projeto de experimento o monitoramento é de baixa complexidade pois, para fazer qualquer mudança no *layout* ou um ajuste em qualquer um dos equipamentos, é difícil, poucas pessoas tem a capacidade de fazer e muito demorado, sendo assim, quando ocorrer, vai ser por ordem ou autorização da gerência da empresa.

Em relação ao percentual de *filler* e lamelaridade da pedra já existia procedimentos internos da empresa para monitorar, pois são itens que afetam diretamente a qualidade do asfalto. Por fim, sugere-se a utilização de cartas de controle para aprimorar esse acompanhamento.

## 4.6 Síntese dos resultados

É difícil medir de forma isolada cada melhoria na produtividade da britagem, mas após a aplicação do projeto de experimento e conseqüentemente a realização dos ajustes propostos é possível realizar novas medições para verificar o desempenho do processo. Para isso, foram realizadas novas 90 medições e analisadas com as mesmas ferramentas utilizadas durante a fase de medição e análise, em que os dados foram aferidos através das variáveis definidas pelo cliente.

A aplicação da metodologia Seis Sigma apresentou bons resultados no ambiente da empresa, atendendo ao proposto no item 1.2.

Conforme apresentado anteriormente, a britagem tinha sua produção final afetada pelas paradas de produção, o que trazia uma ineficiência ao processo e uma série de falhas no atendimento ao cliente.

Soluções foram propostas de modo que se conseguiu reduzir o custo da ineficiência, isso através da identificação das perdas e o plano de melhoria sobre elas. Com a redução das paradas, aumento do tempo produtivo e também a definição de um melhor arranjo produtivo através do projeto de experimento, foi possível aumentar a produtividade do sistema e também a produção final da britagem, diminuindo o custo unitário da pedra.

O *Boxplot* na Figura 40 representa a localização da mediana, média e a dispersão entre as populações da produção do primário e rebritagem. O segundo e quarto *Boxplot* se referem aos dados após as melhorias propostas e é possível ver que tanto a média, mediana e dispersão tiveram melhores desempenho.

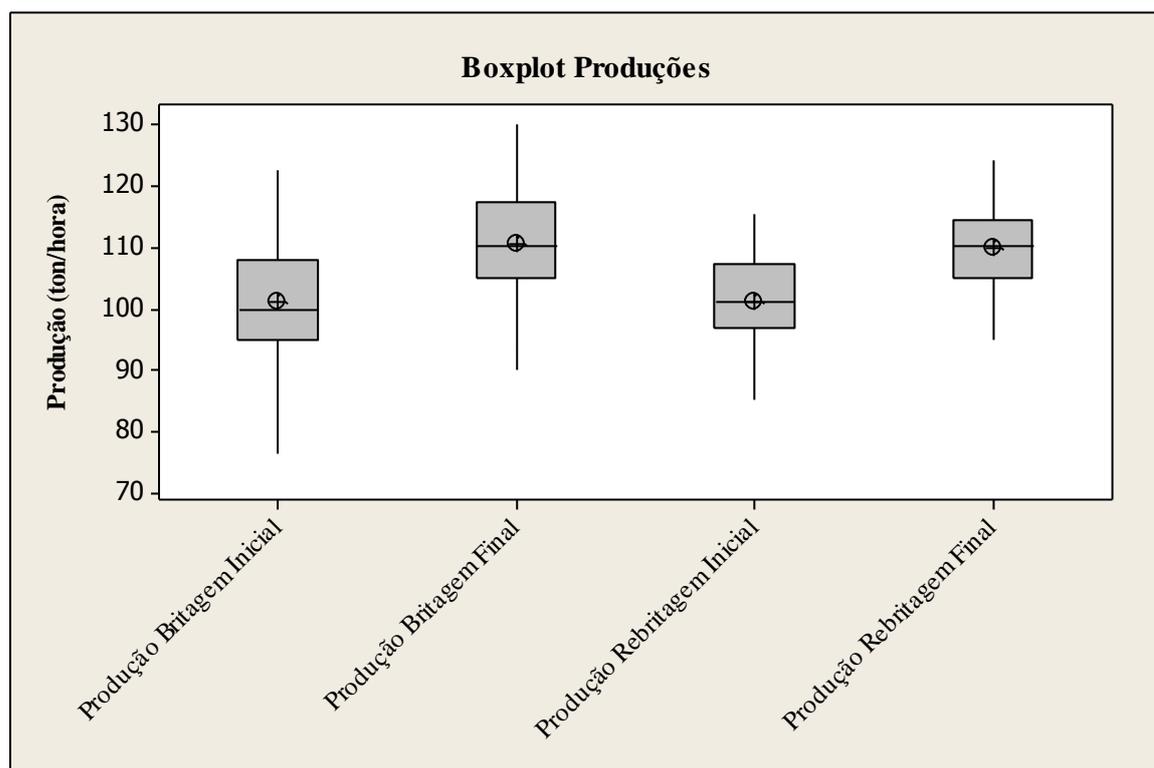


Figura 40- BoxPlot da produção inicial e final do britador primário

Assim, a média de produção do britador primário, representada na Figura 40 pelo ponto no centro das caixas, passou de 101 toneladas por hora para 110 toneladas por hora, um aumento de produtividade de aproximadamente 10%.

A mediana dos BoxPlot do britador primário, representada pela linha que corta as caixas, passou de aproximadamente 99 toneladas por hora para 109 toneladas por hora. Já em relação à dispersão dos dados, a linha vertical da produção da britagem final mostra uma maior homogeneidade dos dados da produção do primário e da rebitagem.

A produção média da rebitagem passou de 101 toneladas por hora para aproximadamente 109,84 toneladas por hora.

Os projetos de experimento em conjunto com a redução das frequências de paradas do britador levaram a esse acréscimo, o que juntamente com o aumento das horas trabalhadas levou o britador a produzir 139.700 toneladas de pedra no período.

Na Tabela 7 são apresentados, resumidamente, os resultados obtidos no britador primário e rebitagem e os ganhos de produtividade e produção final.

Tabela 7 - Resumo dos resultados no britador primário e rebitagem

|                           | Primário |                 |               | Rebitagem |                 |               |
|---------------------------|----------|-----------------|---------------|-----------|-----------------|---------------|
|                           | Nominal  | Período inicial | Período final | Nominal   | Período inicial | Período final |
| Produtividade (ton/hora)  | 130      | 101             | 110           | 120       | 101             | 109,8         |
| Horas produtivas          |          | 1020            | 1270          |           | 1227            | 1448          |
| Horas paradas             |          | 300             | 170           |           | 573             | 432           |
| Produção do período (ton) |          | 103.020,00      | 139.700,00    |           | 123.927,00      | 158.990,00    |

Nas Figuras 41 e 42, foi possível verificar a evolução da produtividade da britagem e rebitagem ao longo do período através do gráfico de série temporal.

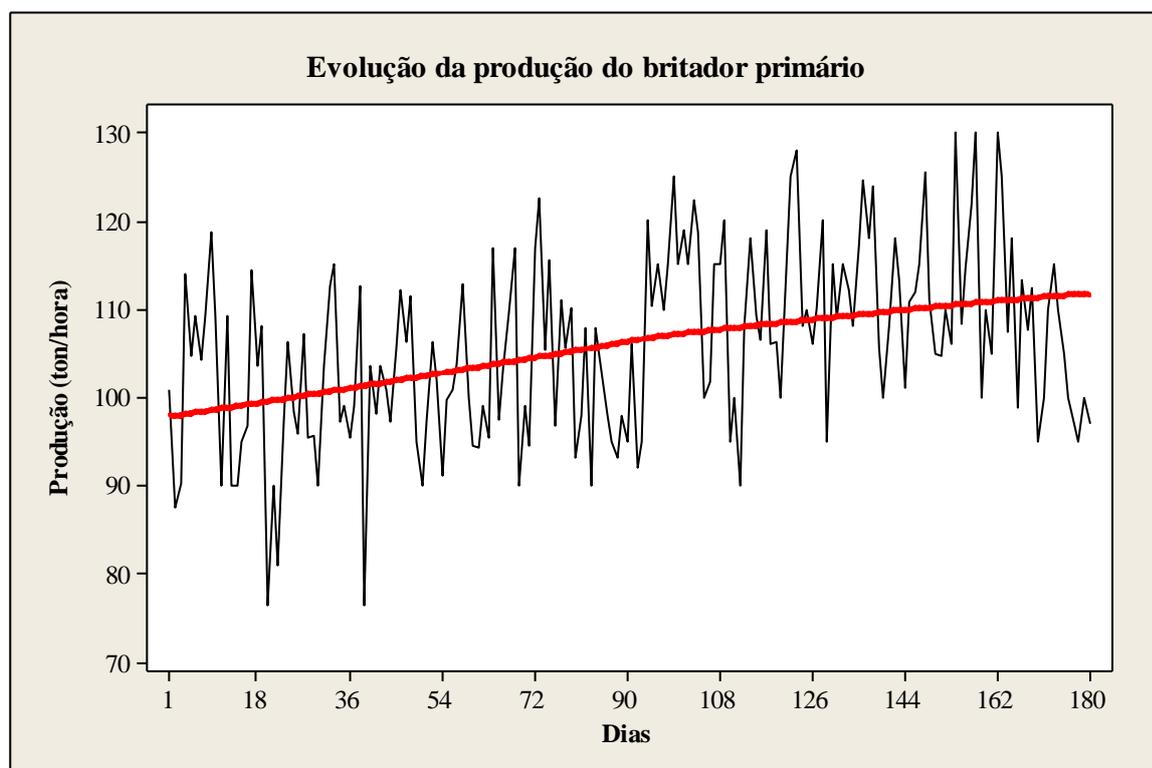


Figura 41 - Evolução da produção do britador primário

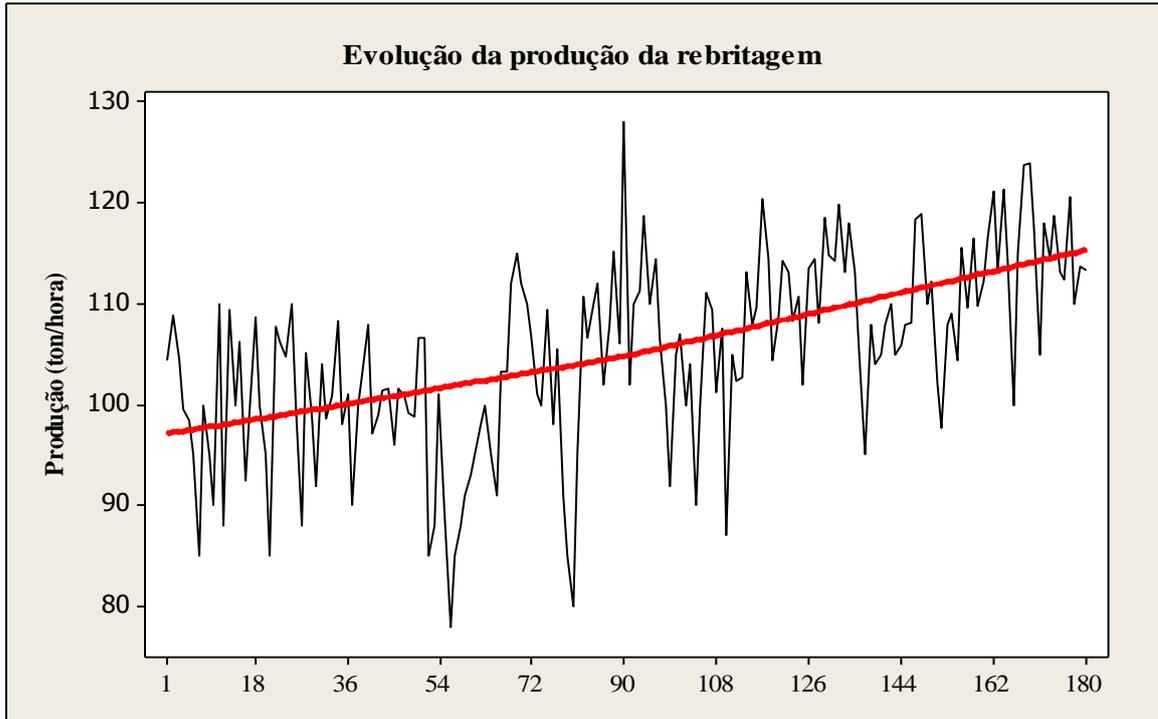


Figura 42 - Evolução da produção da rebitagem

Por fim, na Tabela 8 é apresentado o p-valor da regressão no tempo e a equação da reta da evolução da produção da britagem e rebitagem. Nos dois casos a evolução foi significativa.

Tabela 8 - Coeficientes da reta da britagem e rebitagem

|                | <b>Britagem</b>     | <b>Rebitagem</b>    |
|----------------|---------------------|---------------------|
| Equação        | $Y = 0,16x + 88,37$ | $Y = 0,24x + 80,13$ |
| <i>p-value</i> | 0,007489            | 0,0079              |

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Neste capítulo apresentam-se as conclusões e contribuições do estudo, assim como algumas sugestões para trabalhos futuros.

### **5.1 Conclusões**

A partir do estudo realizado conclui-se que a metodologia DMAIC centra-se na melhoria e padronização das ações tomadas, ajudando as organizações a produzirem de forma mais rápida, mais econômica e consciente. Pode-se afirmar que o objetivo principal deste estudo foi atingido.

A aplicação da metodologia e das ferramentas propostas contribuiu para a melhoria do processo de análise de paradas e entendimento da capacidade da indústria. Com as identificações das principais perdas e dos equipamentos mais problemáticos, conseguiu-se planejar as melhorias, bem como montar equipes especializadas para resolver problemas e fazer manutenção em equipamentos e horários específicos, como limpeza e peneiras, respectivamente.

Com as equipes trabalhando em um terceiro horário, foi possível reduzir o tempo médio de paradas durante a produção e, conseqüentemente, diminuir a amplitude das paradas, reduzindo o custo direto de produção. Além dos benefícios que o projeto trouxe de forma direta e indireta para a britagem, como aumento da maturidade da equipe, a padronização do processo de medição e análise, melhoria do serviço preventivo, em termos organizacionais, este foi um trabalho enriquecedor, pois o elo entre as estratégias de negócio, unidade industrial e obra se fortaleceu.

A informatização através do aplicativo desenvolvido para reduzir os passos percorridos pelas informações dentro do processo da empresa trouxe uma redução da carga de trabalho significativa dentro do escritório da empresa além do fato de que nas reuniões de análise das paradas e das produções, a assertividade foi maior.

Os apontadores foram qualificados e passaram a ter uma importância maior dentro do processo da empresa, mudando o perfil do profissional e conseqüentemente o salário. Destaca-se o fato do pioneirismo da empresa na utilização de aparelhos *tablets* para apontadores dentro de britagem, o que mostra uma preocupação da empresa em relação a melhoria de processo e mudança cultural.

Em relação ao processo interno entre obra e britagem, a sistemática desenvolvida para controle e comunicação está sendo aprimorada e avaliada de modo que os resultados poderão ser medidos em uma obra nova a ser implantada, pois assim os novos processos de planejamento e controle estarão a disposição desde seu início. Entretanto, conseguiu-se conciliar os processos desenvolvidos para a britagem e com base nele desenvolver o procedimento entre os dois setores da empresa.

Destaca-se a seleção de ferramentas e passos principais aplicados nesse trabalho e definidos junto com o grupo como base para implantação em outras unidades de britagem da empresa e até mesmo de outras organizações. As informações básicas utilizadas nesse trabalho, como levantamento das paradas e lançamento da produção diária através dos aparelhos, já é utilizado em todas as unidades industriais e obras da empresa, o que facilita o início do projeto na fase de medição e análise e aplicação das ferramentas conforme a metodologia proposta nesse trabalho.

Com relação à produtividade, obteve-se um aumento de 8% em relação as medições anteriores, decorrente das melhorias realizadas durante todas as fases do projeto e de ferramentas da qualidade e do programa Seis Sigma. O projeto de experimento foi fundamental para esse aumento de produtividade e a redução das paradas ajudou a aumentar o tempo disponível dos britadores e, conseqüentemente, a produção final.

Com as melhorias realizadas diminuiu-se o tempo de paradas de produção em aproximadamente 10%, o que representa em mais tempo de produção, menos interrupções e, conseqüentemente, uma redução dos custos de produção.

Portanto, com o projeto de experimento conseguiu-se medir o comportamento dos efeitos principais dos parâmetros do processo e foi possível realizar os ajustes nos parâmetros do processo para viabilizar uma redução de custo no processo de produção de brita, além de identificar o melhor ajuste para o sistema produtivo atual.

Visando à análise do processo de produção de brita e, principalmente, através da identificação do efeito de cada fator, ter um banco de dados confiável mostrou-se muito útil

para a empresa, pois, a partir do projeto de experimento, ela poderá responder com mais agilidade às necessidades das obras e, principalmente, eliminar o processo de tentativa e erro do processo.

Com as devidas adaptações, o método proposto pode constituir um modelo de referência para a construtora analisada, já que ela possui outras unidades de britagens semelhantes à estudada. Com este trabalho, foi possível organizar as informações e, por meio da metodologia utilizada, auxiliar não somente a controlar, como também a analisar e a eliminar perdas.

Destaca-se que a investigação cooperou para uma melhor compreensão da realidade industrial das britagens e dos seus problemas característicos.

Os ganhos atingidos com o programa vão além dos retornos financeiros. O projeto serviu de incentivo para diversos outros que também trouxeram resultados positivos para a empresa, como também a quebra de paradigmas dos funcionários operacionais, administrativos e gerenciais. Novos talentos foram formados e são fundamentais atualmente.

O programa Seis Sigma e o método DMAIC foram fundamentais para organizar as ideias de forma continuada, ter um trabalho em equipe durante todas as fases buscando a melhoria contínua. Sem o programa as melhorias, caso um dia ocorressem, não teriam a mesma sustentabilidade, estrutura e disciplina atingidas com esse trabalho.

## **5.2 Sugestões para trabalhos futuros**

Como alguns controles ficaram dentro dos processos internos da empresa, a mesma deve medir e fiscalizar, com alguma frequência, se as atividades estão sendo mantidas, além de analisar a capacidade do processo de modo a verificar se está dentro das especificações de qualidade e produção.

A empresa poderia aplicar o Seis Sigma em outros setores e áreas da empresa. Um próximo passo poderia ser nas usinas de asfalto ou equipes operacionais, podendo seguir a metodologia utilizada nesse trabalho e avaliar os resultados.

Além de testar o uso do Seis Sigma nas equipes de operacionais, poderia ser feita uma comparação com a metodologia *Lean Construction*, cujo foco é em construção civil e busca

também a melhoria de processos e a eliminação de atividades que não agregam valor e causam desperdício.

A metodologia Seis Sigma é rica em termos de possibilidades de utilização de ferramentas estatísticas. Entretanto, nesse projeto, fez-se uso moderado de tais ferramentas devido as características do processo. Outro fator importante da metodologia que não foi o foco dessa aplicação é nas capacitações de *Black Belt*, *Green Belt*, *Master Black Belt* e *Champion*. Sendo assim, um próximo estudo poderia ser comparar de resultados utilizando outras ferramentas e estruturação do programa conforme as capacitações.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOELMAGED, M.G. **Six Sigma quality: a structured review and implications for future research.** International Journal of Quality & Reliability Management, Vol.27, p.268-317, 2010.

AGUIAR, A.F. **Gerenciamento das Pendências em obras públicas de construção civil.** Fortaleza-CE: Universidade Federal do Ceará. 2004.

ANAWA, E.M. OLABI, A.G.; **Using Taguchi method to optimize welding pool of dissimilar laser-welded components.** Optics & Laser Technology, v. 40, p. 379– 388, 2008.

ANDRIETTA, J.M.; MIGUEL, P.A.C. **Aplicação do programa seis sigma no Brasil: resultados de um levantamento tipo survey exploratório-descritivo e perspectivas para pesquisas futuras.** Gestão da Produção. São Carlos, v.14, n.2, p. 203-219, maio-ago, 2007.

ANTONY, J. et al. **Application of Six Sigma DMAIC methodology in a transactional environment.** International Journal of Quality & Reliability Management, v.29, n.1, p.31-53, 2012.

AMADO, R. F; ROZENFELD, H. **Análise da aplicabilidade do método DMAIC do modelo Seis Sigma.** XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil. 2006.

BABA, V.A. **Diagnóstico e análise de oportunidades de melhoria em um restaurante universitário por meio da filosofia Seis Sigma.** Dissertação de mestrado, Faculdade de Economia, Universidade de São Paulo, 2008.

BENETTI, P.H. **Diretrizes para avaliar a estabilidade do fluxo de valor sob a perspectiva da mentalidade enxuta.** Tese de doutorado em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

BERDEBES, G. **Introduction to six Sigma: for internal service departments and professional services organizations.** Quebec: Working Paper. 2003.

BERNARDES, S.M.M. **Planejamento e controle da produção para empresas da construção civil.** Rio de Janeiro, LTC. 2010.

BONDUELLE, G. **Avaliação e análise dos custos da má qualidade na indústria de papéis de fibras duras**. Florianópolis. Dissertação (Doutorado em Engenharia).UFSC, 1997.

BOTHE, D. R. **Measuring Process Capability; techniques and calculations for quality and manufacturing engineers**. New York : McGraw-Hill, 1997.

BRADY, J. E.; ALLEN, T. T. **Six sigma literature: a review and agenda for future research**. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 22, p. 335-367, 2006.

BUTTON, S. T. **Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados**. Campinas. Universidade Estadual de Campinas, Apostila. 2012

CAMPOS, M.S. **Seis Sigma** - Presente e Futuro, 2003.

CAMPOS, M. S. **Seis Sigma gerencial**. Porto Alegre: Siqueira Campos, Apostila. 2005.

CARDOSO, B.F; SILVA, F.B; MOREIRA, L.S; CARNEIRO, M.P; BENTES, M.H. **Redução de produtos defeituosos em uma indústria de poliestireno expandido: uma aplicação das ferramentas da qualidade**. Trabalho apresentado no XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2014.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. São Paulo: Atlas. 2010.

COSTA, A. **Controle Estatístico de Qualidade**. Editora Atlas, 2. Ed.São Paulo, 2009.

DEMING, W.E. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva. 1990

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. **Manual de Pavimentação**. Publicação IPR-719. 2006.

ECKES, G. A. **Revolução do Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro**. Rio de Janeiro: Campus. 2001.

FALCÃO, G.A. **Diagnóstico de perdas e aplicação de ferramentas para o controle da qualidade e melhoria do processo de produção de uma etapa construtiva de edificações habitacionais**. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). UFRGS, 2001.

FALCONI, V. **TQC – Controle da Qualidade Total**. Editora: Ind Tecnologia e Serviços Ltda, 8ª Ed., 2004.

FARAH, M. F. S. **Processo de Trabalho na Construção Habitacional**. Tradição e mudança. São Paulo: ANNABLUME, 1996.

FILHO, R.L.M. **Ferramentas para projeto robusto aplicadas em uma empresa de correios**. Relatório de pesquisa programa de pós-graduação, Puc-PR. 2009.

FREITAS, M.A; FALEIRO, R.M.R; BORGES, M.F. **Projeto robusto de parâmetros em sistemas sinal-resposta: comparação de métodos de modelagem e análise**. Produção: v.17, n.3, set./dez, 2007.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção: mais do que simplesmente Just-in-time**. Caxias do Sul, EDUCS, 1996.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas. 2009.

HONÓRIO, O. **Estudo de aumento de capacidade da planta de britagem da Usina de Germano**: Samarco Mineração S.A. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2010.

INSFRÁN, A. A. L. (2001); **Um Sistema para Planejamento Operacional de Obras de Rodovias**. Tese de Mestrado. Escola de Engenharia, da Universidade de São Paulo, 2001.

ISHIKAWA, K. **TQC – Total Quality Control; estratégia e administração da qualidade**. São Paulo : IMC, 1986.

LINDERMAN, K. et al. **Six Sigma: a goal-theoretic perspective**. Journal of Operations Management. Vol. 21, n. 2, p. 193-203, 2003.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico: Procedimentos básicos**. 7ª edição, Editora Atlas, São Paulo, 2009.

MEHRJERDI, Y. Z. **Six-Sigma : Methodology**. Tools and its Future. Assembly Automation, 31(1), 1-20, 2011.

MELLO, L. C. B. B.; de AMORIM, S. R. L. **O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos.** Produção, v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009.

MONTGOMERY, D. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade.** 4 Edição., 2004.

MONTGOMERY, D. **Design and analysis of experiments.** 7ª Ed., 2009.

OHNO, T. **Sistema Toyota de Produção – além da produção em larga escala.** Porto Alegre, Editora Bookmann, 1997.

PALADINI, E.P. **Gestão estratégica da qualidade: principio, métodos e processos.** Atlas. São Paulo, 2008.

PANDE, P. et al. **Estratégia Seis Sigma: como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seus desempenho.** Qualitymark: Rio de Janeiro, 2001.

PEREZ-WILSON, M. **Seis Sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios.** Qualitymark: Rio de Janeiro, 1999.

RAMOS, F.V; LOPES, C.B; SILVA, N.F; PEREIRA, T.G. **Gestão de projetos através do DMAIC.** Trabalho apresentado no XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2014.

RAY, S.; DAS, P. **Six Sigma project selection methodology.** International Journal of Lean Six Sigma, v.1, n.4, p.293-309, 2010.

RASIS, D. et al. **Paper Organizers International: A Fictitious Green Belt Case Study.** Quality Engineering, Vol.15, p. 127-145, 2002.

REIS, D. A. F. (2003); **Seis Sigma: Um Estudo Aplicado ao Setor Eletrônico.** Porto Alegre. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

RIBEIRO, J. L. D; CATEN, C. T. **Controle Estatístico de Processos.** Apostila de Curso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001.

RIBEIRO, J. L. D; CATEN, C. T. **Controle Estatístico do Processo**. Série monográfica Qualidade. FEENG/UFRGS. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

ROHLEDER, T. R.; SILVER, E. A. **A tutorial on business process improvement**. Journal of Operations Management, v. 15, n. 2, p. 139-154, 1997.

ROSS, P.J; LOVERRI, R.C. **Aplicações das técnicas Taguchi na engenharia da qualidade**. São Paulo: Makron Books, 1991.

ROSS, C. **Uma pesquisa survey piloto para ampliar o entendimento sobre seleção de projetos seis sigma**. Trabalho apresentado no XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2014

ROTONDARO, R.G; RAMOS, A.W; RIBEIRO, C.O; MIYAKE, D.I; NAKANO, D; LAURINDO, R.F; HO, L.L; CARVALHO, M.M; BRAZ, M. A; BALESTRASSI, P.P. **Seis Sigma. Estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

SANTOS, A. B; MARTINS, M.F. **Contribuições do Seis Sigma: estudo de caso em multinacionais**. Produção: v.20, n.1, jan./mar, 2010.

SANTOS, D.R; JESUS, A. R. **Fatores críticos de sucesso do Seis Sigma na indústria brasileira**. Trabalho apresentado no XXXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2014.

SATOLO, E.G; ANDRIETTA, J.M; MIGUEL, P.A.C. **Análise da utilização de técnicas e ferramentas no programa Seis Sigma a partir de um levantamento tipo survey**. Produção: São Paulo, v. 19, n. 2, p. 400-416, 2009.

SCHISSATTI, M.L. **Uma metodologia de implantação de cartas de Shewarth para o controle de processos**. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). UFSC, 1998.

TIBONI, C. G. R. **Estatística básica para os cursos de administração, ciências contábeis, tecnológicos e de gestão**. São Paulo: Atlas, 2010.

TOLEDO, J. C. et al. **Qualidade – Gestão e Métodos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity summaries**: U.S. Geological Survey. Reston, Virginia. p.198, 2013.

VALVERDE, F. M., TSUCHIYA, O. Y. **Agregados para a Construção Civil no Brasil**. Comissão de Serviços de Infraestrutura do Senado Federal, Brasília, Distrito Federal, 2009.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Seis Sigma**. v. 1. Nova Lima, MG: Werkema Ed., 2004.

WERKEMA, C. **Criando a cultura Lean Seis Sigma**. 3ª Edição, Rio de Janeiro, Elsevier, 2012.

WERKEMA, C; AGUIAR, S. **Análise de regressão: como entender o relacionamento entre variáveis de um processo**. Belo Horizonte, Mg. Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

WERNER, L; RODRIGUES, J.T.M. **Seis Sigma: Característica do Programa em onze empresas situadas na região metropolitana de Porto Alegre**. Produção Online: Florianópolis, SC, v.12, n. 1, p. 2-22, jan./mar, 2012.

WIGINESCKI, .B.B. **Aplicação dos princípios da construção enxuta em obras pequenas e de curto prazo: um estudo de caso**. Monografia para mestre em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná, 2009.

ZELLNER, G. **A structured evaluation of business process improvement approaches**. Business Process Management Journal, v. 17, n. 2, p.203-237, 2011.

## ANEXOS

## Anexo 1 - Mapa de Raciocínio do Projeto

A Figura 43 apresenta o mapa de raciocínio para o projeto.

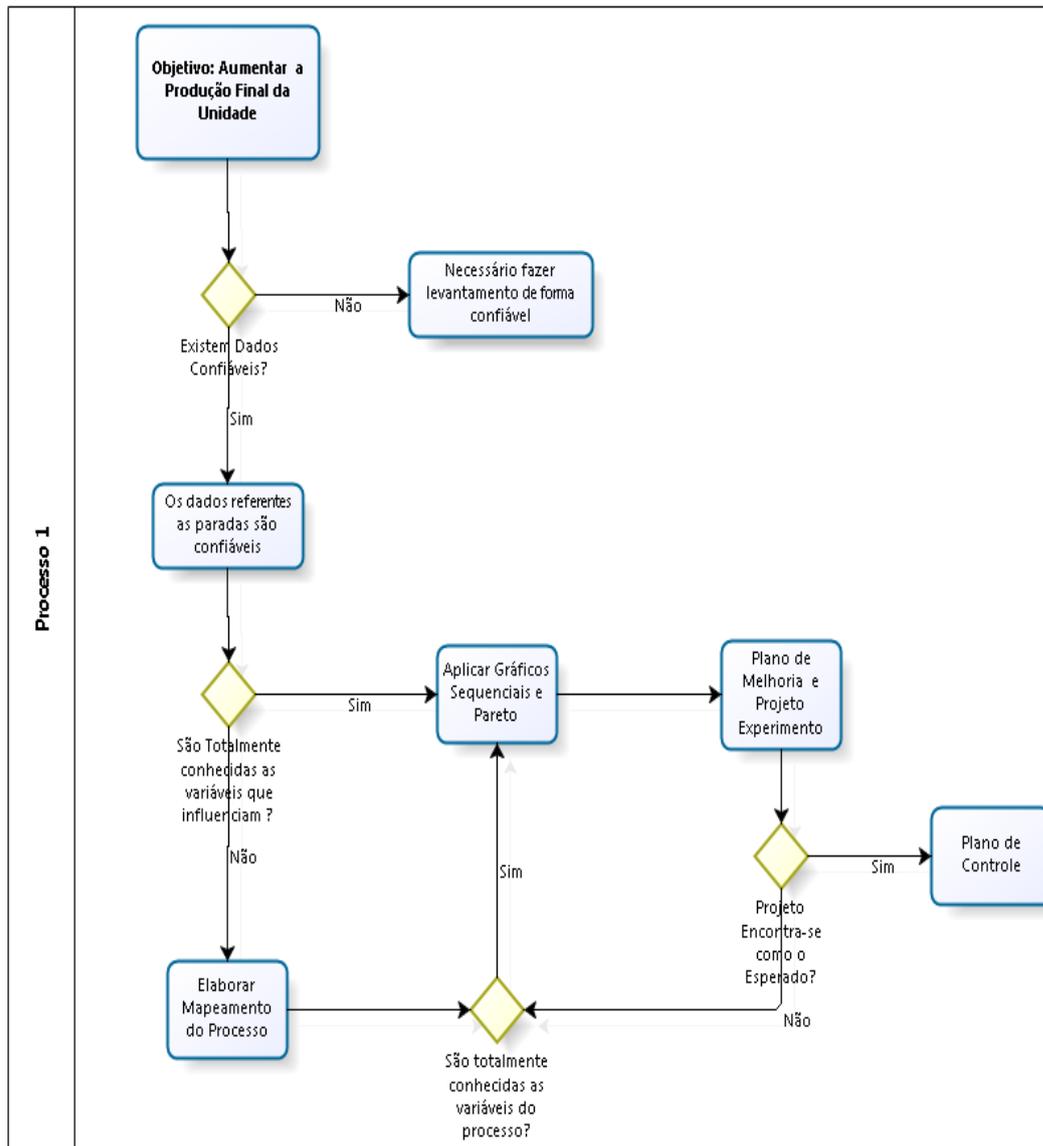


Figura 43 - Mapa de Raciocínio

Fonte: desenvolvido pelo autor através do *software Bizagi*.

## Anexo 2 – Constantes utilizadas na construção de cartas de controle

A Tabela 9 apresenta as constantes utilizadas na construção de cartas de controle.

Tabela 9 - Constantes para construção dos Limites de Controle

| <b>n</b>  | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>15</b> | <b>20</b> |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| <i>D3</i> | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0,076    | 0,136    | 0,184    | 0,223     | 0,347     | 0,415     |
| <i>D4</i> | 3,267    | 2,574    | 2,282    | 2,114    | 2,004    | 1,924    | 1,864    | 1,816    | 1,777     | 1,653     | 1,585     |
| <i>D2</i> | 1,128    | 1,693    | 2,059    | 2,326    | 2,534    | 2,704    | 2,847    | 2,97     | 3,078     | 3,472     | 3,735     |
| <i>A2</i> | 1,88     | 1,023    | 0,729    | 0,577    | 0,483    | 0,419    | 0,373    | 0,337    | 0,308     | 0,223     | 0,18      |
| <i>E2</i> | 2,66     | 1,77     | 1,46     | 1,29     | 1,18     | 0        | 0        | 0        | 0         | 0         | 0         |

Fonte: Adaptado de Ribeiro e Caten (2012).

### Anexo 3 – Procedimento interno da empresa para o controle de paradas da rebitagem

O Quadro 14 apresenta o controle de paradas que era utilizado pelos apontadores para informar as paradas ocorridas na rebitagem.

| CONTROLE DE PARADAS - REBRITAGEM |                        |       |       |       |       |       |             |
|----------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Operador:                        |                        |       |       |       |       |       |             |
| Hora inicio:                     |                        |       |       |       |       |       |             |
| Hora final:                      |                        |       |       |       |       |       |             |
| PARALIZAÇÕES                     |                        |       |       |       |       |       |             |
| MOTIVOS                          | Tempo Parado (minutos) |       |       |       |       |       | Observações |
|                                  | 06:00                  | 08:00 | 08:00 | 10:00 | 10:00 | 12:00 |             |
| Alimentação                      |                        |       |       |       |       |       |             |
| Problema Elétrico                |                        |       |       |       |       |       |             |
| Cone 1                           |                        |       |       |       |       |       |             |
| Cone 2                           |                        |       |       |       |       |       |             |
| VSI                              |                        |       |       |       |       |       |             |
| Peneirinha                       |                        |       |       |       |       |       |             |
| Peneirão                         |                        |       |       |       |       |       |             |
| Calha Tunel                      |                        |       |       |       |       |       |             |
| Correias transp                  |                        |       |       |       |       |       |             |
| Limpeza Praça                    |                        |       |       |       |       |       |             |
| Detector de metais               |                        |       |       |       |       |       |             |
| Chuva                            |                        |       |       |       |       |       |             |
| Manutenção de calhas             |                        |       |       |       |       |       |             |
| Retirando água/Limpando Túnel    |                        |       |       |       |       |       |             |
| Prob. Correias                   |                        |       |       |       |       |       |             |
| Motor em Curto                   |                        |       |       |       |       |       |             |
| Solda                            |                        |       |       |       |       |       |             |
| Embuchamento                     |                        |       |       |       |       |       |             |
| Excesso de Material Pulmão       |                        |       |       |       |       |       |             |
| SuperAquecimento                 |                        |       |       |       |       |       |             |
| Prob. Tela Peneira               |                        |       |       |       |       |       |             |
| Prob. Bica Peneira               |                        |       |       |       |       |       |             |
| Prob. Esteiras                   |                        |       |       |       |       |       |             |
| <b>Itens Inspeccionados</b>      |                        |       |       |       |       |       |             |
| Lubrificação Cone                |                        |       |       |       |       |       |             |
| Verificação Correias dos Motores |                        |       |       |       |       |       |             |
| Bater Telas                      |                        |       |       |       |       |       |             |
| Correias Transportadoras         |                        |       |       |       |       |       |             |
| Obs.:                            |                        |       |       |       |       |       |             |

Quadro 14 - Controle de Paradas – Rebitagem.

#### Anexo 4 – Procedimento interno da empresa para o controle de paradas do britador primário

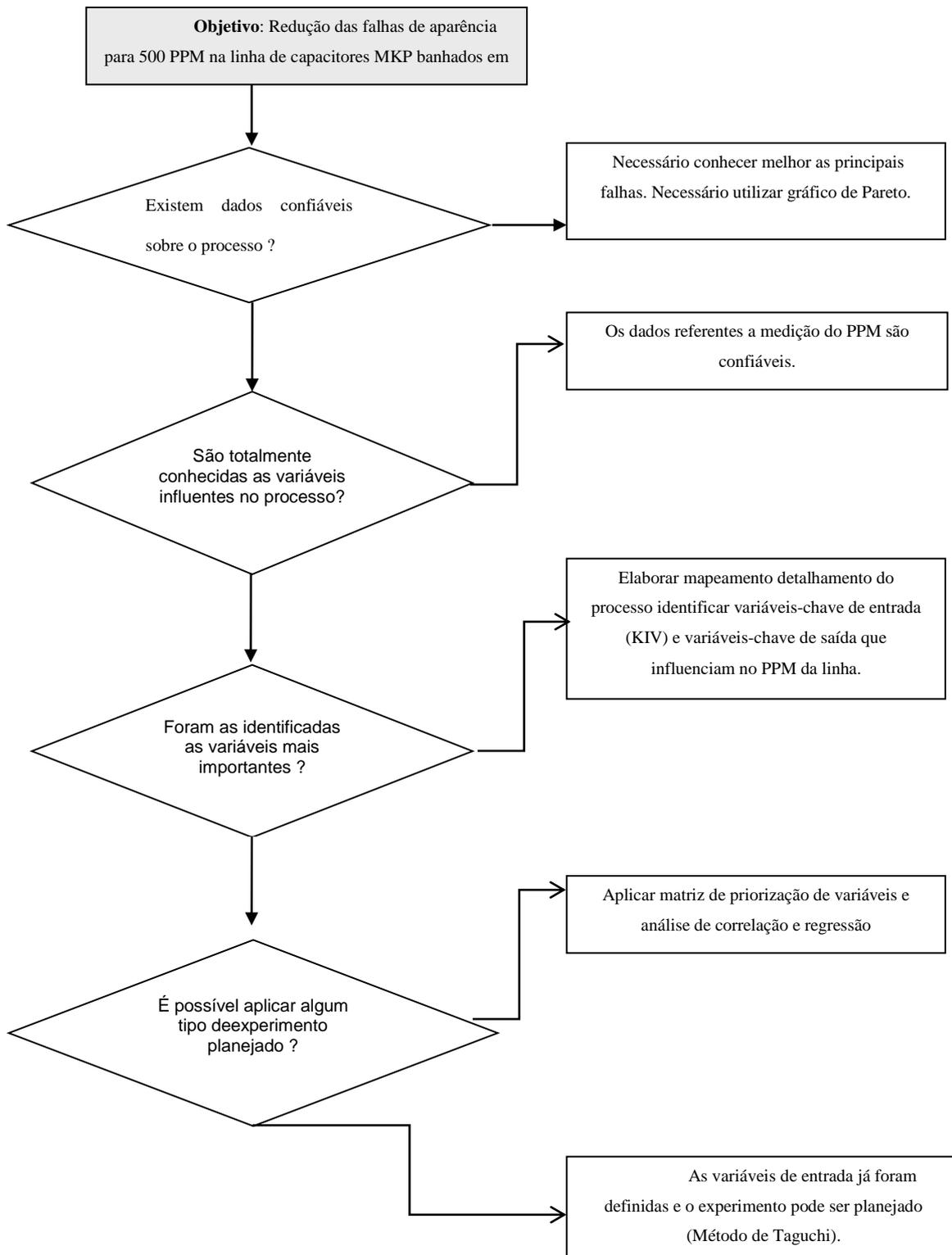
O Quadro 15 apresenta o controle de paradas que era utilizado pelos apontadores para informar as paradas ocorridas no britador primário.

| CONTROLE DE PARADAS - BRITADOR PRIMARIO       |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
|---|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|-------|-------------|
| Operador:                                     |                        |       |       |       |       |       | Data:             |       |             |
| Hora inicio:                                  |                        |       |       |       |       |       | Horas Trabalhadas |       |             |
| Hora final:                                   |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| PARALIZAÇÕES                                  |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| MOTIVOS                                       | Tempo Parado (minutos) |       |       |       |       |       |                   |       | Observações |
|   | 06:00                  | 08:00 | 08:00 | 10:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00             | 15:00 |             |
| Falta de Pedra                                |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Pedreira com água                             |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Pedra trancada no Alimentador                 |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Limpeza dos trilhos do alimentador            |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Pedra trancada no britador                    |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Correia transportadora                        |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Pilha pulmão Cheia                            |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Limpeza da Cancha                             |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Problema Elétrico                             |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Abastecimento da Escavadeira                  |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Falta de Caminhão                             |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Solda   |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Chuva   |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Manutenção Preventiva                         |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Itens Inspeccionados                          |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Verificação Correias dos Motores              |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Verificação Alinhamento Correia Transportador |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Verificação Motores Elétricos                 |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |
| Obs.:   |                        |       |       |       |       |       |                   |       |             |

Quadro 15 - Controle de Paradas - Britador Primário

## Anexo 5 – Modelo de mapa de raciocínio (Parcial)

O Quadro 16, apresenta um modelo de mapa de raciocínio.



Quadro 166 - Exemplo de mapa de raciocínio

Fonte: adaptado de Reis (2003).