



Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto

Departamento de Engenharia de Minas

---

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE CARBETO DE SILÍCIO:  
ESTUDO DE CASO DA METODOLOGIA WCM (*WORLD CLASS  
MANUFACTURING*)**

Autora: Paula Moreira Tostes

Ouro Preto - Minas Gerais – Brasil  
Março de 2017



Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto

Departamento de Engenharia de Minas

---

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE CARBETO DE SILÍCIO:  
ESTUDO DE CASO DA METODOLOGIA WCM (*WORLD CLASS  
MANUFACTURING*)**

Autora: Paula Moreira Tostes

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro de Minas.

Ouro Preto - Minas Gerais – Brasil  
Março de 2017

T716o

Tostes, Paula Moreira.

Otimização do processamento de carvão de silício [manuscrito]: estudo de caso da metodologia WCM (World Class Manufacturing) / Paula Moreira Tostes. - 2017.

48f.: il.: color; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Hernani Mota de Lima.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia de Minas.

1. Tratamento de minérios. 2. Britagem (Beneficiamento de minério). 3. Carvão de silício. I. Lima, Hernani Mota de. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 622.73

Catálogo: [ficha@sisbin.ufop.br](mailto:ficha@sisbin.ufop.br)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas - Departamento de Engenharia de Minas

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 28 dias do mês de março de 2017, às 16:00h, no auditório do Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas - DEMIN/EM, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas requisito da disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II, intitulado “**OTMIZAÇÃO DO PROCESSAMENTO DE CARBETO DE SILÍCIO: ESTUDO DE CASO DA METODOLOGIA WCM (WORLD CLASS MANUFACTURING)**”, pela aluna **Paula Moreira Tostes**, sendo a comissão avaliadora formada por **Prof Dr. Hernani Mota de Lima (Orientador)**, **Engº de Minas Bruno Trindade Ferreira** e **Prof. M.Sc. Felipe de Orquiza Milhomem**.

Após arguição sobre o trabalho, a comissão avaliadora deliberou por unanimidade pela *aprovação* da candidata, com a nota *10,0* concedendo-lhe o prazo de 15 dias para incorporar no texto final da monografia as alterações determinadas/sugeridas pela banca.

A aluna fará jus aos créditos e conceito de aprovação na disciplina MIN-491 – Trabalho de Conclusão de Curso II após a entrega dos exemplares definitivos (Cd e cópia impressa) da versão final da monografia defendida, conforme modelo do CEMIN-2009, no Colegiado do Curso de Engenharia de Minas – CEMIN.

Para fins de registro, foi lavrada a presente ata que, depois de lida e aprovada é assinada pelos membros da comissão avaliadora e pelo discente.

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima  
Presidente da Comissão Avaliadora e Professor Orientador

Ouro Preto, 28 de março de 2017.

Engº de Minas Bruno Trindade Ferreira  
Membro da Comissão Avaliadora

Prof. M.Sc. Felipe de Orquiza Milhomem  
Membro da Comissão Avaliadora

Paula Moreira Tostes

Prof. Ms.C. José Fernando Miranda  
Professsor responsável pela Disciplina Min 491 – Trabalho de Conclusão de Curso

## AGRADECIMENTOS

Ao meu amado e jamais esquecido pai (*in memoriam*), que sempre me apoiou em meus sonhos e decisões e nunca deixou de acreditar em mim.

À República Sussego pelos momentos de companheirismo.

Ao Prof. Dr. Hernani Mota de Lima pela orientação deste trabalho.

À empresa Saint-Gobain, especialmente o setor de Produção Primária por todo o aprendizado e oportunidade única de fazer parte de um verdadeiro time.

Aos engenheiros Thiago Romero e Júlio César Christo, pelo acompanhamento e suporte dado.

À Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, pelo estudo de qualidade.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

### **Otimização do processamento de Carbeto de Silício: estudo de caso da metodologia WCM (*World Class Manufacturing*)**

Nos dias de hoje toda empresa enfrenta o mesmo desafio que é o de oferecer produtos e serviços competitivos a seus clientes ao menor custo possível. Diante desse cenário econômico, ao longo dos anos vários sistemas de gestão da produção vêm surgindo com o objetivo de evitar desperdícios e maximizar o lucro. Este trabalho visou aplicar a metodologia *World Class Manufacturing* (WCM) e suas ferramentas ao processamento primário do Carbeto de Silício (SiC) num roteiro de Movimentação de Materiais e *Relayout*, para identificar oportunidades de melhoria no setor de Separação e Britagem Primária do carbeto de silício e chegar ao nível de excelência mundial. A implantação desse projeto, possibilitou reduzir a geração do material metalúrgico 0x1 mm de carbeto de silício em 45%, e obter um ganho de 5,25% em produtividade do setor.

Palavras chave: carbeto de silício, wcm, separação, *relayout*, melhoria contínua, produtividade, *lean manufacturing*

## ABSTRACT

### **Processing optimization of Silicon Carbide: a case study of the World Class Manufacturing (WCM) methodology**

Nowadays, every company struggles with the same challenge that is to offer competitive products and services to their costumers at the lowest possible cost. In this economic context, new plant production management systems have been emerging over the years aiming to avoid waste and thus, maximize businesses' profit. This study intends to apply the World Class Manufacturing (WCM) methodology and its tools to the primary processing of Silicon Carbide (SiC), in a detailed case study employing the Material Handling & Relayout guide with the purpose of to identify opportunities for improving the Sorting and Primary Crushing Plant of silicon carbide in order to reach a business level of excellence. This project was responsible for reducing the production of metallurgic 0x1mm material in 45% and increasing the productivity of the area in 5,25%.

Keywords: silicon carbide, WCM, sorting, relayout, continuous improvement, productivity, lean manufacturing

## FIGURAS

Figura 1: Modelo WCM “Fundação Padrão e Pilares” .....	15
Figura 2: Exemplo de <i>Travel Chart</i> .....	16
Figura 3: Exemplo de Diagrama de Pareto .....	17
Figura 4: Diagrama de Causa e Efeito .....	17
Figura 5: Análise dos cinco porquês .....	18
Figura 6: Seção longitudinal e transversal de um simples forno Acheson industrial.....	19
Figura 7: Cilindro de SiC .....	20
Figura 8: Principais aplicações do SiC.....	20
Figura 9: Sorting do carbeto de silício .....	21
Figura 10: Máquinas utilizadas na Separação .....	21
Figura 11: Processo de cominuição da Separação .....	22
Figura 12: Visão geral das atividades do roteiro de movimentação e <i>relayout</i> .....	23
Figura 13: O Roteiro de Movimentação de Materiais e <i>Relayout</i> .....	23
Figura 14: Sistema de Controle de Paradas Diárias .....	25
Figura 15: Matriz produto/processo da Separação.....	25
Figura 16: Diagrama dos materiais transportados.....	26
Figura 17: Matriz frequência x distância dos meios de transporte da Separação .....	27
Figura 18: Planta baixa da Separação I.....	28
Figura 19: Planta baixa da área Acheson .....	28
Figura 20: Indicador desejado de produtividade da Separação.....	29
Figura 21: Indicador desejado de geração de 0x1mm Metalúrgico .....	29
Figura 22: Diagrama de fluxo das linhas 1 (metalúrgico) e 2 da Separação (cristal) .....	30
Figura 23: Matriz frequência x distância do operador da Separação 1 .....	31
Figura 24: Classificação VA e NVA das atividades do separador.....	31
Figura 25: <i>Travel Chart</i> da sequência de atividades do separador .....	32
Figura 26: <i>Travel Chart</i> comparativo antes x depois.....	33
Figura 27: Classificação VA e NVA das atividades do separador após as modificações.....	33
Figura 28: Comparativo da frequência x distância antes e após as modificações .....	34
Figura 29: Abordagem WCOM de treinamento.....	35
Figura 30: Ficha de registro de anomalias .....	35
Figura 31: Lista de treinamento do registro de anomalias .....	37
Figura 32: Pareto Prioridade das anomalias .....	38
Figura 33: Diagrama de Ishikawa da principal causa .....	39
Figura 34: 3 Porquês do problema identificado .....	39
Figura 35: Mudanças na CCM da Separação I.....	40
Figura 36: Monitoramento das anomalias.....	41
Figura 37: Atividades NVA da Separação I.....	42
Figura 38: ECRS demonstrando a simplificação de duas atividades dos separadores.....	43
Figura 39: Viabilidade da modificação na Separação.....	44
Figura 40: Instrução de operação para colocação da tela de 0,71mm na <i>rotex</i> do piso 2.....	44

## TABELAS

Tabela 1:Sistema para a coleta de dados da Separação.....	24
Tabela 2:Sistema para a coleta de dados e análise.....	36
Tabela 3:Acompanhamento dos indicadores da Separação .....	37
Tabela 4:Resultado dos testes de bancada para troca de telas .....	40

## ABREVIATURAS E SIGLAS

CCM – Central de Controle de Motores

DDS – Diálogo Diário de Segurança

HRM – Human Resource Management

JIT – Just in Time

OEE – Overall Equipment Effectiveness

OP – Ordem de Produção

PCS – Plano de Controle Semanal

SiC – Silicon Carbide

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso

TPM – Total Productive Maintenance

TQM – Total Quality Management

VSM – Value Stream Mapping

WCM – World Class Manufacturing

WCOM – World Class Operations Management

## SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO .....	12
1.1 – Contextualização .....	12
1.2 – Justificativa e Relevância .....	13
1.3 – Problema .....	13
1.4 – Objetivos .....	13
1.4.1 – Objetivo Geral .....	13
1.4.2 – Objetivos Específicos .....	14
2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
2.1- A Manufatura enxuta .....	15
2.2 – O WCM.....	15
2.2.1 – Metodologia WCM .....	15
2.2.2 – Ferramentas do WCM .....	17
2.3 – O Carbetto de Silício (SiC) .....	19
2.3.1 – Processo de formação.....	19
2.3.2 – Aplicações do SiC .....	21
2.3.3 – O processo de separação .....	22
2.4 – Metodologia .....	23
3– DESENVOLVIMENTO: APLICAÇÃO DOS PASSOS DO ROTEIRO .....	25
Passo 1: Entender a situação: definição do desempenho desejado .....	25
Passo 1.1: Introduzir um sistema para a coleta dos dados .....	25
Passo 1.2: Fazer a matriz de produto/processo .....	26
Passo 1.3: Identificar os materiais movimentados e os transportes .....	27
Passo 1.4: Identificar as restrições do <i>layout</i> .....	28
Passo 1.5: Definir o desempenho desejado .....	29

Passo 2: Definir um padrão provisório.....	31
Passo 2.1: Realizar a análise do processo .....	31
Passo 2.2: Analisar as atividades do operador .....	32
Passo 2.3: Estabelecer um padrão provisório.....	33
Passo 2.4: Treinar os operadores.....	35
Passo 3: Introduzir um sistema para registrar os tempos e as anomalias.....	36
Passo 3.1: Definir o sistema para registrar as anomalias .....	36
Passo 3.2: Definir quem, o que, quando.....	37
Passo 3.3: Treinar os operadores.....	37
Passo 3.4: Realizar o monitoramento do sistema diariamente e refazer o treinamento se necessário .....	38
Passo 4: Analisar e resolver as anomalias.....	39
Passo 4.1: Fazer a análise de prioridade das anomalias .....	39
Passo 4.2: Identificar as contramedidas: diagrama causa-efeito e análise dos cinco porquês	39
Passo 4.3: Implementar as contramedidas .....	40
Passo 4.4: Introduzir a tabela de monitoramento .....	41
Passo 5: Melhorar o <i>Micro-Layout</i> e instalação.....	42
Passo 5.1: Identificar as atividades sem valor agregado .....	42
Passo 5.2: Aplicar a técnica ECRS e identificar as ações de melhoramento .....	43
Passo 5.3: Determinar as alternativas de <i>Micro-layout</i> .....	44
Passo 5.4: Avaliar as alternativas e estabelecer um padrão detalhado.....	45
Passo 5.5: Instalar o novo layout.....	46
4- CONCLUSÃO .....	47
5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48

# 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1 – Contextualização

Nos dias de hoje, empresas do mundo todo estão em busca de maximizar o lucro e liderar a competição no mercado atual, para alcançar níveis de excelência mundial em seus processos produtivos. Diante desse cenário econômico, ao longo dos anos vários sistemas de gestão da produção vêm surgindo com o objetivo de evitar desperdícios, aumentar a qualidade do produto e por consequência o lucro. Dentre várias dessas doutrinas, cita-se, como exemplo, a metodologia Seis Sigma de eliminação de defeitos e o sistema TPM (*Total Productive Maintenance*) de melhorias dirigidas.

Outra metodologia *Lean Manufacturing*, do português Manufatura Enxuta, chamada *World Class Manufacturing* (WCM) consiste na junção de várias outras filosofias de redução de perdas. Do português Manufatura de Classe Mundial, trata de uma abordagem que consiste em criar um método sistemático de redução de perdas (CHRISTO, 2015).

A empresa que serve de estudo para esse trabalho de conclusão de curso (TCC) adota a metodologia WCM há cinco anos. O WCM se divide em pilares, representando um “templo” de mudanças filosóficas e de método seguindo o pensamento enxuto. A empresa em questão possui 8 desses pilares em atividade, cada um representando um tipo específico de perda, sendo eles: Eficiência Industrial, Confiabilidade, Foco no Cliente e Serviços, Desenvolvimento de Pessoas, Saúde e Segurança, Meio Ambiente, Controle de Qualidade e Inovação.

O estudo de caso deste TCC está inserido no pilar de Eficiência Industrial cujo papel é o de monitorar os indicadores de OEE (eficiência global do equipamento), volume e produtividade. De acordo com Mata (2012a), o pilar é o responsável por reduzir as perdas improdutivas da mão-de-obra, reduzindo as atividades que não agregam valor com o uso de ferramentas do WCM como o 5S, melhoria de ciclo do trabalho e qualidade do produto.

A empresa objeto de estudo é líder no Brasil na produção e beneficiamento de grãos de carbeto de silício (SiC) e uma das únicas do mundo. A unidade está localizada no município de Barbacena, Minas Gerais.

O setor chamado de Produção Primária do carbeto de silício pode ser dividido em três grandes áreas: a primeira é a de preparação de matéria-prima, onde é feita a mistura entre o petrocoque e areia que são os dois insumos necessários para a produção do SiC; a segunda é a

área de fornos Acheson a céu aberto, que possui uma capacidade produtiva de até 300 toneladas por cada rodada do processo (CHRISTO, 2015). Enfim, a terceira grande área é a chamada Separação, onde é feita o rompimento, lixamento, britagem e peneiramento dos grãos. A separação primária dos grãos vindo dos fornos de SiC gera dois tipos de materiais: o chamado cristal (com cerca de 95% de SiC) e o metalúrgico (86 % de SiC).

## **1.2 – Justificativa e Relevância**

A produção de carvão de silício através de fornos Acheson ainda é um processo pouco estudado e com muitas oportunidades de crescimento. O objetivo desse trabalho é o de reduzir a geração do material metalúrgico 0x1 mm de carvão de silício, visto sua falta de atratividade no mercado atual.

Apesar de se tratar de uma empresa cerâmica cujo foco do estudo é uma área industrial, o tema apresentado se resume a um problema de geração de finos, questão amplamente estudada no ramo da mineração e com potencial de ser replicado.

## **1.3 – Problema**

A separação (*sorting*) do carvão de silício é feita fisicamente através de máquinas responsáveis por romper o material e lixá-lo gerando assim os produtos metalúrgico e cristal. Após isso o material passa por uma série de britadores e peneiras chegando assim à sua granulometria final. Atualmente os materiais com granulometria maior possuem mais capacidade de venda do que o 0x1 mm metalúrgico. Os fornos sinter ajudam no consumo dos finos, porém aumentam substancialmente o custo de produção.

## **1.4 – Objetivos**

### **1.4.1 – Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver um projeto capaz de reduzir a geração de material metalúrgico 0x1mm e, conseqüentemente, aumentar a produtividade do setor de Separação.

#### **1.4.2 – Objetivos Específicos**

- Aplicar o roteiro de Movimentação de Materiais e Relayout proposto por Mata (2012b);
- Introduzir um sistema para coleta de dados e anomalias do processo;
- Analisar e resolver as anomalias com aplicação de contramedidas;
- Utilizar ferramentas do WCM para melhorar a organização das atividades do setor;
- Reduzir atividade que não agregam valor ao produto final.

## **2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1- A Manufatura enxuta**

Como descrito por Bartz et al (2013), o termo Manufatura Enxuta (*Lean Manufacturing*) surgiu em 1990 com o livro “A máquina que mudou o mundo”, publicado por Womack, Jones e Ross, que trata sobre as vantagens trazidas pelo Sistema Toyota de Produção. Tal sistema tem como objetivo reduzir os desperdícios causados pela produção gerando produtos e serviços a um custo competitivo e quão rápido o cliente requerer, ou seja, usando menos para gerar o mesmo produto.

Na abordagem *Lean*, desperdício é tudo o que não agrega valor ao produto, mas ele em si não é considerado a causa do problema e sim um sintoma. O *Lean Manufacturing* identifica sete tipos de desperdício. São eles: superprodução, transporte, defeitos, estoque excessivo, movimentação desnecessária, processamento desnecessário e espera. Sistemas de gestão baseados na metodologia *Lean* objetivam identificar a causa raiz do problema através do uso de ferramentas como 5S, trabalho padrão, fluxo contínuo, kanban, manutenção, Poka Yoke, set up rápido e VSM (YIDA; IAMONDI, 2009).

Segundo Sangwan (2014), as principais práticas de gestão podem ser classificadas em 4 categorias: *Just in time* (JIT), manutenção produtiva total (TPM), gestão da qualidade total (TQM) e gestão de recursos humanos (HRM). Porém em todas as práticas, o ponto central é o foco no cliente.

A metodologia enxuta pode ser aplicada em qualquer segmento de negócios. A efetividade da filosofia *Lean* baseia-se no trabalho em equipe. O desempenho deve ser medido pelo resultado do grupo, sendo qualquer problema resolvido em conjunto, descentralizando assim as ações e facilitando o gerenciamento dos desperdícios (FORZA, 1996).

### **2.2 – O WCM**

#### **2.2.1 – Metodologia WCM**

Felice e Petrillo (2015) afirmam que a filosofia WCM foi desenvolvida por R. J. Schonberger na década de 80, com o foco em melhoria contínua. O WCM visa desenvolver a empresa como um todo, para que ela alcance um nível mundial de seus indicadores reduzindo

desperdícios de maneira contínua e por meio de ferramentas simples. Os autores citam 10 principais ferramentas utilizadas na filosofia WCM: TPM, *Lean Manufacturing*, Seis Sigma, *Benchmarking*, TQM, Sistema de Informação Integrado, Manufatura Ágil, Estratégia de Manufatura, Gestão de Relacionamento com o Cliente e Manufatura de Fluxo Celular.

O WCM é constituído como um templo, baseado em pilares e fundações que “suportam” o sistema de Excelência Operacional. Sua função é a de apoiar a empresa a fim de alcançar metas por meio de técnicas simples como o *Kaizen*, palavra japonesa com significado de melhoria contínua. A figura 1 mostra a estrutura do WCM para a empresa em questão evidenciando os pilares e suas funções.



Figura 1: Modelo WCM “Fundação Padrão e Pilares”  
Fonte: MATA, 2012a

A implantação do WCM em empresas brasileiras vem convergindo em excelentes resultados. Dentre organizações que adotam o WCM no Brasil estão a Saint-Gobain, FIAT, GERDAU, Arcelor Mittal, 3M e Tupy.

### 2.2.2 – Ferramentas do WCM

Para a realização deste trabalho, foram utilizadas várias ferramentas do WCM. Primeiramente, foram apresentadas algumas matrizes e técnicas para identificar e classificar a movimentação de colaboradores e produtos. A matriz produto/processo lista todos os produtos e processos envolvidos na área para identificar possíveis restrições. Outra matriz é a frequência x distância, que é feita com base na frequência das movimentações e na distância destas. Por fim, é feita uma multiplicação para saber o deslocamento total da rotina (MATA, 2012b).

Outra ferramenta, o *Travel Chart*, como descrita por Mata (2012b), é utilizado para identificar e reduzir movimentos. Nele é desenhado todas as movimentações rotineiras do funcionário a fim de estabelecer desperdícios em rota e frequência de deslocamento (Figura 2).

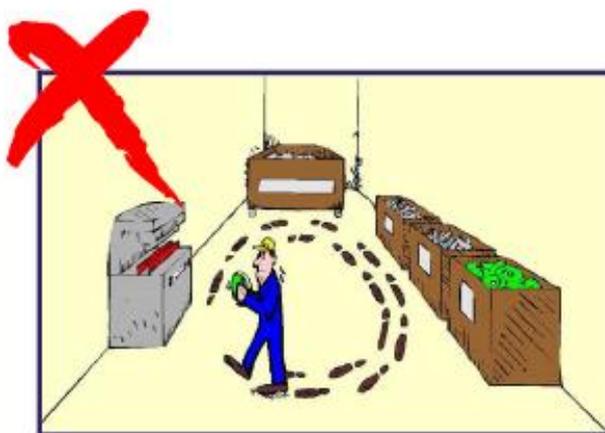


Figura 2: Exemplo de *Travel Chart*  
Fonte: MATA, 2012b

O Diagrama de Pareto é um gráfico de barras e frequências classificado pela frequência. Ele é feito para enumerar e identificar a principal causa de certo fenômeno com base no número de vezes ocorrido. O gráfico de Pareto serve para dividir o grande problema em menores e mais fáceis de serem resolvidos (WILKINSON, 2012). A figura 3 demonstra um exemplo de um gráfico de Pareto.

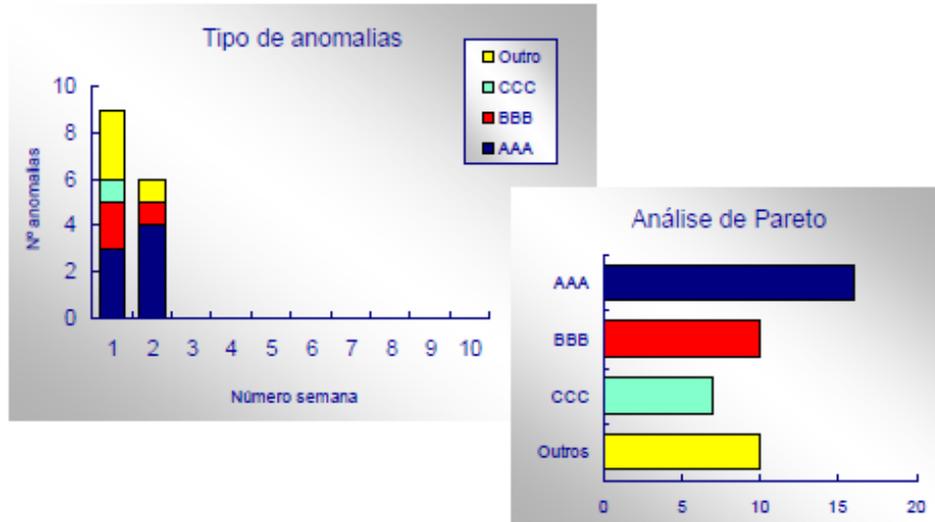


Figura 3: Exemplo de Diagrama de Pareto  
 Fonte: MATA, 2012b

Outro diagrama é o de Ishikawa, também conhecido como diagrama de Causa e Efeito, que consiste em uma ferramenta utilizada para identificar as causas de um problema. Salvador (2004) explica que diagramas desse tipo descrevem as relações entre um resultado particular, e todos os fatores que contribuíram para o mesmo. Na construção do diagrama, analisa-se um problema que é colocado no eixo central e na diagonal são colocados as chamadas categorias, que são elementos do cenário cuja função é classificar as causas do problema, como método, matéria-prima, mão-de-obra, máquina, medida e meio ambiente. Visualmente o diagrama aparenta-se como uma espinha de peixe, sendo conhecido também por esse nome (Figura 4).

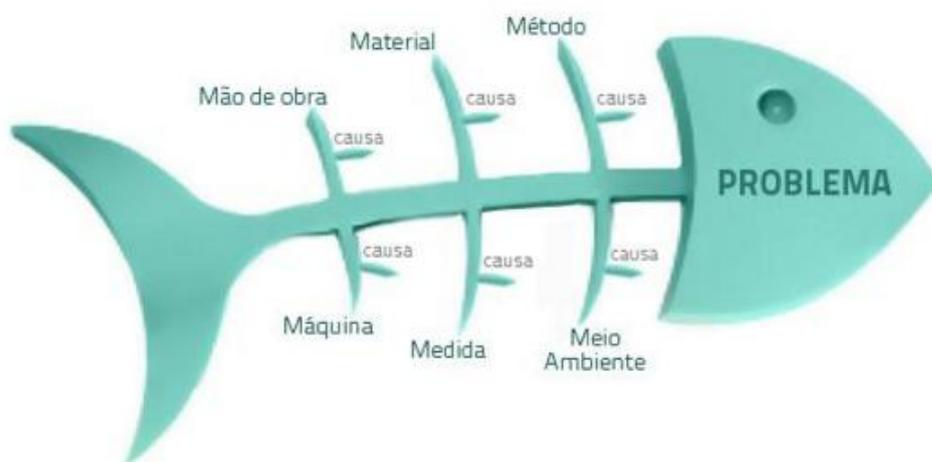


Figura 4: Diagrama de Causa e Efeito  
 Fonte: HENRIQUE & FIORIO, 2012

A técnica dos cinco porquês, descrita por Kohfeldt e Langhout (2012) foi desenvolvida por Sakichi Toyoda para identificar a causa raiz de um problema por meio de cinco questionamentos do porquê em sequência. Os porquês devem ser respondidos em equipe com cada um dando sua opinião com base em seu conhecimento. Uma estrutura dos cinco porquês é mostrada na Figura 5.

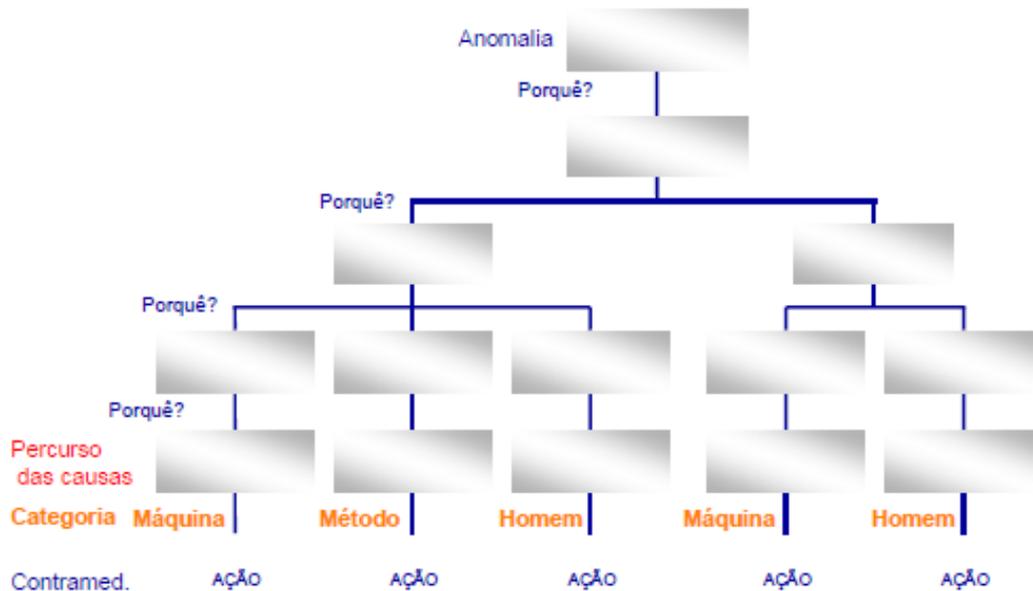


Figura 5: Análise dos cinco porquês  
Fonte: MATA, 2012b

O roteiro de Movimentação de Materiais e Layout preza pela redução de atividades que não agregam ou semiagregam valor do produto ou serviço ao cliente e pelo aumento das atividades que agregam valor. Por isso, é feita uma classificação das atividades da mão de obra direta e indireta (CHRISTO, 2015).

A técnica ECRS (eliminar, combinar, reduzir e simplificar) é utilizada para facilitar a visualização de melhorias na sequência de operações. Esta consiste em reduzir o tempo da operação, sempre seguindo a ordem de eliminar, combinar, reduzir ou simplificar as atividades (MATA, 2012b).

## 2.3 – O Carbetto de Silício (SiC)

### 2.3.1 – Processo de formação

O Carbetto de Silício é um material de profunda importância para a indústria. O processo para sua obtenção em escala industrial foi primeiro sintetizado por Edward

Goodrich Acheson em 1891, quando misturou coque e sílica para formar um produto com excelente dureza, refratividade, resistência mecânica e alta condutividade térmica (SADDOW & AGARWAL, 2004).

Na empresa em questão, o SiC é produzido através da preparação de uma mistura de areia e petrocoque balanceados estequiometricamente que são carregados em fornos a resistência do tipo Acheson. Uma corrente elétrica é conduzida através de uma resistência de grafite construída no centro do forno em forma de U responsável pela redução carbotérmica produzindo assim o SiC em torno dessa resistência na chamada zona de reação. A equação 1 mostra o processo de formação do SiC (LIMA; TENÓRIO, 2011).



Na figura 6 é demonstrado um simples forno Acheson industrial.

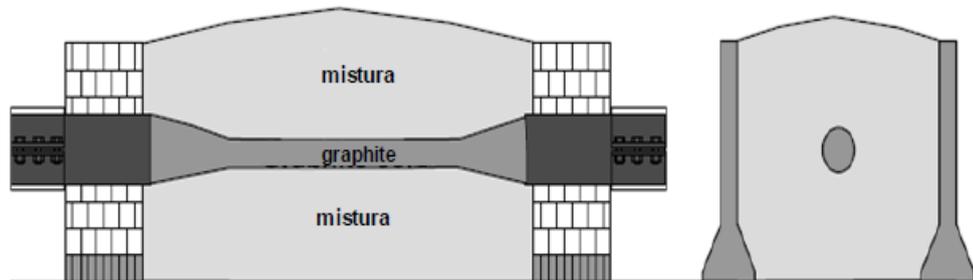


Figura 6: Seção longitudinal e transversal de um simples forno Acheson industrial  
Fonte: LINDSTAD, 2012

De acordo com Christo (2015), após a montagem o forno é ligado e permanece em operação de cinco a sete dias de acordo com o tipo de mistura utilizado na zona de reação. Ao fim da operação, o forno passa por um processo de resfriamento e é descarregado para a retirada do produto. Na figura 7, é apresentado o cilindro de SiC formado após o descarregamento e ao fundo um forno em operação.



Figura 7: Cilindro de SiC  
Fonte: Empresa do estudo de caso

### 2.3.2 – Aplicações do SiC

Como afirma Braga (2011), devido às suas distintas propriedades, o carbeto de silício tem ampla aplicação industrial principalmente no ramo abrasivo e refratário. Dentre as principais utilidades encontram-se: carros torpedo para siderurgia, canais de corrida, tijolos refratários, concreto para siderurgia, incineradores, coletes de defesa pessoal, rebolos, lixas, discos de corte, componentes eletrônicos, etc. (Figura 8).



Figura 8: Principais aplicações do SiC  
Fonte: Empresa do estudo de caso

### 2.3.3 – O processo de separação

Após o descarregamento do forno, o material bruto é levado para a Separação onde ocorre o processamento primário do SiC. É nessa área onde ocorre o *sorting*, o qual mostra a figura 9, é a separação entre o produto metalúrgico (86% de SiC) e o cristal (95% de SiC).

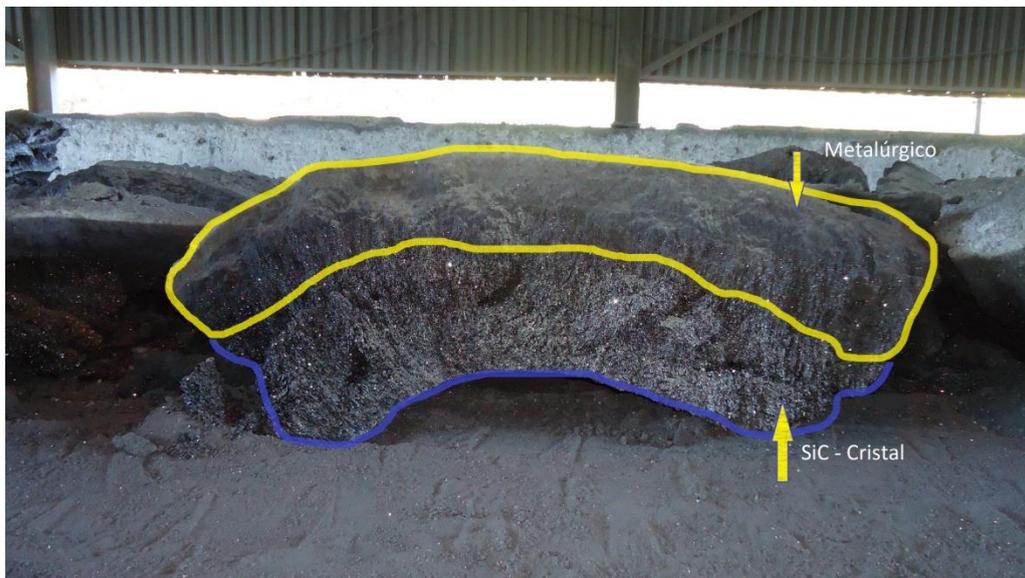
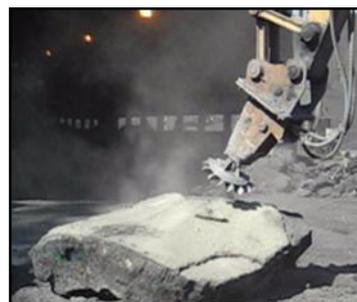


Figura 9: Sorting do carbetto de silício  
Fonte: Empresa do estudo de caso

Os dois materiais são separados com a ajuda de duas retroescavadeiras adaptadas conhecidas como rompedor e shaver (Figura 10).



□ Rompedor



□ Shaver

Figura 10: Máquinas utilizadas na Separação  
Fonte: Empresa do estudo de caso

Após isso o material passa pelas linhas da separação, que contém britadores e peneiras responsáveis pela classificação do material, como pode ser visto na Figura 11.

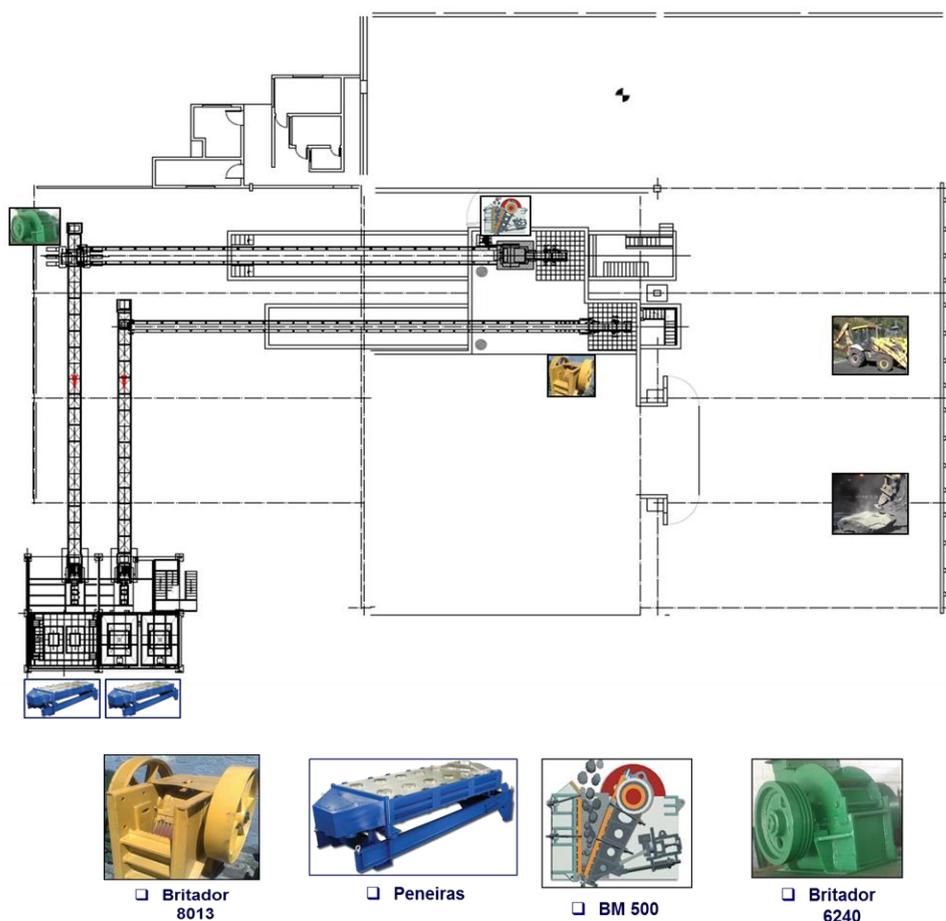


Figura 11: Processos de cominuição da Separação  
 Fonte: Empresa do estudo de caso

A etapa da fabricação do produto final, com sua especificação de acordo com a respectiva aplicação, envolve basicamente, britagem, moagem, peneiramento e classificação do material. Esta etapa pode ocorrer na própria Separação ou em outros setores como Britagem Secundária, Abrasivos e Grão-Micro.

## 2.4 – Metodologia

Para a realização deste trabalho, foi utilizado o Roteiro de Movimentação de Materiais e *Relayout* desenvolvido por Mata (2012b). O roteiro é pertencente ao pilar de Eficiência Industrial.

Mata (2012b) descreve os principais objetivos dos passos do roteiro, sendo eles: reorganização parcial ou total do produto, lançamento de novos produtos, mudança do local de trabalho, obsolescência dos equipamentos e necessidade de redução de custo.

Uma visão geral das atividades realizadas no projeto está na figura 12.

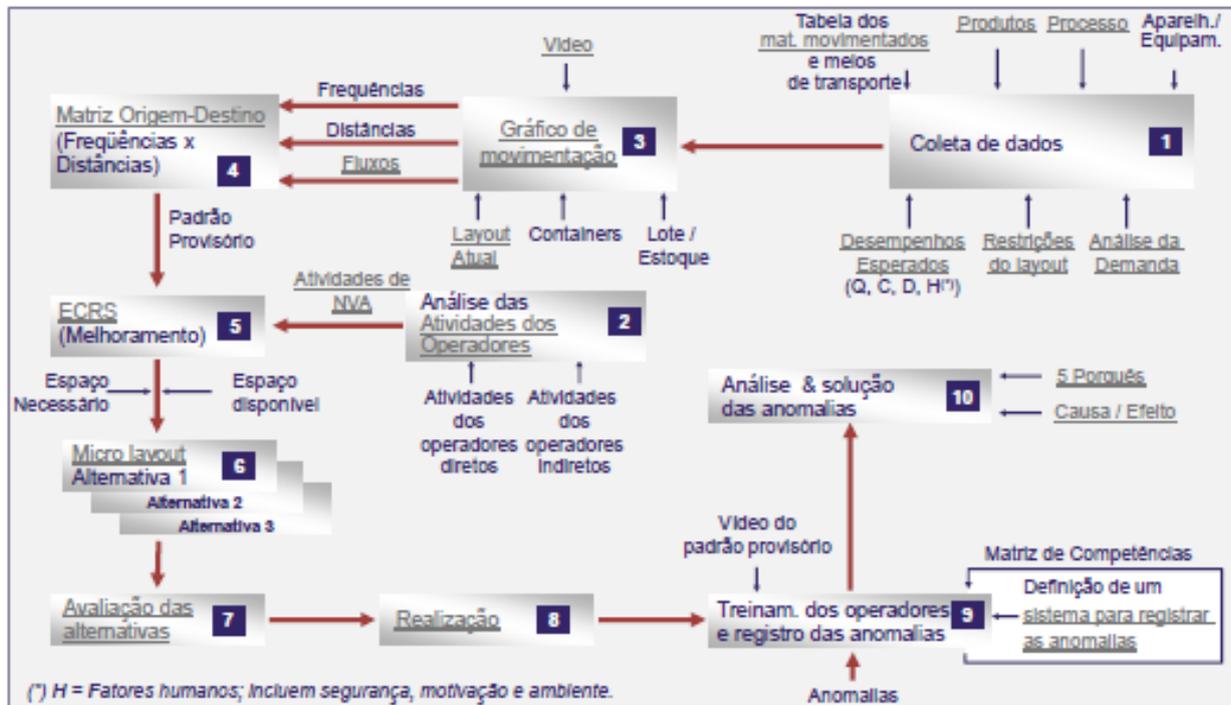


Figura 12: Visão geral das atividades do roteiro de movimentação e relay layout  
 Fonte: MATA , 2012b

A figura 13 mostra o percurso das atividades a serem desenvolvidas no roteiro passo a passo.

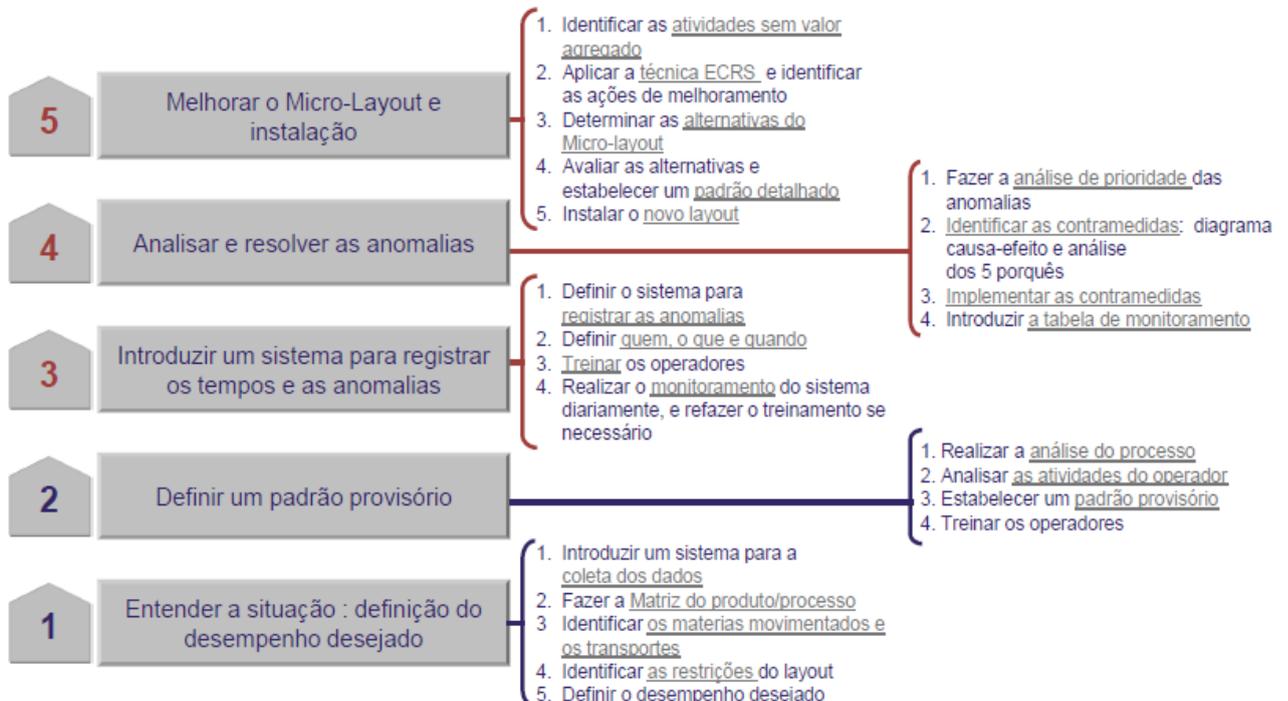


Figura 13: O Roteiro de Movimentação de Materiais e Relay layout  
 Fonte: MATA, 2012b

### 3– DESENVOLVIMENTO: APLICAÇÃO DOS PASSOS DO ROTEIRO

#### Passo 1: Entender a situação: definição do desempenho desejado

##### Passo 1.1: Introduzir um sistema para a coleta dos dados

Num primeiro momento é necessário definir como serão coletadas as informações da área que darão embasamento ao projeto. Precisou-se inicialmente ter informações diárias sobre a produção no setor da Separação e também a quantidade de homens trabalhando no local e o volume gerado para se fazer o cálculo da produtividade em toneladas por hora-homem trabalhadas (t/HH).

Foi criada uma tabela no Excel a ser preenchida pelo assistente de produção contendo a quantidade diária de material produzido bem como a porcentagem de material 0x1mm gerado, a quantidade de colaboradores do setor e a produtividade como mostra a tabela 1.

Tabela 1: Sistema para a coleta de dados da Separação

Material	28/4/16	29/4/16	30/4/16	1/5/16	2/5/16	3/5/16	4/5/16	5/5/16	6/5/16	Resultado
0x10mm	0	0	0	0	19,7	28,3	0	118,16	0	166,16
0x1mm	78,36	41,7	32,96	43,62	0	12,16	57,16	13,25	75,18	354,39
1x10mm	96,27	40,99	26,48	61,87	0	14,31	91,29	10,41	102,22	443,84
Total	174,63	82,69	59,44	105,49	48,8	54,77	148,45	141,82	177,4	993,49
% Geração de 0x1mm	45%	50%	55%	41%	0%	46%	39%	56%	42%	43%
Colaboradores	16	10	7	10	5	5	13	12	14	9
Produtividade	1.36	1.03	1.06	1.32	1.22	1.37	1.43	1.48	1.58	1.59

Fonte: Empresa do estudo de caso

Na empresa já existia um sistema de coletas chamado Controle de Paradas, onde o líder da Separação lança todas as paradas do dia (tanto da máquina quanto da mão-de-obra) e também a quantidade de produção em toneladas da área, exemplificado na figura 14.



necessite ser transportado novamente ao início da linha quando da necessidade de reprocessamento. Outra limitação da linha 2 é a de que ela possui somente uma unidade de britagem (britador 8013) enquanto a linha 1 possui dois britadores (britador BM500 e britador 6240). Além disso, as peneiras das duas linhas possuem apenas dois *decks*, tornando difícil a passagem de material fino.

### Passo 1.3: Identificar os materiais movimentados e os transportes

Nesse passo, efetuou-se uma coleta de dados de todas as informações sobre os materiais movimentados e os meios de transporte como exemplificado na figura 16.

O que	Quem	Como	Peso	Trajeto
Material bruto dos fornos	Operador de Pá carregadeira	 cap carga 4t	De 2 a 4 toneladas	Do forno para os galpões da separação
Material para ser lixado e quebrado (Shaver e Rompedor)	Operador de Pá carregadeira	 cap carga 4t	De 2 a 4 toneladas	Movimentação dentro dos galpões
Material para abastecer as linhas	Motorista de caminhão	 cap carga 15t	De 2 a 4 toneladas	Dos galpões de material bruto para estoque de abastecimento das linhas
Material acabado ou semi-acabado	Motorista de caminhão	 cap carga 1.5t	De 2 a 4 toneladas	Dos silos no final da linhas para espaço de material semi-acabado(baias), lote 4 ou Britagem secundária(Processamento)

Figura 16: Diagrama dos materiais transportados  
Fonte: Elaborado pela própria autora

Outra análise de gestão do fluxo físico foi feita a partir da elaboração de uma matriz frequência/distância, que segundo Mata (2012) serve para comparar a movimentação de materiais baseando-se na distância a que são transportados e no número de vezes que o transportamento ocorre. A matriz pode ser vista na figura 17.

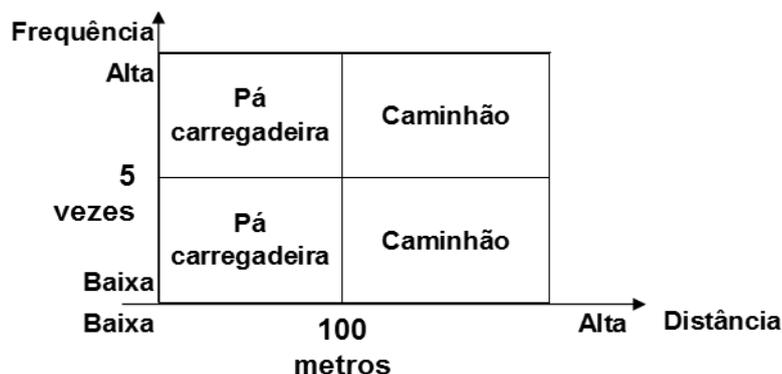


Figura 17: Matriz frequência x distância dos meios de transporte da Separação

Neste ponto do projeto, constatou-se que oportunidades de melhoria relacionadas ao trajeto e maquinário demandariam um grande capital de investimento, o que não era o foco da empresa no momento, por isso não seria do escopo do projeto.

#### **Passo 1.4: Identificar as restrições do *layout***

Os passos anteriores serviram como uma base para entendimento do processo e dos produtos do setor, podendo-se assim identificar as restrições de layout do local.

Uma primeira restrição se dá pelo fato de não se haver uma passagem entre as linhas de produção e o escritório onde os colaboradores realizam reuniões, PCS, e DDS fazendo com que a movimentação do funcionário durante o dia seja grande uma vez que ele tem que dar a volta em todo o galpão para chegar ao escritório. Além disso, o fato de a linha 2 não possuir retorno faz com que o caminhão tenha que carregar o material não aprovado e novamente descarregá-lo na linha para que o mesmo seja processado novamente, causando assim um aumento de retrabalho e movimentação desnecessária.

A figura 18 mostra as restrições citadas acima, destacando o escritório e a grade de alimentação e de saída das linhas em vermelho. Já a figura 19 apresenta a planta baixa de toda a área Acheson, que compreende os Misturadores de matéria-prima I e II, as duas áreas de fornos, as Separações I, II e III e a Embalagem Metalúrgico; a fim de exemplificar a grande movimentação de materiais transportados entre os galpões de Separação e os clientes internos (Embalagem Metalúrgico e Britagem Secundária).

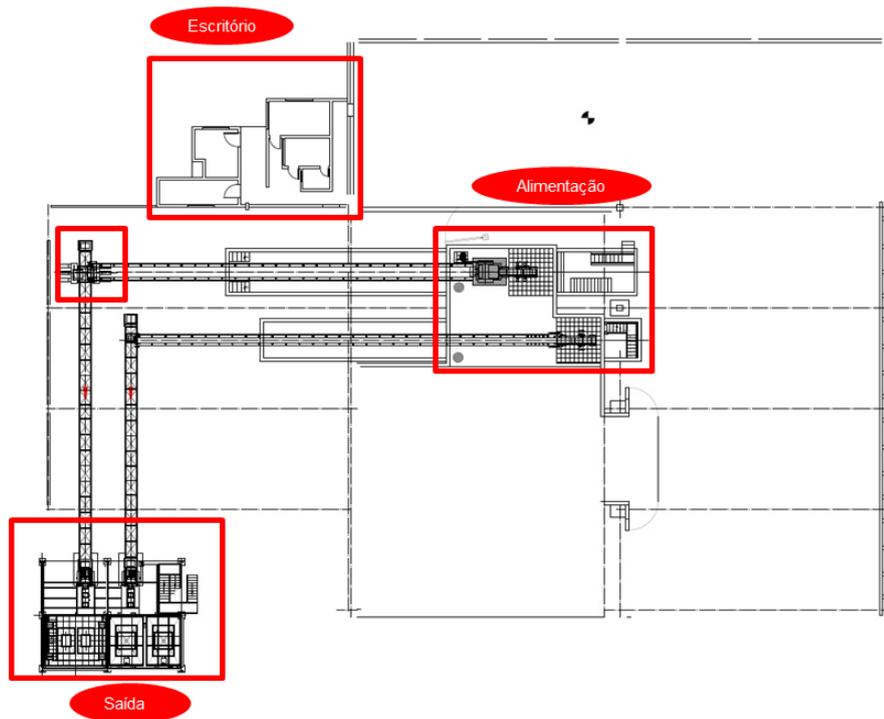


Figura 18: Planta baixa da Separação I  
 Fonte: Empresa do estudo de caso

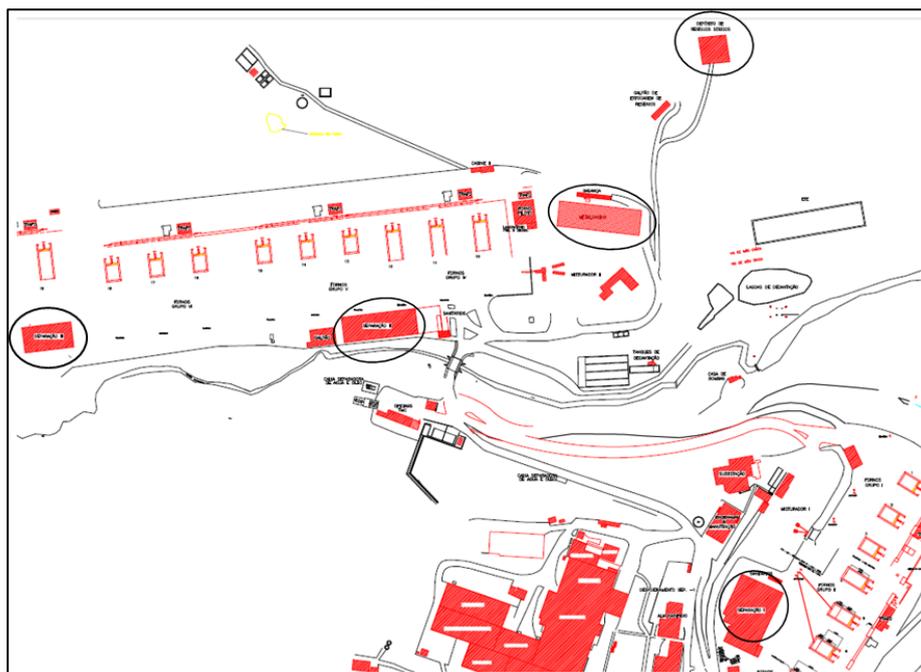
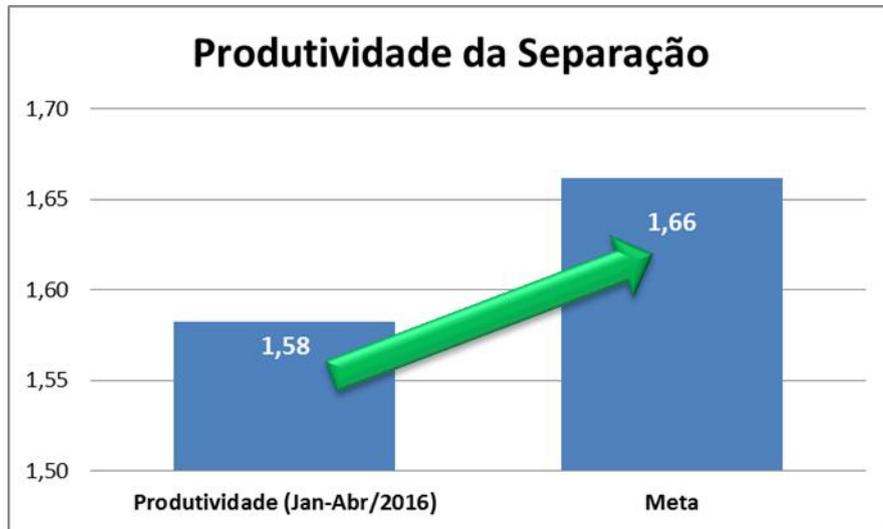


Figura 19: Planta baixa da área Acheson  
 Fonte: Empresa do estudo de caso

### Passo 1.5: Definir o desempenho desejado

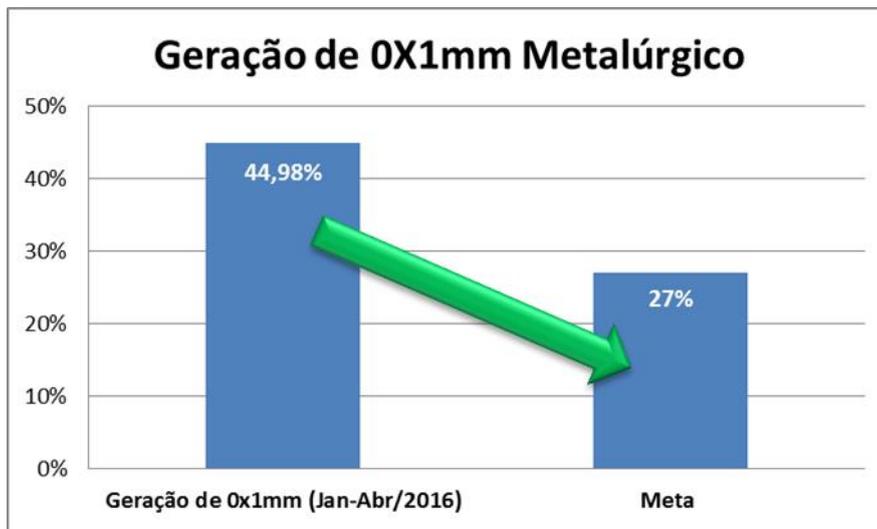
Por fim, com base no estudo de todos os passos apresentados acima e na análise de dados históricos de produção do material metalúrgico 0x1mm definiu-se o desempenho a ser

alcançado pelo projeto, usando como indicadores a porcentagem de geração de material metalúrgico 0x1mm e a produtividade do setor da Separação (figuras 20 e 21).



**Ganho de 5% de Produtividade**

Figura 20: Indicador desejado de produtividade da Separação



**Redução de 40% da Geração**

Figura 21: Indicador desejado de geração de 0x1mm Metalúrgico

Na figura 20, é demonstrado o número inicial do projeto que era de 1,58 toneladas por hora-homem trabalhada e o objetivo era o número de 1,66, no intuito de ganhar 5% de produtividade na função separador. Enquanto na figura 21, o ponto de partida foi a média de geração do material 0x1mm metalúrgico do primeiro semestre de 2016 que era de 44,98%

com o objetivo de reduzir 40% da geração chegando a 27%.

## Passo 2: Definir um padrão provisório

### Passo 2.1: Realizar a análise do processo

O segundo passo deste projeto foi muito importante para a equipe compreender por completo as atividades dos separadores e fazer uma análise detalhada do fluxo podendo assim construir um padrão de atividades.

No passo 2.1 realizou-se a análise do processo através das ferramentas diagrama de fluxo (figura 22) e matriz origem x destino (figura 23). Com tais ferramentas, foi possível ter a real noção da movimentação e a frequência das atividades dos separadores e identificar alguns desperdícios de movimentação.

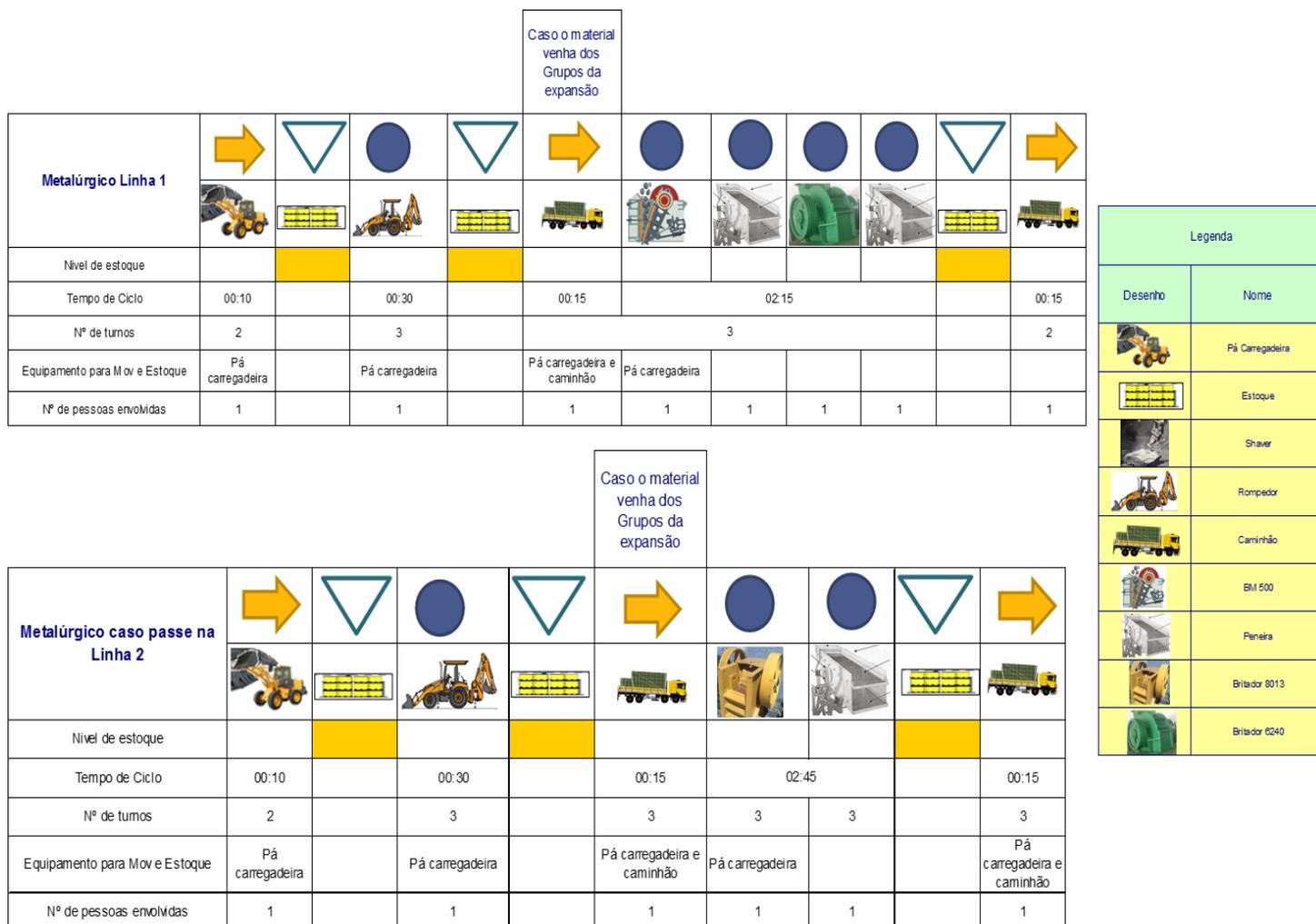


Figura 22: Diagrama de fluxo das linhas 1 (metalúrgico) e 2 (cristal) da Separação

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A		2							
B			2						
C				2					
D					2				
E						2			
F							1		
G								1	
H									6
I								6	

Frequência (diária)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A		40							
B			25						
C				30					
D					20				
E						40			
F							50		
G								60	
H									50
I									35

Distância (diária)

Escritório para a Linha 1	AB
Linha 1 para a Linha 2	BC
Linha 2 para Peneiras	CD
Peneiras para os silos	DE
Silos para ligar os equipamentos	EF
Caixa para o filtro de PDF	FG
Filtro para as grades das linhas	GH
Grades das linhas para os silos	HI
carregar caminhões para grade	IH

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	0,0	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
C	0,0	0,0	0,0	60,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
D	0,0	0,0	0,0	0,0	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,0	0,0	0,0	0,0
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0
G	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	60,0	0,0
H	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	300,0
I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	210,0	0,0

Frequência X Distância

Figura 23: Matriz frequência x distância do operador da Separação I

## Passo 2.2: Analisar as atividades do operador

Separador - Sep 1	Quantidade	Tempo (minutos)	Tempo por turno (minutos)	VA	SVA	NVA	NVA			Observações	
				●	●	●	▶	■	◐		◑
Conferência da linha	2	12,00	24,00					●			Restrição de layout
Conferência da peneira e tela	2	5,00	10,00					●			
Conferência do silo do material acabado	2	10,00	20,00					●			
Liga os equipamentos	2	8,00	16,00		●						
Pede a máquina para empurrar material	2	2,00	4,00			●					
Descarregar o filtro (PDF)	1	30,00	30,00		●						Restrição de layout
Puxar material para a grade do silo acompanhando o Britador	50	2,00	100,00		●						
Pede a máquina para empurrar material e abastecer	8	2,00	16,00			●					
Conferência do Silo e das peneiras	6	12,00	72,00					●			Restrição de layout
Chamar o caminhão para descarregar o silo	6	4,00	24,00			●					
Acionar a válvula para carregar caminhão	6	5,00	30,00		●						
Acompanhamento do carregamento do caminhão	6	10,00	60,00		●						
Fecha a válvula do silo	6	1,00	6,00		●						
<b>Total</b>	<b>99</b>	<b>103,00</b>	<b>412,00</b>	0	5	1	0	2	0	0	

Figura 24: Classificação VA e NVA das atividades do Separador

Como mostra a figura 24 acima, foram feitas classificações de cada atividade da rotina dos separadores da Separação 1. Elas foram classificadas como Não Agrega Valor (NVA) ou Semi-Agrega Valor (SVA). Como descrito por Mata (2012b), atividades que não agregam valor são aquelas que não contribuem para o processo de adicionar valor ao cliente, sendo portanto, passíveis de melhorias como reestruturação, redução ou eliminação. Dentre elas, os deslocamentos para conferência das linhas, dos silos e das peneiras e o

descarregamento dos filtros foram identificados como restrições de layout impactando no tempo de percurso.

Descontando-se as perdas organizacionais (ginástica Laboral, DDS, café, limpeza, treinamentos e outros) a saturação do trabalhador é de 85%.

Outra análise de movimentação dos separadores foi feita usando o *travel chart* (esquema de espaguete) representado na figura 25.

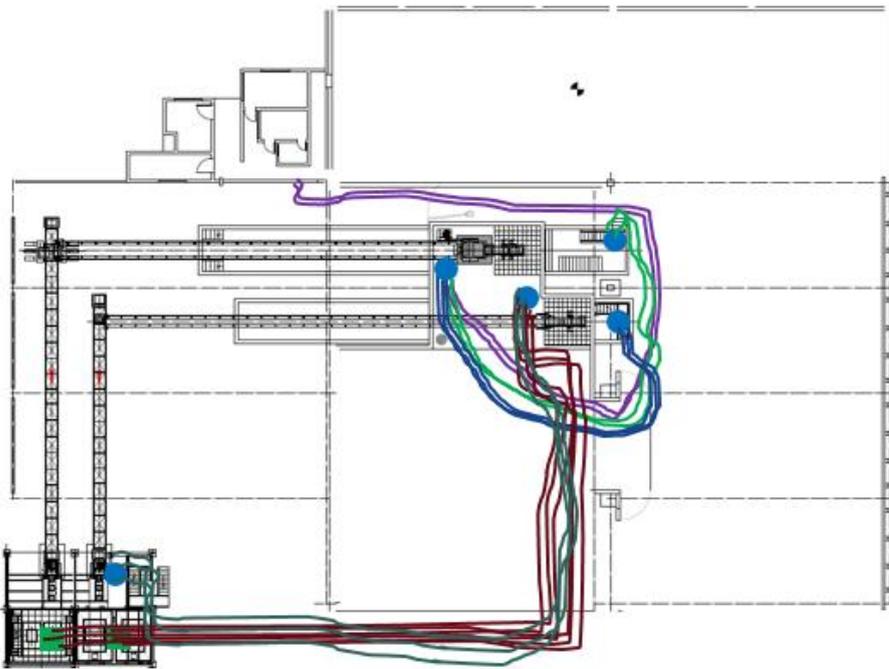


Figura 25: *Travel Chart* da sequência de atividades do separador

No esquema pode se perceber em roxo o grande percurso realizado pelo operador quando estes se desloca para o escritório, já identificada anteriormente no passo 1.

### **Passo 2.3: Estabelecer um padrão provisório**

A fim de corrigir a grande movimentação do colaborador, foi construída uma escada de acesso entre a grade de alimentação e o escritório criando-se assim um novo padrão de movimentação responsável por diminuir a saturação do operador reduzindo-se as distâncias percorridas. As figuras 26, 27 e 28 mostram respectivamente o *travel chart*, a classificação VA e NVA e o gráfico comparativo frequência x distância do novo padrão após feitas as modificações de movimentação.

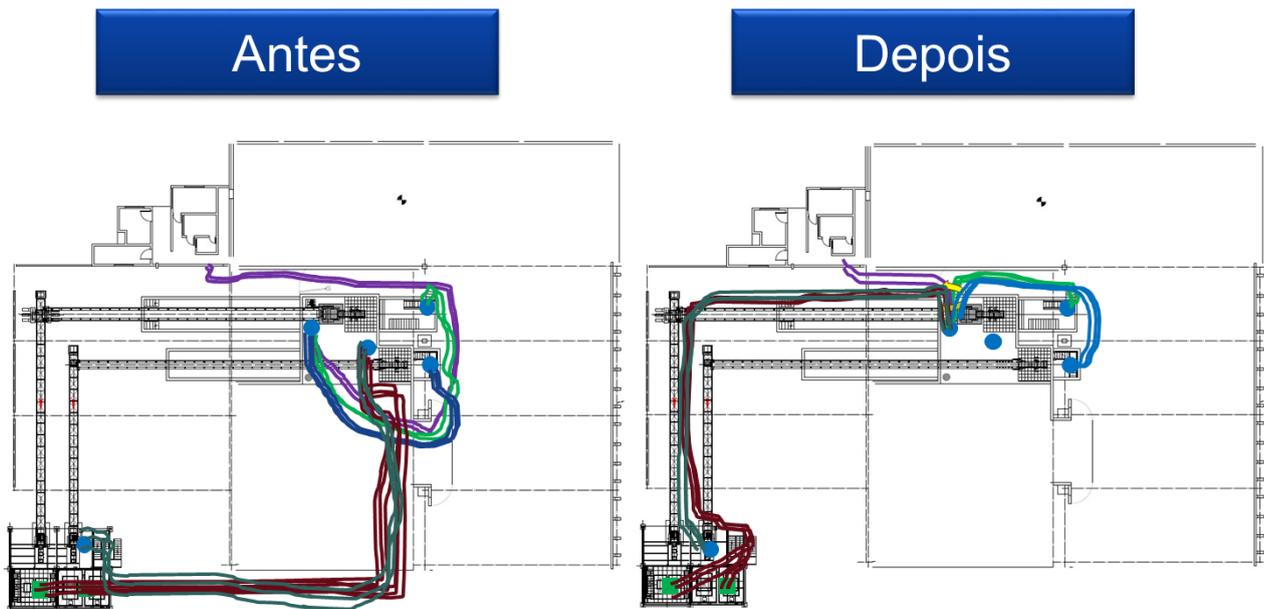
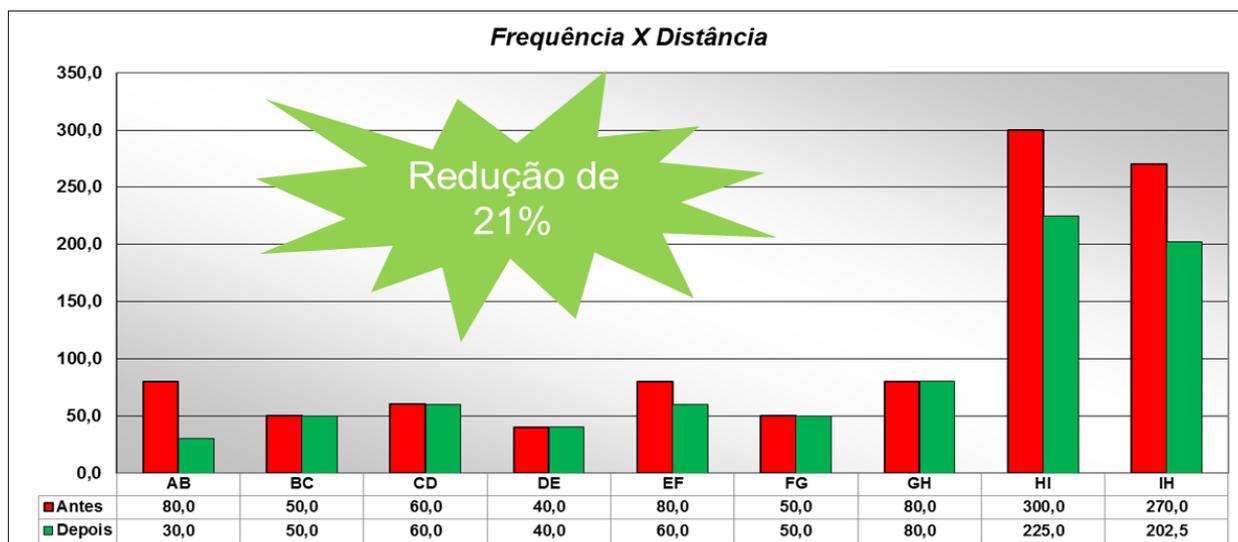


Figura 26: *Travel chart* comparativo antes x depois

Separador - Sep 1	Quantidade	Tempo (minutos)	Tempo por turno (minutos)	VA	SVA	NVA	NVA				Observações	
				●	●	●	▶	■	◐	◑		
Conferência da linha	2	6,00	12,00						●			Restrição de layout
Conferência da peneira e tela	2	5,00	10,00						●			
Conferência do silo do material acabado	2	10,00	20,00						●			
Liga os equipamentos	2	8,00	16,00		●							
Pede a máquina para empurrar material	2	2,00	4,00			●						
Descarregar o filtro (PDF)	1	30,00	30,00		●							Restrição de layout
Puxar material para a grade do silo acompanhando o Britador	50	2,00	100,00		●							
Pede a máquina para empurrar material e abastecer	8	2,00	16,00			●						
Conferência do Silo e peneiras	6	6,00	36,00						●			Restrição de layout
Chamar o caminhão para descarregar o silo	6	4,00	24,00			●						
Accionar a válvula para carregar caminhão	6	5,00	30,00		●							
Acompanhamento do carregamento do caminhão	6	10,00	60,00		●							
Fecha a válvula do silo	6	1,00	6,00		●							
<b>Total</b>	<b>99</b>	<b>91,00</b>	<b>364,00</b>	0	5	1	0	2	0	0		

**364/480 = 75% de Saturação**

Figura 27: Classificação VA e NVA das atividades do Separador após as modificações



Origem / Destino	Item	Antes	Depois
Escritório para a Linha 1	AB	80,0	30,0
Linha 1 para a Linha 2	BC	50,0	50,0
Linha 2 para Peneiras	CD	60,0	60,0
Peneiras para os silos	DE	40,0	40,0
Silos para ligar os equipamentos	EF	80,0	60,0
Caixa para o filtro de PDF	FG	50,0	50,0
Filtro para as grades das linhas	GH	80,0	80,0
Grades das linhas para os silos	HI	300,0	225,0
Carregar caminhões para grade	IH	270,0	202,5
	Total	1010,0	797,5
			212,5
			21,0%

Figura 28: Comparativo da frequência x distância antes e após as modificações

### Passo 2.4: Treinar os operadores

Neste passo, foi realizado um treinamento com todos os colaboradores que atuam na função de separador na nova rotina utilizando a abordagem WCOM (*World Class Operations Management*) como descrita por Mata (2012b) e ilustrado na figura 29.



Figura 29: Abordagem WCOM de treinamento  
 Fonte: MATA, 2012b

### Passo 3: Introduzir um sistema para registrar os tempos e as anomalias

#### Passo 3.1: Definir o sistema para registrar as anomalias

Uma ficha de registro de anomalias foi criada para registrar tempos, produção, oportunidades de melhorias e possíveis problemas encontrados pelos colaboradores na nova rotina de atividades (Figura 30).

Data		Colaboradores			PADRÃO		OK?
1º turno	2º turno	3º turno	Produção do turno	Quantidade	Tempo (minutos)		
0x10				Conferência da linha	2	6	
0x1				Conferência da peneira e tela	2	5	
1x10				Conferência do silo do material acabado	2	10	
Produção total				Liga os equipamentos	2	8	
				Pede a máquina para empurrar material	2	2	
				Descarregar o filtro (PDF)	1	30	
				Puxar material para a grade do silo acompanhando o Brit	50	2	
				Pede a máquina para empurrar material e abastecer	8	2	
				Conferência do Silo	6	6	
				Chamar o caminhão para descarregar o silo	6	4	
				Accionar a válvula para carregar caminhão	6	5	
				Acompanhamento do carregamento do caminhão	6	10	
				Fecha a válvula do silo	6	1	

Figura 30: Ficha de registro de anomalias

### Passo 3.2: Definir quem, o que, quando

Neste passo, foi criada uma sequência padrão para registrar, analisar e definir os possíveis planos de ações para corrigir anomalias que ocorressem durante a execução da nova rotina de atividades dos separadores. Foi incumbida, aos próprios separadores, a tarefa de registrar as fichas do padrão de atividades e alguma anomalia, caso houvesse. O auxiliar de produção tinha a tarefa de registrar a produção diária para acompanhamento dos indicadores.

Coube à equipe do projeto analisar e definir planos de ação sempre que recebesse a ficha de atividades em que ocorreu algum tipo de anomalia.

Tabela 2: Sistema para a coleta de dados e análise

No.	Quem	O que	Quando
1	Lider da separação	Registrar os colaboradores por turno	Durante o turno
2	Separador	Registrar os tempos e frequências das atividades	Durante o turno
3	Auxiliar de Produção	Registrar a produção diária para o cálculo dos indicadores	Diariamente
4	Grupo de Re-layout	Análise das anomalias (5 porquês)	Diariamente
5	Grupo de Re-layout	Identificação e planejamento contramedidas	Semanalmente

### Passo 3.3: Treinar os operadores

Assim como no passo 2.4 os colaboradores da área bem como o auxiliar de produção foram treinados para realizar o registro das anomalias na frequência definida. Na figura 31 vê-se a lista de treinamento.

Operadores	Função	Atividades							
		Padrão Provisório de atividades		Registro da produção diária		Registrar os colaboradores por turno		Registro de anomalias	
Wagner Puiati	Auxiliar de Produção			P	R			P	R
EDUARDO VITOR S. CARMO	Separador 1	P	R			P	R	P	R
MARCELO JOSE FEITEIRA TALYULI	Separador 1	P	R			P	R	P	R
PEDRO JOSE TEODORO	Separador 1	P	R			P	R	P	R
ANDERSON RICARDO DE AQUINO	Separador	P	R					P	R
ALEXANDRE BATISTA DE CARVALHO	Separador	P	R					P	R
FELIPE BARBOSA LASNOR	Separador	P	R					P	R
FLÁVIO ANTÔNIO NASCIMENTO NATAL	Separador	P	R					P	R
LEANDRO DA SILVA BERNARDO	Separador	P	R					P	R
MARCELO GONÇALVES DA SILVA	Separador	P	R					P	R
MARCELO JOSÉ DA COSTA	Separador	P	R					P	R
MARCIO ANTONIO GOULART	Separador	P	R					P	R
MAYCON DOUGLAS DONIZETE DA SILVA	Separador	P	R					P	R
WELLINGTON BERGUEM PEREIRA	Separador	P	R					P	R

P	Planejado
R	Realizado

Figura 31: Lista de treinamentos do registro de anomalias

### Passo 3.4: Realizar o monitoramento do sistema diariamente e refazer o treinamento se necessário

Nesse passo, uma análise contínua dos indicadores foi realizada a fim de identificar pontos fora da meta traçada como mostra a tabela 3 e a figura 32.

Tabela 3: Acompanhamento dos indicadores da Separação

Material	0x10mm	0x1mm	1x10mm	Total	% Geração de 0x1mm	Colaboradores	Produtividade
30/5/16	0	47,09	96,27	136,83	34%	10	1,71
1/6/16	0	67,75	26,48	223,9	30%	15	1,87
3/6/16	29,14	57,84	0	177,74	39%	12	1,85
4/6/16	0	58,58	14,31	143,33	41%	10	1,79
5/6/16	59,75	47,21	91,29	224,4	29%	15	1,87
6/6/16	128,1	0	0	128,1	56%	10	1,6
7/6/16	106,66	0	0	106,66		8	1,67
10/6/16	79,77	0	0	79,77		6	1,66
11/6/16	35,91	0	0	35,91		3	1,5
12/6/16	67,52	0	0	67,52		5	1,69
13/6/16	114,94	0	0	114,94		8	1,8
14/6/16	32,98	0	0	32,98		3	1,37
18/6/16	69,88	0	0	69,88		5	1,75
19/6/16	61,38	0	0	61,38		6	1,28
23/6/16	122,31	0	0	122,31		9	1,7

Fonte: Empresa do estudo de caso

## Passo 4: Analisar e resolver as anomalias

### Passo 4.1: Fazer a análise de prioridade das anomalias

Utilizando o histórico das anomalias ocorridas para realizar um gráfico de Pareto foi possível identificar que a principal causa delas é o entupimento do material com oito ocorrências em 20 do total, representando 38% do total de anomalias (Figura 32).

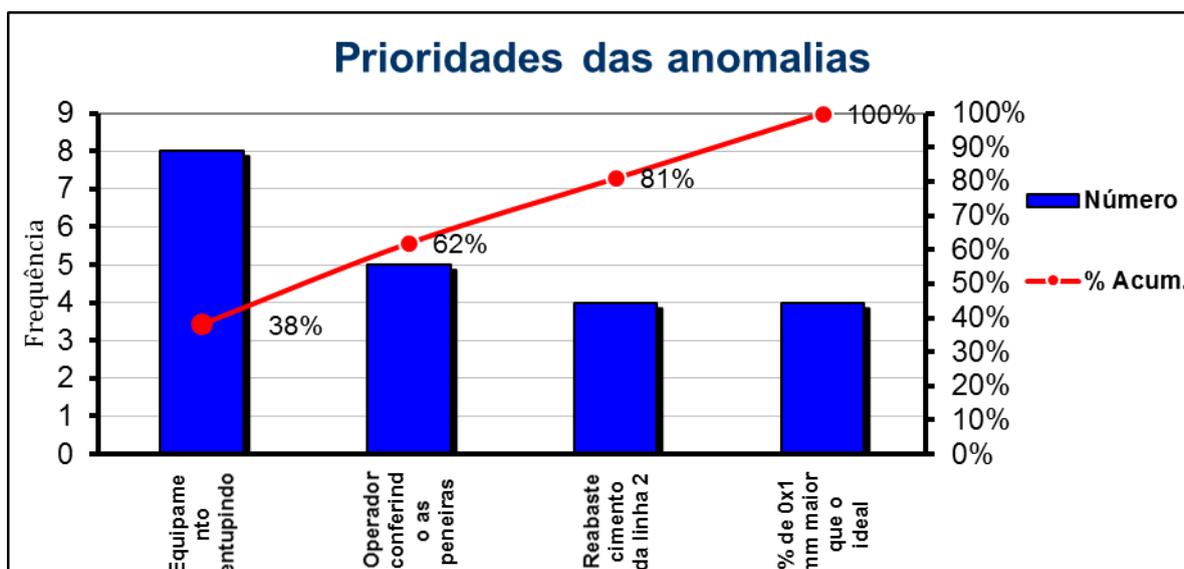


Figura 32: Pareto Prioridade das anomalias

### Passo 4.2: Identificar as contramedidas: diagrama causa-efeito e análise dos cinco porquês

Nas figuras 33 e 34 estão representadas, respectivamente, o diagrama de causa e efeito e a análise dos cinco porquês para se chegar à causa raiz desse problema detectado como o principal causador de anomalias. Fazendo-se os três porquês, concluiu-se que ou o fluxo do material era maior que o necessário, ou a granulometria do material era maior do que o arranjo de telas estava preparado para receber.

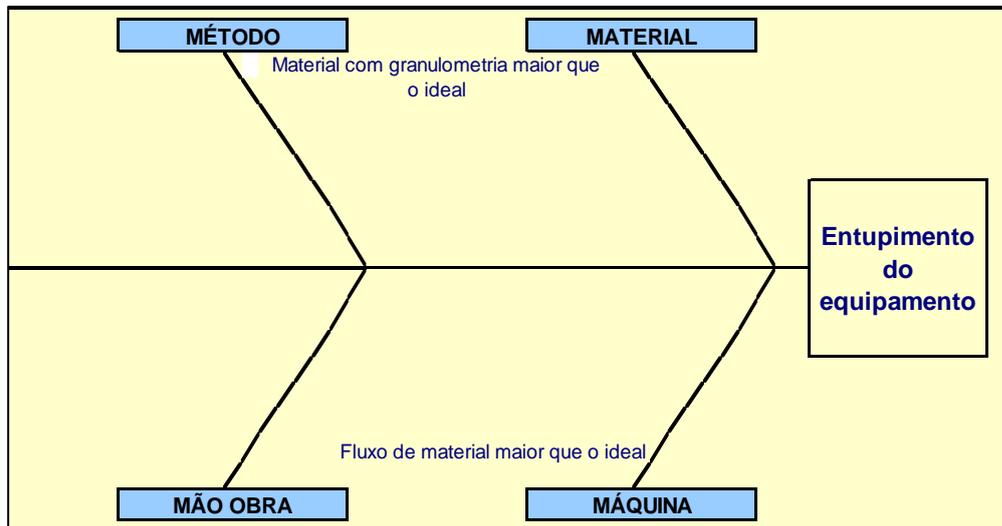


Figura 33: Diagrama de Ishikawa da principal causa

Anomalia	Fluxo do material maior que o necessário				
Porquê 1	Porquê 2	Porquê 3	4 M	Ação de	Ações
Fluxo da calha não estava de acordo com o material	Não foi possível regular a calha	Eletricista não estava disponível no momento	Máquina	Melhoria contínua	Incluir no painel dos equipamentos da separação a possibilidade de regulação da velocidade da calha das linhas
	A 1ª tela proporcionava pouca produtividade (10,90mm)	Rearranjo das telas pode reaproveitar materiais	Máquina	Melhoria contínua	Troca de telas das linhas para a produção de Metalúrgico

Figura 34: 3 Porquês do problema identificado

O problema foi classificado entre os 4M como máquina, por isso as ações tomadas envolviam mudanças na linha de metalúrgico.

### Passo 4.3: Implementar as contramedidas

A primeira sugestão de melhoria foi incluir na CCM da separação a possibilidade de regulação da velocidade da calha das linhas, para que o operador tivesse autonomia no ajuste da máquina sem ter que efetuar seu bloqueio e esperar pelo eletricista chegar para que a regulação seja feita (Figura 35).



Figura 35: Mudanças na CCM da Separação I  
 Fonte: Empresa do estudo de caso

A segunda ação envolveu a troca das telas das linhas a fim de ganhar mais produtividade e reduzir a geração de metalúrgico 0x1mm. O arranjo de telas anterior consistia em uma tela de 10,90 mm como oversize e outra de 2,46 mm como undersize. Testes de bancada foram conduzidos sugerindo uma troca de telas para 12,46mm e 1,93mm, desse modo a 1ª tela iria proporcionar uma maior produtividade para as linhas da separação, enquanto a 2ª tela aumentaria a margem de produção do material 1x10mm que tem uma maior aceitação no mercado. A troca das telas foi testada e as novas faixas granulométricas ainda estavam de acordo com as especificações dos clientes (Tabela 4).

Tabela 4: Resultado dos testes de bancada para troca de telas

Telas	Especificação típica	Média últimas OP's telas 10.90/2.46	Resultado do teste com telas 12.70/1.93
12,7		0	0,3
9,52	Max 10	3,5	7,4
4		47,9	40,3
2		37,4	33,5
1		7,4	13,9
F	Max 10	3,8	4,6

Fonte: Empresa do estudo de caso

#### Passo 4.4: Introduzir a tabela de monitoramento

Foi realizado um gráfico de monitoramento (Figura 36), que é feito para verificar se a anomalia corrigida no passo anterior foi realmente solucionada. Da figura observa-se que

após a implementação das ações nenhuma anomalia foi detectada indicando assim a efetividade das contramedidas.

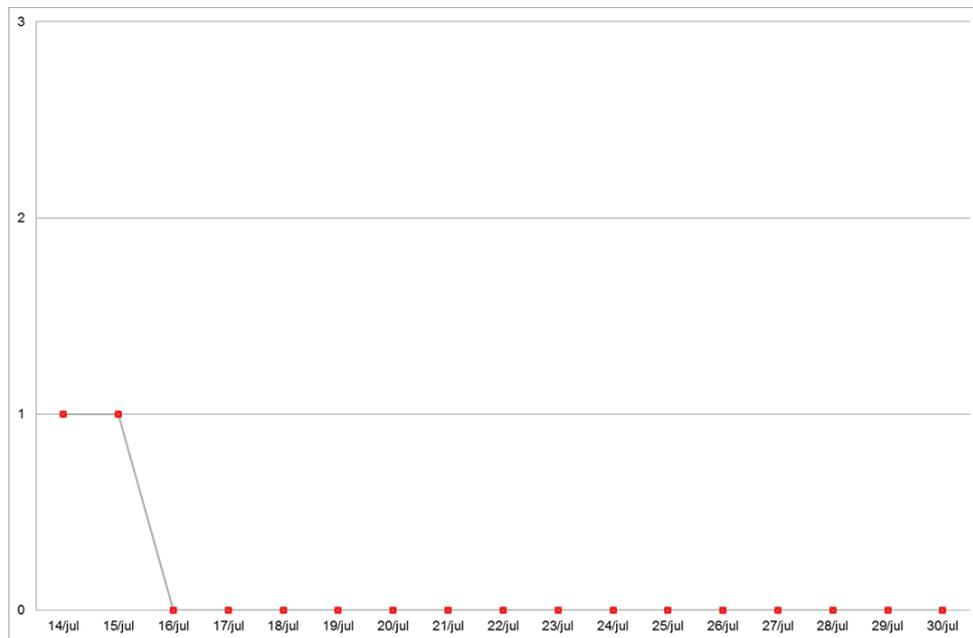


Figura 36: Monitoramento das anomalias

## **Passo 5: Melhorar o *Micro-Layout* e instalação**

### **Passo 5.1: Identificar as atividades sem valor agregado**

Finalmente, no quinto passo realizou-se a análise do *micro-layout* e instalação das melhorias identificadas. Primeiramente, microatividades sem valor agregado foram identificadas e classificadas como pontos a serem melhorados imediatamente ou que exigiriam mais estudos (Figura 37).

Categoria	Tipo de Desperdício	Avaliação
Desperdício nas operações	1. Desperdício de espera da máquina abastecer	
	2. Desperdício em observações desnecessárias nos silos e nas peneiras	
Desperdício no layout	1. Desperdício com inventário de estoques nos galpões da separação	
Desperdício no fluxo do produto	1. Desperdício de excesso de produção	
	2. Desperdício com mistura necessária de materiais	
Desperdício no equipamento e outros tipos de desperdícios	1. A linha 2 não possui retorno	

 - 3 pontos Pode ser melhorado imediatamente	 - 2 pontos Melhoramento requerido	 - 1 ponto Mais estudo requerido
--	--	---

Figura 37: Atividades NVA da Separação I

### Passo 5.2: Aplicar a técnica ECRS e identificar as ações de melhoramento

A partir da identificação de desperdício nas operações ao se realizar observações nos silos e peneiras feita no passo anterior, foi sugerida a instalação de câmeras no segundo piso das linhas e de sensores no silo de alimentação evitando-se assim a movimentação para a conferência deles. A técnica ECRS foi realizada demonstrando a simplificação dessas atividades (Figura 38).

Separação 1		Como é Hoje			Melhoramento						
Nº	Atividades	Por que?	Quem?	Tempo por turno (min)	Problema	Eliminar	Combinar	Reorganizar	Simplificar	Ação	Tempo Objetivado (min)
1	Conferência da linha	Inspeção necessária	Operador de Separação	12							
2	Conferência da peneira e tela	Inspeção necessária	Operador de Separação	10	Movimentação desnecessária				X	Instalação de câmeras	6
3	Conferência do silo do material acabado	Inspeção necessária	Operador de Separação	20							
4	Liga os equipamentos	Para iniciar a produção	Operador de Separação	16							
5	Pede a máquina para empurrar material	Para iniciar a produção	Operador de Separação	4							
6	Descarregar o filtro (PDF)	Material acumulado	Operador de Separação	30							
7	Puxar material para a grade do silo acompanhando o Britador	Alimentar a linha	Operador de Separação	100							
8	Pede a máquina para empurrar material e abastecer	Abastecer próximo ao silo	Operador de Separação	16							
9	Conferência do Silo	Verificar se o silo já está cheio	Operador de Separação	36	Movimentação desnecessária				X	Instalação de sensores	25
10	Chamar o caminhão para descarregar o silo	Comunicar o motorista	Operador de Separação	24							
11	Acionar a válvula para carregar caminhão	Iniciar o carregamento	Operador de Separação	30							
12	Acompanhamento do carregamento do caminhão	Auxiliar no carregamento	Operador de Separação	60							
13	Fecha a válvula do silo	Terminar o carregamento	Operador de Separação	6							

Figura 38: ECRS demonstrando a simplificação de duas atividades dos separadores

### Passo 5.3: Determinar as alternativas de *Micro-layout*

Neste estágio do projeto, alternativas de *micro-relayout* foram apresentadas a partir de um estudo detalhado das máquinas e da área. A possibilidade de dar retorno à linha 2 no britador 8013 foi apresentada à gestão e, devido ao investimento necessário à modificação, ficou de ser incluído no budget de 2017.

Além disso, foi sugerido um possível corte granulométrico de produção para dar maior flexibilidade as linhas acrescentando-se uma tela de de 0,71mm no segundo piso. Testes realizados pelo Controle de Qualidade da empresa em julho de 2016 constataram um aproveitamento de 41,1% do material 0x1mm metalúrgico para o 0x10mm metalúrgico como mostra a figura 39.

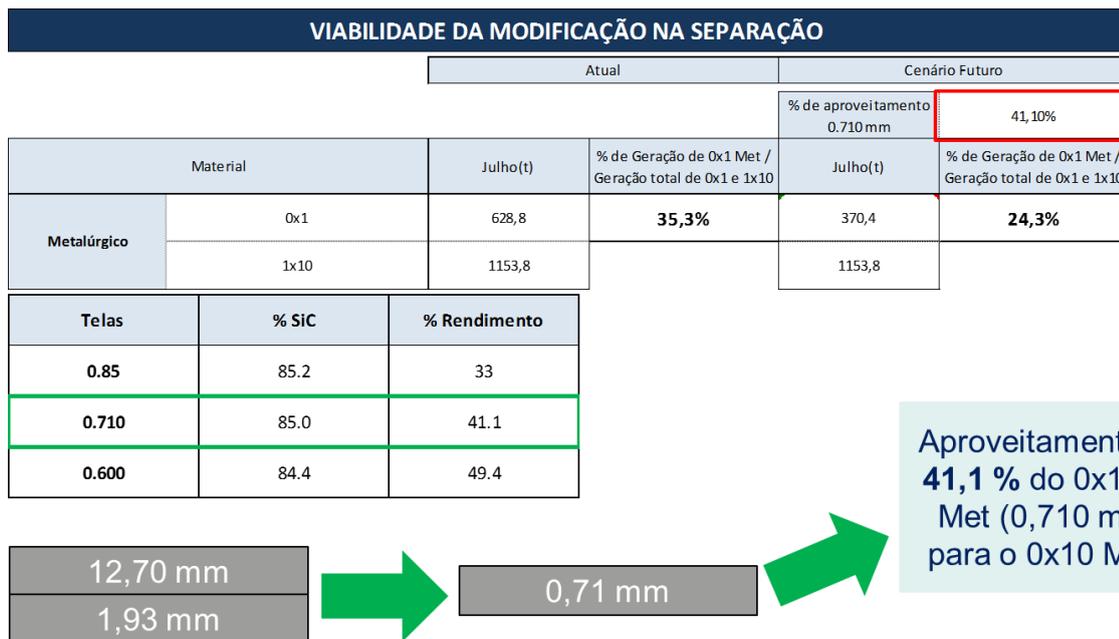


Figura 39: Viabilidade da modificação na Separação  
 Fonte: Empresa do estudo de caso

### Passo 5.4: Avaliar as alternativas e estabelecer um padrão detalhado

Alterações na documentação da área foram feitas incluindo o procedimento a ser realizado com a inclusão da tela de 0,71mm para a redução da geração de 0x1mm metalúrgico, exemplificado na figura 40. Toda a equipe foi treinada no novo padrão.

INSTRUÇÃO DE OPERAÇÃO							
OPERAÇÃO: <i>Processamento do Metalúrgico 1x10 mm e 0x1 mm</i>						IO: 509	Rev.: 00
SETOR: <i>Separação 1 - Produção Primária</i>						DCBA: 515	
Nº	NOME DA OPERAÇÃO	FOTO	LOCAL/ EQUIPAMENTO	DESCRIÇÃO	MAQUINA/ FERRAMENTA	QUANDO	QUEM
5	Britagem e peneiramento do Metalúrgico		Britadores (BM 500, 5240), Moimão e martelo e Peneiras e rotex com telas	Estas atividades são realizadas para o material ser beneficiado de acordo com as especificações dos clientes. Nas peneiras podem ser colocadas telas de 12,70mm e 1,93mm quando os materiais necessários forem 1x10mm e 0x1mm ou apenas a de 12,70mm quando for o material 0x10mm, sempre lembrando que na rotex do segundo piso é necessário colocar a tela de 0,71mm para reduzir a geração de 0x1mm.	Telas de 12,70mm, 1,93mm e 0,71mm	No momento que os materiais passarem nas linhas	Operador de Separação
6	Carregamento do caminhão		Caminhão / Tubo de descarregamento dos silos	O carregamento consiste em descarregar o material dos silos da separação nos caminhões para que o mesmo seja transportado para a Embalagem Metalúrgico	Caminhão e controle de descarregamento	Os silos estiverem cheios ou com a capacidade máxima do caminhão (15 ton)	Motorista de caminhão e Separador

Figura 40: Instrução de operação para colocação da tela de 0,71mm na rotex do piso 2  
 Fonte: Empresa do estudo de caso

### **Passo 5.5: Instalar o novo layout**

A instalação da *rotex* no segundo piso foi realizada em agosto de 2016.

A instalação do novo *layout* dando retorno à linha 2 ficou marcada para 2017 devido ao investimento necessário.

#### 4- CONCLUSÃO

Com o projeto desenvolvido através do roteiro de Movimentação de Materiais e *Relayout* foi possível atingir todos os objetivos traçados.

Durante o desenvolvimento do primeiro passo, foi possível desenvolver um sistema de coleta de dados e identificar restrições no processo como a falta de retorno na linha 2 da separação e a existência de apenas uma unidade de britagem. No segundo passo do trabalho, a equipe do projeto focou na organização das atividades e movimentação dos separadores, promovendo mudanças no padrão de movimentação com a instalação de melhorias físicas no local.

Na terceira etapa do projeto, foi criado um sistema de registro de anomalias capaz de quantificar o número de ocorrência de problemas nas rotinas. Tal sistema foi extremamente útil para a quarta etapa, que consistiu em analisar e desenvolver soluções para a causa raiz desses problemas. Na última etapa, realizou-se uma análise micro, mais aprofundada, das atividades e do *layout* do local oferecendo soluções para simplificar o dia-a-dia dos colaboradores da área aumentando assim sua produtividade.

Por fim, pode-se concluir que houve um ganho de 5,25% de produtividade na função Separador, e uma redução de geração de material metalúrgico 0x1mm em 45% cumprindo, assim, o objetivo geral deste trabalho e contribuindo para a redução de custos e maximização dos lucros.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTZ, A.P.B; WEISE, A.D; RUPPENTHAL, J.E. *Aplicação da manufatura enxuta em uma indústria de equipamentos agrícolas*. *Ingeniare: Revista chilena de ingeniería*. v. 21, n.1, pp 147-158, 2013.

BRAGA, S.L.S. *Análise do comportamento térmico do forno Acheson e da sua camada de mistura isolante*. 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2011.

CHRISTO, J.C.M. *Aplicação da Metodologia WCM para aumentar a produtividade de equipe auxiliar do controle de fornos Acheson*. 2015. 40f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São João Del Rei, São João Del Rei, 2015.

FELICE, F; PETRILLO, A. *Optimization of Manufacturing System through World Class Manufacturing*. *International Federation of Automatic Control*. v. 48, n 3, pp. 741-746, 2015.

FORZA, C. *Work organization in lean production and traditional plants*. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 16, n 2, pp. 42-62, 1996.

HENRIQUE, F; FIORIO, V. *O que é o diagrama de Ishikawa?*. *Indústria Hoje*, disponível em: <<http://www.industriahoje.com.br/diagrama-de-ishikawa>>, 2012. Acesso em: 20 de fevereiro de 2017.

KOHFELDT, D; LANGHOUT, R. D. *The five Whys Method: A Tool for Developing Problem Definitions in Collaboration with Children*. *Journal of community & Applied Social Psychology*. v. 22, n 4, pp 316-329, 2012.

LIMA, T.C.F; TENÓRIO, J.A.S. *Utilização de matéria-prima aglomerada na produção de carbureto de silício em escala-piloto*. *Revista da Escola de Minas*. v. 64, n 3, pp 341-345, 2011.

LINDSTAD, L.H. *Recrystallization of Silicon Carbide, Department of Materials Technology and Electrochemistry*. Norwegian University of Science and Technology, 2002.

MATA, S. *Apostila de Implantação do Pilar de Eficiência Industrial*. São Paulo: Consultoria EFESO, 2012 (a).

MATA, S. *Apostila de Movimentação de Materiais e Relayout*. São Paulo: Consultoria

EFESO, 2012 (b).

SADDOW, S.E; AGARWAL, A. *Advances in Silicon Carbide Processing and Applications*. Boston: Artech House, 2004. 229 p.

SALVADOR, C.G. *Ishikawa Cause and Effect Diagrams: A useful tool in designing economic analyses*. Value in Health. v. 7, n 3, pp 301-302, 2004.

SANGWAN, J.B.K.S. *Lean manufacturing: literature review and research*. International Journal of Operations & Production Management. v. 34, n 7, pp 876-940, 2014.

WILKINSON, L. *Revising the Pareto Chart*. The American Estatician. v. 60, n 4, pp. 332-334, 2012.

YIDA, P; IAMONDI, R.C. *Apostila Excelência Operacional Inter-relação entre Lean Manufacturing e TPM (Total Productive Management)*. São Paulo: Consultoria EFESO, 2009.