

GUILHERME AUGUSTO ADDISON POPOLO

**PROJETO DE MELHORIA NO PROCESSO DE PINTURA
DE PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA PARA
INDÚSTRIA MOVELEIRA UTILIZANDO A
METODOLOGIA SEIS SIGMA**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção de Diploma
de Engenheiro de Produção.

São Paulo

2009

GUILHERME AUGUSTO ADDISON POPOLO

**PROJETO DE MELHORIA NO PROCESSO DE PINTURA
DE PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA PARA
INDÚSTRIA MOVELEIRA UTILIZANDO A
METODOLOGIA SEIS SIGMA**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção de Diploma
de Engenheiro de Produção.

Orientador: Roberto Gilioli Rotondaro

São Paulo

2009

À minha família e amigos,

AGRADECIMENTOS

Ao professor Roberto Gilioli Rotondaro pela orientação no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores da Universidade de São Paulo, por contribuírem à minha formação acadêmica.

Aos funcionários da biblioteca e do Xerox da Engenharia de Produção da Escola Politécnica da USP.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos que sempre estiveram presentes nas dificuldades.

Ao pessoal da empresa, pela oportunidade oferecida , e em especial, ao amigo Mario S. Nali.

À minha namorada pelo apoio e compreensão durante a realização do trabalho.

À minha família que sempre esteve presente, independentemente da distância.

RESUMO

O presente trabalho de formatura contempla a melhoria do processo de pintura de painéis de madeira reconstituída. Um estudo sobre a metodologia Seis Sigma foi realizado para que seus conceitos fossem aplicados no trabalho e fundamentassem as decisões tomadas. A estrutura DMAIC forneceu a base para o desenvolvimento do projeto, sendo que as coletas de dados foram feitas no sistema de informações da unidade, através de entrevistas com os integrantes do grupo de trabalho e da observação do processo em estudo. Após a delimitação das etapas do processo, os indicadores foram determinados. A ferramenta FMEA auxiliou nas análises realizadas e na priorização das ações propostas, e medidas para a manutenção das soluções implementadas foram sugeridas.

Palavras-Chave: Qualidade. Melhoria de processos. Seis Sigma. DMAIC. FMEA.

ABSTRACT

The present graduation work contemplates the enhancement of the hardboard painting process. A study on the Six Sigma methodology was elaborated so its concepts could be applied on this thesis and used as the base of the decision making process. The basic data for developing the project was supplied by the DMAIC structure, as part of the data gathering was within the unit's information systems, and part through interviews with employees and process observation. After delimiting each phase of the process, quality indicators were established in order to follow the project's progress. The FMEA tool was used for analyzing the process and establishing the priorities of the actions proposed. At last, in order to sustain the solutions implemented through this study in the long term, some measures were suggested.

Keywords: Quality. Process improvement. Six Sigma. DMAIC. FMEA

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Planta Simplificada	19
Figura 2: Estrutura Organizacional.....	20
Figura 3: Utilização do Painel	24
Figura 4: Padrão de cores aplicados nas chapas	24
Figura 5: Processo de Melhoria Seis Sigma. (Adaptada de Pande, et al, 2001, p. 41).....	31
Figura 6: Fluxograma de Pré-Impressão (NAKAZAKI, 2003, p. 40).....	34
Figura 7: Símbolos para o Fluxograma	35
Figura 8: FMEA para o Setor de Impressão (NAKAZAKI, 2003, p. 71)	37
Figura 9: Estudo de Viabilidade Econômica. (NAKAZAKI, 2003, p. 83)	38
Figura 10: Espinha de Peixe SIPOC.....	43
Figura 11: Tamanho das Chapas (sem escala).....	49
Figura 12: Fluxograma – Divisória	51
Figura 13: Diagrama de Causa e Efeito I	56
Figura 14: Diagrama de Causa e Efeito II	57
Figura 15: Diagrama de Causa e Efeito III.....	58
Figura 16: Diagrama de Causa e Efeito IV.....	59
Figura 17: Diagrama de Afinidades.....	60
Figura 18: Matriz de Causa e Efeito	61
Figura 19: Matriz de Causa e Efeito II	62
Figura 20: Matriz de Causa e Efeito III.....	63
Figura 21: Matriz de Causa e Efeito IV	64
Figura 22: FMEA.....	66
Figura 23: Viabilidade do Projeto	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Receita Líquida.....	16
Gráfico 2: Volume Produzido e Volume Expedido.....	17
Gráfico 3: Rendimento Linha de Pintura - Jundiaí	22
Gráfico 4: Tipos de Não Conformidades. (NAKAZAKI, 2003, p.47)	36
Gráfico 5: Quantidade de Produtos em Não Conformidade. (NAKAZAKI, 2003, p.88)	39
Gráfico 6: Índice de Não Conformidade.....	54
Gráfico 7: Modos de Falha	55
Gráfico 8: Gráfico Linear.....	71
Gráfico 9: Índice de Não Conformidade.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fabricação.....	21
Tabela 2: Produtos	21
Tabela 3: Segmento Divisória	25
Tabela 4: Aplicação da Metodologia Seis Sigma. (Pande, et al, 2001, p.98).....	29
Tabela 5: Cargos de Trabalho.....	41
Tabela 6: SIPOC	44
Tabela 7: Linha de Pintura – Descrição das Fases	47
Tabela 8: Cálculo do Desempenho Atual	54
Tabela 9: Melhorias	67
Tabela 10: Informações de Custos.....	69
Tabela 11: Cálculo do desempenho após melhorias.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Incrementar e Controlar
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
HDF	<i>High Density Fiberboard</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
SDF	<i>Super Density Fiberboard</i>
SIPOC	<i>Supplier, Input, Process, Output e Customer</i>
UV	Ultravioleta
VAL	Valor Atual Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo.....	15
1.2	Justificativa	15
1.3	Descrição da Empresa.....	16
1.3.1	Unidade de Botucatu.....	17
1.3.1.1	Produtos	21
1.3.2	Situação atual: Transferência de Jundiaí.....	22
1.4	Objeto da Análise: Segmento Divisória e Linha de Pintura	23
1.4.1	Características da Linha de Pintura.....	25
1.4.2	Limites	26
1.5	Etapas do Trabalho	27
1.6	Vínculo entre Aluno e Empresa.....	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	28
2.1	Seis Sigma.....	28
2.2	DMAIC	31
2.2.1	Definir	32
2.2.2	Medir.....	34
2.2.3	Analisar	36
2.2.4	Incrementar	37
2.2.5	Controlar	39
3	APLICAÇÃO DO MODELO	40
3.1	Definir	40
3.1.1	Projeto	40
3.1.2	Benefícios do Trabalho	42
3.1.3	Cliente	42
3.1.4	SIPOC	43
3.2	Medir.....	45
3.2.1	Descrição do Processo	45
3.2.1.1	Preparo da Linha de Pintura.....	45
3.2.1.2	Preparo de Materiais	46

3.2.1.3	Etapas da Linha de Pintura	46
3.2.1.4	Controle da Qualidade	48
3.2.1.5	Transporte de Materiais	48
3.2.1.6	Classificação e Embalagem	48
3.2.1.7	Corte	49
3.2.2	Fluxograma.....	49
3.2.3	Indicadores do Projeto	52
3.2.3.1	Coleta de Dados.....	52
3.2.3.2	Validação dos Dados	53
3.2.3.3	Gráfico do Índice de Não Conformidade	53
3.2.3.4	Capacidade Seis Sigma do Processo	54
3.3	Analizar.....	54
3.4	Incrementar	67
3.4.1	Soluções.....	67
3.4.2	Viabilidade Econômica.....	69
3.5	Controlar	70
3.6	Resultados.....	72
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	74
4.1	Considerações Finais	74
4.2	Conclusão	75
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é a melhoria do processo de pintura de painéis de fibra de madeira reconstituída destinados a uma aplicação específica da indústria moveleira através da metodologia Seis Sigma e suas ferramentas e, com isso, propor soluções para reduzir a variabilidade deste processo e aumentar seu retorno financeiro.

1.2 Justificativa

Seis Sigma é uma estratégia gerencial de mudanças para acelerar o aprimoramento em processos, produtos e serviços. O termo sigma mede a capacidade do processo em trabalhar livre de falhas. Quando falamos em Seis Sigma, significa redução da variação no resultado entregue aos clientes numa taxa de 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de perfeição (ROTONDARO, 2002a).

Seis Sigma é uma metodologia estruturada que incrementa a qualidade por meio da melhoria contínua dos processos envolvidos na produção de um bem ou serviço, levando em conta todos os aspectos importantes de um negócio. O objetivo do Seis Sigma é conseguir a excelência na competitividade pela melhoria contínua dos processos (ROTONDARO, 2002a).

A necessidade de resultados financeiros num ambiente competitivo exige que as empresas ofereçam produtos com qualidade para seus clientes com menor custo e menor impacto ambiental. Para isso, é essencial a busca por processos robustos e com baixa variabilidade, já que, com o conhecimento e controle de seus processos e com a previsibilidade de suas saídas, diminuem-se as chances de retrabalho, desperdício de recursos ambientais e de entrega ao cliente de produtos defeituosos.

Numa situação de mudança, em que a ocorrência de imprevistos aumenta, o conhecimento dos seus processos, sua padronização e seu controle permitem uma adaptação rápida às alterações sem prejudicar os clientes e os resultados da organização. Atenção maior deve ser aplicada quando esses clientes geram para empresas bons rendimentos.

A metodologia Seis Sigma e sua ferramenta, o DMAIC, auxiliam na transformação de processos ineficientes em processos robustos e adaptáveis. Com a sua implantação de maneira

correta, consegue-se aumentar a eficiência operacional, diminuir as chances de produtos defeituosos chegarem aos clientes e reduzir custos das empresas.

1.3 Descrição da Empresa

Este trabalho foi realizado na unidade Paula Souza, da Duratex S.A., em uma parte de processo específica de produção: a linha de Pintura.

A Duratex S.A. é uma empresa brasileira de capital aberto, controlada pela Holding Itaúsa – Investimentos Itaú S.A.. Fundada em 1951, a empresa atende às indústrias de móveis, automobilística e construção civil, tanto no mercado interno, como no externo, dividida em duas áreas de negócios: a Divisão Deca, fabricante de acessórios metálicos e louças sanitárias e a Divisão Madeira, fabricante de painéis e pisos de madeira. O gráfico 1 mostra a participação das áreas de negócio na Receita Líquida anual da empresa. Destaque para a importância da Divisão Madeira no seu faturamento.

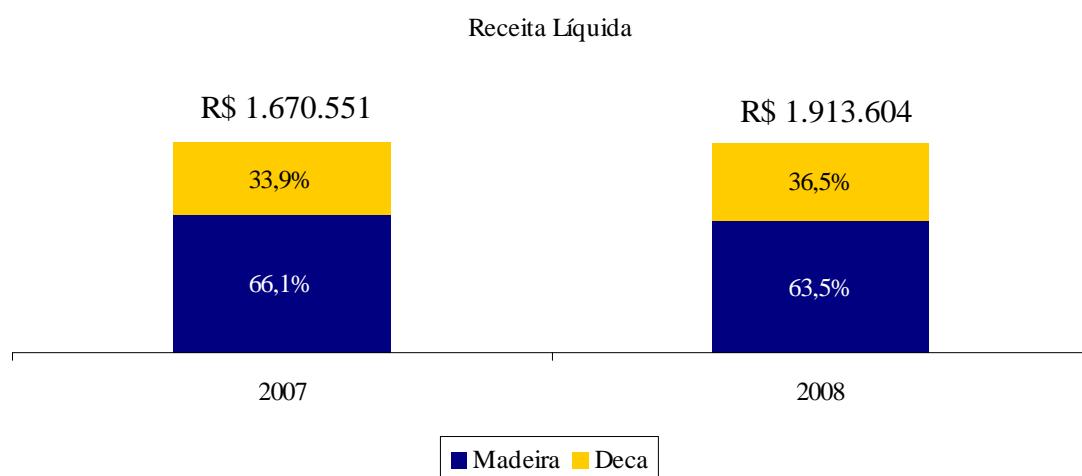


Gráfico 1: Receita Líquida

Fonte: Relatório anual da empresa de 2008

A Divisão Madeira, líder de mercado na fabricação de painéis de madeira reconstituída, desenvolve suas atividades operacionais em três unidades distribuídas nas seguintes cidades do Estado de São Paulo: Botucatu, Agudos e Itapetininga. O gráfico 2 mostra a evolução dos volumes de painéis produzidos e expedidos pela Divisão Madeira.

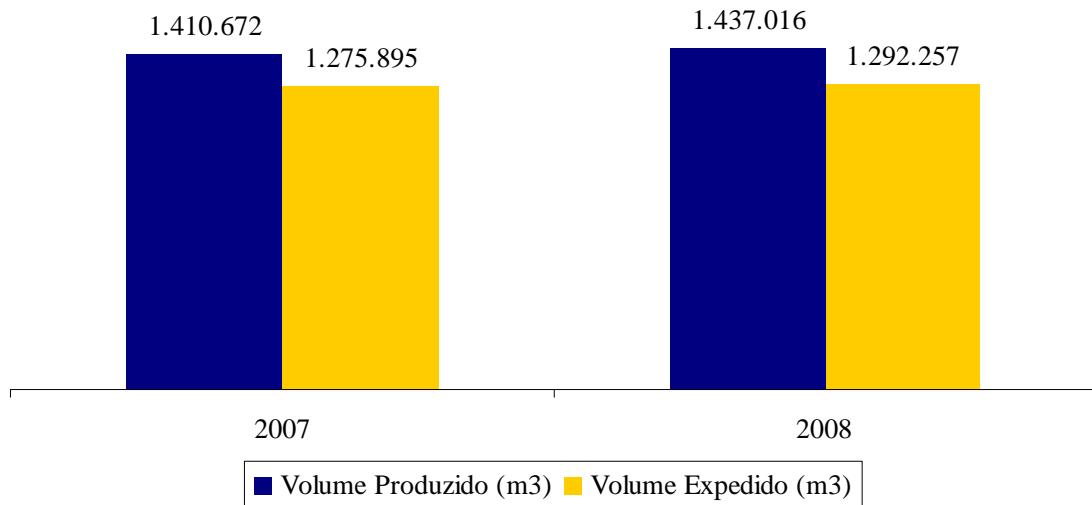


Gráfico 2: Volume Produzido e Volume Expedido

Fonte: Relatório anual da empresa de 2008

No final de 2008, em razão de uma decisão estratégica da empresa, foi desativada a unidade de Jundiaí. Nesta fábrica, as linhas eram antigas com alto custo operacional em comparação às outras unidades, além do sítio fabril se encontrar numa área urbana, o que gerava maiores gastos logísticos e contestações ambientais. Esta mudança trouxe o desafio às outras unidades de atender a demanda da fábrica fechada.

1.3.1 Unidade de Botucatu

Inaugurada em 1973, a unidade Paula Souza está localizada na região rural de Botucatu-SP, na fazenda Santa Luzia. Segundo informações obtidas no *website* da empresa, com a inauguração desta unidade, a empresa tornou-se a maior exportadora de chapas de fibras do país. Atualmente, tem aproximadamente 1,27 milhões m² de área, dos quais 113 mil m² são de área construída. Neste terreno estão instaladas duas fábricas e duas linhas de acabamento em galpões unificados. São elas:

- Fábrica de Duratree (chapas de fibra de madeira) dividida em três linhas de produção (Linhas I, II e III)
- Fábrica, de construção mais recente, produtora de MDF (*Medium Density Fiberboard*), HDF (*High Density Fiberboard*) e SDF (*Super Density Fiberboard*), em uma única linha de produção (Linha IV)

- Linha de pintura (Duraplac)
- Linha de revestimento de chapas

Com aproximadamente 700 funcionários, sua capacidade de produção é de 250 mil m³ por ano de MDF e HDF e cerca de 217 mil m³ por ano de Duratree e Duraplac. No terreno, também estão instalados, o prédio da administração, a subestação elétrica, a planta de energia térmica, as áreas de recepção da madeira e preparação do cavaco, e as áreas de estocagem e de beneficiamento (corte e lixa) de produtos. Para melhor visualização da unidade, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** exibe a planta simplificada com os departamentos indicados.

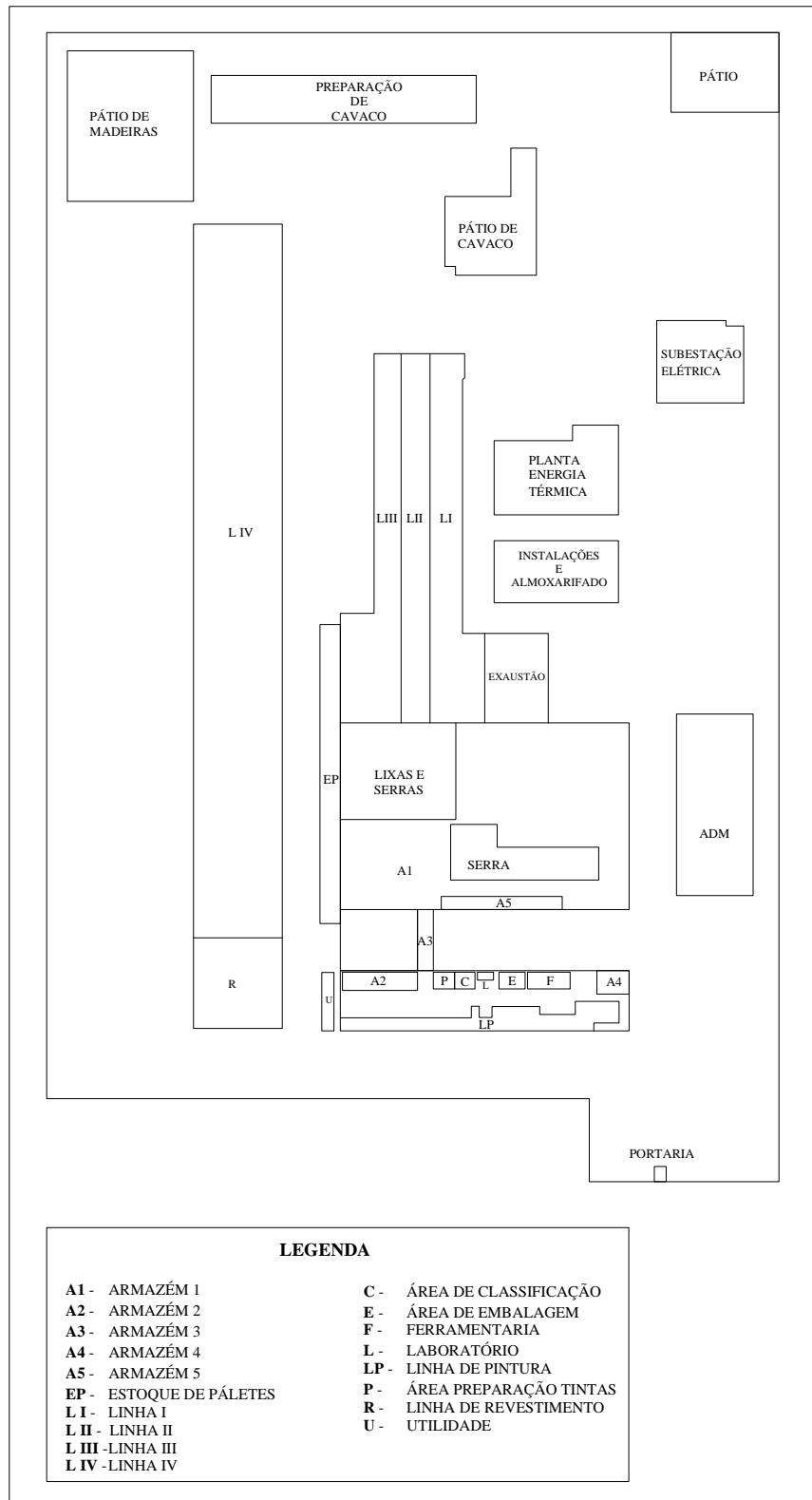


Figura 1: Planta Simplificada
Elaborado pelo autor

A gerência executiva da unidade se reporta diretamente ao diretor industrial da empresa, responsável por todas as unidades industriais da Divisão Madeira. Abaixo do gerente executivo, está o gerente de produção que centraliza as áreas operacionais da unidade. Essas áreas são lideradas pelos chefes de produção que são responsáveis pelas linhas de produção e acabamento, como pode ser observado no organograma da Figura 2. Em razão do tamanho da empresa e número de funcionários, foi elaborado um organograma reduzido com os cargos relacionados ao projeto.

Na linha de pintura, o supervisor de turno é quem supervisiona uma equipe formada principalmente por técnicos distribuídos nas funções: operador de máquina, colorista, classificador e operador de empilhadeira. São cerca de 40 funcionários distribuídos em turnos de revezamento de seis e seis horas.

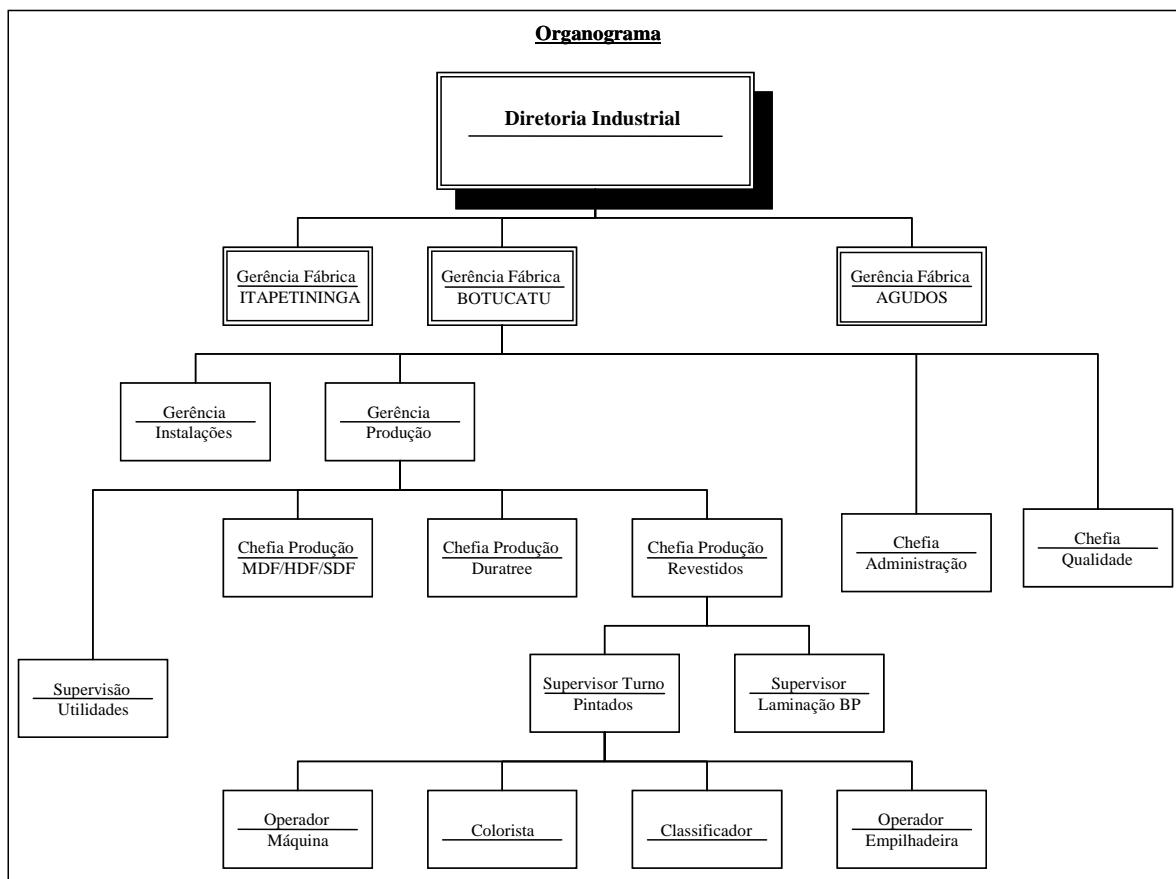


Figura 2: Estrutura Organizacional

Fonte: Base de dados da empresa

1.3.1.1 Produtos

A unidade produz em suas fábricas a maioria dos produtos ofertados pela Divisão Madeira. As linhas I, II e III fabricam o Duratree (painele de madeira reconstituída) destinados à indústria moveleira. Já a linha IV fabrica os painéis de alta, média e super densidade, conhecidos como MDF, HDF e SDF, destinados a fabricação do Durafloor (pisos laminados) e revestimentos de teto e parede. A tabela 1 mostra um resumo de quais produtos cada fábrica produz. Vale ressaltar que chapas de fibra é um sinônimo para painéis de madeira reconstituída.

	Fabricação			
	Fábrica I			Fábrica II
Linha	I	II	III	IV
Produtos	Duratree			HDF, MDF e SDF
Processo	Úmido			Seco

Tabela 1: Fabricação
Fonte: Base de dados da empresa

Finalizada a produção das chapas e dos painéis citados, há a possibilidade desses produtos receberem acabamento dentro da própria unidade por meio de duas linhas de acabamento: revestimento ou pintura. A linha de revestimento recebe os painéis MDF, transformando-os no produto chamado Madefibra E BP, e as chapas de fibra, transformando-as no produto Duraplac BP. Caso a opção seja a pintura, as alternativas de transformação são: HDF em Madefibra E PD e Chapa de fibra em Duraplac, assim como pode ser observado na tabela 2.

	Produto Base	Produto com Acabamento
Linha de Pintura	Duratree	Duraplac
	HDF	Madefibra E PD
Linha de Revestimento	MDF	Madefibra E BP
	Duratree	Duraplac BP

Tabela 2: Produtos
Fonte: Base de dados da empresa

Para um melhor gerenciamento entre as áreas de marketing e industrial na empresa, os produtos da Divisão Madeira são agrupados em segmentos de mercado, que nada mais é do que a aplicação final do produto vendido. Fundos, Lousas, Industrial e Divisórias são alguns exemplos desses segmentos. Este agrupamento é bastante relevante para o presente trabalho, pois o foco do mesmo é o acabamento dos produtos de um desses segmentos.

1.3.2 Situação atual: Transferência de Jundiaí

Os produtos destinados ao segmento Divisória eram de produção exclusiva de Jundiaí. Com o fechamento das atividades nesta planta, os produtos passaram a ser produzidos na unidade de Botucatu. No entanto, as duas linhas apresentam diferenças em seus processos.

As chapas de fibra (Duratree) usadas como matérias-primas para a pintura do segmento Divisória são as mesmas entre as unidades, já que os padrões de produção eram os mesmos. A principal diferença está no fato de que a unidade de Botucatu não pintava painéis com o nível de exigência da qualidade deste segmento.

No início de janeiro de 2009, iniciou-se a pintura de chapas para este novo segmento na unidade Paula Souza. No entanto, os índices de produção dos primeiros meses apresentaram-se abaixo do nível desejável pela unidade e inferiores aos níveis atingidos antes na unidade de Jundiaí, criando-se assim, uma oportunidade de atuação e consequente realização deste trabalho de formatura. O Gráfico 3 mostra o rendimento de qualidade na pintura do segmento Divisória em Jundiaí, em 2007 e 2008.

Rendimento Linha de Pintura - Jundiaí (Segmento Divisória)

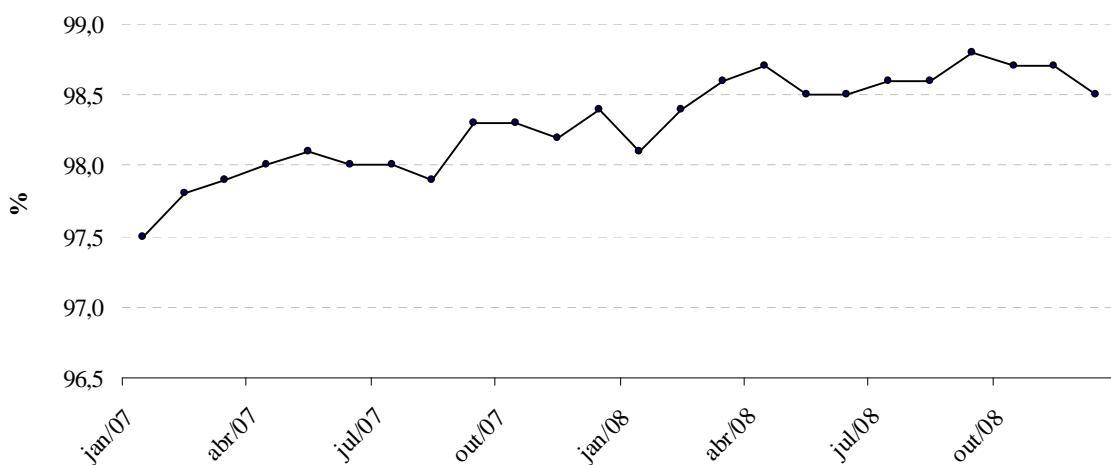


Gráfico 3: Rendimento Linha de Pintura - Jundiaí

Fonte: Base de dados da empresa

1.4 Objeto da Análise: Segmento Divisória e Linha de Pintura

O presente trabalho foi realizado na linha de pintura da unidade de Paula Souza já que é nesta fase de processo que os problemas dos produtos do Divisória se encontram. A oportunidade de realização do trabalho em uma parte específica do processo oferece maiores chances de aprofundamento no estudo e as propostas de melhoria devem ser implantadas. Além disso, a Linha de pintura tem papel fundamental para empresa, pois agrega alto valor aos produtos da empresa e rende boas margens de lucros, sendo essencial o funcionamento eficiente da mesma e a saída de produtos dentro das exigências da qualidade.

O segmento Divisória é um grupo de produtos destinados a divisão de ambientes como escritórios médico ou contábil e, até mesmo, residências. Como o produto fica exposto visualmente, diferentemente da maioria dos produtos pintados na linha de Botucatu, os clientes exigem um rigor maior na qualidade. Por exemplo, algumas marcas na face pintada de um painel de fundo de armário podem não ser consideradas defeito, enquanto que para o segmento Divisória, certamente, uma chapa com essas marcas seria reprovada.

Os painéis são vendidos com apenas um de seus lados pintados. Esta característica não é exclusividade do Divisória. Todos os produtos que passam pela Linha de pintura têm somente um de seus lados pintado. Isso ocorre porque é o cliente, na maioria das vezes, uma indústria de móveis, que tem o papel de montar o móvel. No caso do Divisória, a montagem ocorre da seguinte forma: o quadro é montado a partir de quatro sarrafos de madeira serrada unidos por grampos metálicos. Uma colméia de papelão complementa a estrutura entre os sarrafos, fornecendo resistência ao produto final. Em seguida, a cola é aplicada nos lados não pintados dos painéis que são colocados em cada lado do quadro. Então, uma prensa une as duas faces com cola, a colméia de papelão e o quadro, como mostra a Figura 3.

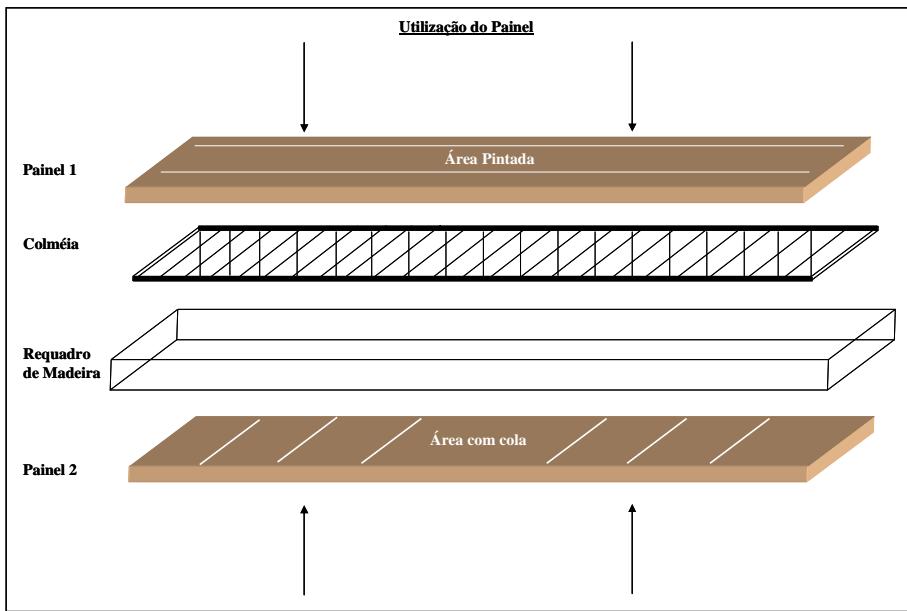


Figura 3: Utilização do Painel

Elaborado pelo autor

Embora a unidade de medida utilizada na Divisão Madeira para capacidade produtiva seja o m^3 , na linha de pintura, a unidade de medida utilizada é o m^2 , já que todos os painéis recebem acabamento em apenas um de seus lados e a espessura dos mesmos já foi aprovada na fase de processo anterior.

Outro ponto importante é o padrão de cor aplicado no painel. Os padrões são as cores aplicadas nas chapas. São cerca de setenta padrões diferentes divididos nos segmentos de produtos. Esses padrões são agrupados também conforme seu aspecto tenha ou não semelhança com a textura da madeira. Logo, os padrões são classificados como Madeirado ou Unicolor. Na figura 4, há exemplos de cada um dos grupos.

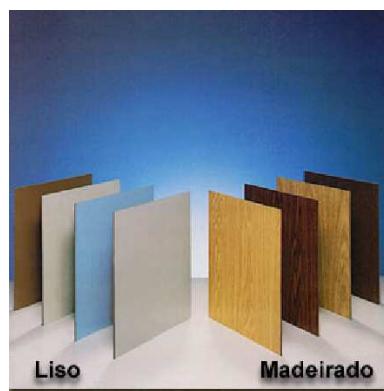


Figura 4: Padrão de cores aplicados nas chapas

Imagen fornecida pela empresa

No tabela 3, estão os padrões do segmento Divisória. São nove padrões disponíveis, sendo três deles madeirado e o restante unicolor.

Segmento Divisória	
Padrão	Produto Acabado
Cerejeira Juquei	Duraplac Madeirado
Mogno Bertioga	
African Sapeli	
Cristal	
Gelo	
Areia Jundiaí	Duraplac Unicolor
Areia Pérola	
Neve	
Cinza Cobalto	

Tabela 3: Segmento Divisória

Fonte: Base de dados da empresa

1.4.1 Características da Linha de Pintura

Instalada num galpão de 8,2 mil m² da unidade, o maquinário da linha de pintura está fixo no solo e não pode sofrer alterações de layout. No local, também estão abrigados o laboratório para controles e testes da qualidade, a área de utilidades (fornecimento de energia elétrica, ar comprimido, ar quente, ar frio, água e exaustão), a área para classificação dos produtos pelos operadores, o estoque de equipamentos (rolos de aplicação), duas áreas para estoque intermediário e os setores de embalagem e preparação de tintas.

A produção da linha é integrada à fábrica via sistema de gerenciamento. As ordens de produção são lançadas pelo supervisor de turno, vistoriadas pelo chefe de produção, e executadas em bateladas. Os programas devem atender os planos de produção definidos pela gerência em conjunto com as áreas comerciais. Assim como as outras partes fabris da unidade, a linha recebe suporte de outros departamentos: administrativo, de manutenção e qualidade.

Para fornecer a variedade de padrões, a linha deve ter um procedimento de preparação bastante eficiente, já que conta com setenta cores diferentes e um número elevado de trocas de tinta e preparação de máquinas que ocorre durante a produção. Os operadores são dedicados à manutenção da linha em atividade e têm capacidade de atuar em qualquer uma das máquinas caso existam pequenas reparações a serem feitas. O fornecimento de tintas é feito por um único fornecedor externo credenciado.

O trabalho utiliza como base de informações os dados do sistema de qualidade já existente na empresa. Este sistema recebe os dados via operador após cada contagem ou classificação. O sistema da qualidade é auditado por auditorias internas, executadas por funcionários da unidade, e por uma auditoria externa contratada semestralmente para verificação dos controles. Vale ressaltar que a linha de pintura é certificada pela NBR ISO 9001.

Outro aspecto importante para o trabalho é a classificação feita pelos classificadores da linha de pintura. Como o trabalho a ser executado é bastante suscetível ao erro humano, esses funcionários passam por um rigoroso processo de seleção no qual sua aptidão visual é avaliada e, caso sejam aprovados, devem passar por um longo período de treinamento com os classificadores mais experientes.

1.4.2 Limites

O estudo realizado e as ações de melhorias estão limitados a modificações no processo de produção do segmento Divisória na linha de pintura. Não será possível a troca de máquinas e equipamentos de produção, mas será escopo do projeto o ajuste das mesmas às novas necessidades, a readequação das exigências de entradas e de saídas do processo, o treinamento e modificação na forma de trabalho dos operários e, caso haja necessidade, alterações nos procedimentos de preparo da linha.

Modificações nas chapas geradas pelas linhas e que são matéria-prima para a pintura também estão fora dos limites do projeto, ou seja, a linha de pintura deve ser capaz e receber as chapas base dentro das especificações existentes e entregar o produto final com a qualidade exigida pelo cliente. No entanto, ajustes em determinadas fases de processo, anterior a linha de pintura, também poderão ser analisados desde que a gerência permita a atuação.

Os membros do grupo de trabalho criado não têm dedicação integral ao projeto. As atividades ocorrem em paralelo às suas rotinas diárias e, conforme necessário, os participantes devem apresentar as ações requisitadas nas reuniões.

1.5 Etapas do Trabalho

Este trabalho de conclusão está dividido em quatro capítulos:

Este capítulo consiste na introdução do trabalho, no qual são descritos a empresa, a unidade onde ele foi realizado, os produtos fabricados, as considerações e limites do projeto e o problema;

O segundo capítulo apresenta a pesquisa teórica feita para a realização do trabalho. O tema principal abordado é a metodologia do Seis Sigma e sua principal ferramenta, o DMAIC. Todas as demais ferramentas da qualidade utilizadas durante o trabalho também são mencionadas nesta parte, além da apresentação de uma aplicação real do DMAIC.

No terceiro capítulo, a teoria estudada é aplicada para solução do atual problema. Dentro da metodologia Seis Sigma, o DMAIC é utilizado como base estrutural do projeto;

No quarto capítulo, são feitas as considerações finais do trabalho, com as principais dificuldades e facilidades ocorridas e a sua conclusão.

Por fim, no último capítulo estão as referências bibliográficas pesquisadas pelo autor.

1.6 Vínculo entre Aluno e Empresa

A realização deste trabalho de formatura, em uma de suas unidades operacionais, foi permitida pela empresa Duratex S.A.. Durante a realização do trabalho, ocorreram visitas à unidade, nas quais o aluno participou de reuniões sobre do projeto com o grupo de trabalho formado. Além disso, informações foram obtidas por meio de entrevistas com os envolvidos no projeto e por meio do acompanhamento do processo produtivo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para o desenvolvimento do trabalho, o autor realizou uma pesquisa bibliográfica baseada em autores renomados como Mikel Harry. Além disso, foi analisado um caso real de aplicação da metodologia Seis Sigma e do DMAIC.

2.1 Seis Sigma

As organizações de sucesso entendem a variabilidade do processo e passam a controlá-la como forma de redução de falhas e aumento de confiabilidade, e isso é muito mais efetivo que simplesmente procurar eliminar defeitos. Ao trabalhar com a variabilidade, a metodologia Seis Sigma consegue resultados dificilmente atingidos por outras metodologias (ROTONDARO, 2002).

A metodologia Seis Sigma é uma estratégia que alinha os processos da empresa com as necessidades dos clientes com o objeto de aumentar a lucratividade dos proprietários. Para isso, uma estrutura lógica é seguida para a criação de processos robustos capazes de produzir produtos com variações controláveis. Esta metodologia busca não simplesmente eliminar os defeitos dos produtos, mas sim encontrar as verdadeiras causas e as eliminar para que esses problemas não voltem a ocorrer.

De maneira geral, os processos têm variáveis de entrada que geram variabilidade no produto final. A metodologia Seis Sigma busca caminhos que levem essas variações para um intervalo mínimo suficiente, de modo que não interfira nos intervalos aceitáveis para as variáveis de saída. Um processo não controlado gera produtos com confiabilidade baixa e que podem chegar até os clientes prejudicando o próprio consumidor, a imagem da empresa e também os lucros. Além disso, o retrabalho gerado aos funcionários torna a função desmotivante. A metodologia auxilia na construção ou na transformação de processos incapazes em processos geradores de produtos com qualidade.

O Seis Sigma originou-se dentro da Motorola na década de 80 e, desde então, foi aplicada em diversas empresas que obtiveram sucesso em sua adesão. Como descrito em Harry *apud* Rotondaro (2002a), segue alguns casos de sucesso da implantação da metodologia:

- A antiga gigante Allied Signal, atualmente Honeywell, que tinha faturamento superior a US\$ 14 bilhões e estava há alguns anos a beira da falência, iniciou em 1994 a

implementação do Seis Sigma e, de lá pra cá, reduziu seus custos em US\$ 2 bilhões e teve um crescimento, em 1998, de 12% e, no primeiro trimestre de 1999, de 14,1%;

- O presidente da General Electric, Jack Welch, descreve o programa Seis Sigma como a “mais importante iniciativa que a GE já empreendeu”. Só em 1999, a GE economizou mais de US\$ 1,5 bilhão por causa do programa;
- Somente em uma única planta da Asea Brown Boveri (ABB), nos Estados Unidos, tem sido gerada uma economia de cerca de US\$ 770 mil por ano com a aplicação do Seis Sigma;
- A Motorola estima que, em pouco mais de 10 anos, conseguiu economizar mais de US\$ 11 bilhões.

Esses são casos de sucesso que comprovam a importância da metodologia. No ambiente competitivo que as empresas estão inseridas, onde o foco está na lucratividade do negócio, a implementação do Seis Sigma na empresa pode se tornar fator determinante na continuidade da empresa.

Segundo Pande *et al.* (2001), há três níveis amplos de objetivos a serem alcançados de acordo com o grau de impacto que se deseja atingir na organização. A Tabela 4 (adaptada de Pande, *et al.*, 2001, p. 98) mostra as situações em que a metodologia pode ser aplicada, desde a solução de um problema até a mudança de cultura de toda uma empresa, ou seja, a implementação do conceito pode ser iniciada pela simples solução de um problema ou pela mudança de cultura liderada pelos alta cúpula da empresa.

Objetivo	Descrição
<i>Transformação do negócio</i>	Uma mudança importante em como a organização funciona (mudança cultural). Exemplos: -criar uma atitude focalizada no cliente -desenvolver maior flexibilidade -abandonar a antiga estrutura ou forma de fazer negócio
<i>Melhoria Estratégica</i>	Objetiva fraquezas ou oportunidades estratégicas fundamentais. Exemplos: -acelerar o desenvolvimento de produtos -intensificar eficiências de cadeia de suprimento -desenvolver capacidades de e-commerce
<i>Solução de problemas</i>	Determinar áreas específicas de altos custos, retrabalho ou atrasos. Exemplos: -diminuir o tempo de processamento de aplicações -reduzir falta de peças no oeste -diminuir montantes de contas a receber vencidas

Tabela 4: Aplicação da Metodologia Seis Sigma. (Pande, et al, 2001, p.98)

Conforme Pande, *et al* (2001), os tipos de “sucesso empresarial” que podem ser alcançados são amplos porque os benefícios comprovados do “sistema” Seis Sigma são diversos, incluindo:

- Redução de custos
- Melhoria de produtividade
- Crescimento de fatia de mercado
- Retenção de clientes
- Redução de tempo de ciclo
- Redução de defeitos
- Mudança cultural
- Desenvolvimento de produto/ serviço

O objetivo de se buscar um desempenho Seis Sigma é o de reduzir ou estreitar a variação a um tal grau, que seis sigmas – ou desvios-padrão de variação – possam ser comprimidos dentro dos limites definidos pelas especificações do cliente. Para muitos produtos, serviços e processos isto significa um enorme e tremendamente valioso grau de melhoria (PANDE, *et al.* 2001). Independentemente do objetivo a ser atingido, o importante é a determinação do mesmo e a forma de como será alcançado.

O Seis Sigma é aplicável a processos técnicos e não técnicos. Um processo de fabricação é visto como técnico. Nesse processo, temos entradas como: partes de peças, montagens, produtos, partes, matérias-primas que fisicamente fluem por meio do processo. A saída é normalmente um produto final, uma montagem ou uma submontagem. Em um processo técnico, o fluxo do produto é muito visível e tangível. Existem muitas oportunidades para a coleta de dados e medições e, em muitas instâncias, dados variáveis (SLACK *apud* ROTONDARO, 2002a).

2.2 DMAIC

Seis Sigma é uma metodologia rigorosa que utiliza ferramentas e métodos estatísticos para definir os problemas e situações a melhorar, medir para obter as informações e os dados, analisar a informação coletada, incorporar e empreender melhoria nos processos e, finalmente, controlar os processos ou produtos existentes, com a finalidade de alcançar etapas ótimas, o que por sua vez gerará um ciclo de melhoria contínua (ROTONDARO, 2002a). Essa citação ressalta um dos fundamentos do Seis Sigma, que é a estruturação lógica para a obtenção dos objetivos. As fases citadas fazem parte da ferramenta conhecida como DMAIC, que nada mais é do que as iniciais de cada fase.

Segundo Pande, *et al.* (2001), o DMAIC é um ciclo de melhorias de cinco fases (Defina, Meça, Analise, Melhore, Controle) muito comum em organizações Seis Sigma e assim como outros métodos de melhorias, este modelo originou-se do ciclo PDCA (Planeje-execute-verifique-Ações corretivas) de W.Edwards Deming. A Figura 5 (adaptada de Pande, *et al.*, 2001, p. 41) mostra os passos do ciclo para “melhoria de processo” e para “projeto/ reprojeto de processo”.

Essa ferramenta permite o encadeamento de tarefas de maneira lógica e evita a tomada de decisões precipitadas. Além disso, o ciclo apresenta uma seqüência de uso das ferramentas da qualidade de maneira interligada para um único objetivo.

	Melhoria de processo	Projeto/Reprojeto de Processo
Defina	Identifique o problema	Identifique problemas específicos ou amplos
	Defina os requisitos	Defina objetivo/ Mude a visão
	Estabeleça meta	Esclareça o escopo e as exigências
Meça	Valide problema/processo	Meça desempenho em relação às exigências
	Redefina problema/processo	
	Meça passos-chave/entradas	Colete dados sobre eficiência do processo
Analise	Desenvolva hipóteses causais	Identifique melhores práticas
	Identifique causas-raiz "poucas e vitais"	Avalie projeto do processo
	Valide hipóteses	Redefina exigências
Melhore	Desenvolva idéias para remover causas-raiz	Projete novo processo
	Teste soluções	
	Padronize solução/meça resultados	Implemente novos processos
Controle	Estabeleça medidas-padrão para manter desempenho	Estabeleça medidas e revisões para manter desempenho
	Corrija problema quando necessário	Corrija problema quando necessário

Figura 5: Processo de Melhoria Seis Sigma. (Adaptada de Pande, *et al.*, 2001, p. 41)

Em George, *et al.* (2005), há a citação de passos chave a serem seguidos em cada uma das fases da metodologia para o bom andamento do projeto. Na fase Definir, os pontos importantes são a definição das características do projeto (qual é o problema, qual impacto esperado, seu escopo e equipe formada), quais são os clientes do projeto, o processo estudado e os detalhes gerenciais, como por exemplo os participantes do grupo de trabalho.

Na fase Medir, os pontos chave citados são a identificação das variáveis importantes do projeto, a coleta de dados e a validação dos mesmos. Na etapa seguinte, os participantes devem analisar as medidas levantadas e com elas buscar as causas raiz do problema e suas relações com o mesmo. Os pontos principais da quarta etapa são o desenvolvimento de potenciais soluções, avaliar as melhores e testá-las antes de serem implementadas. Por fim, a função principal da fase de Controlar é monitorar e, com isso, manter as soluções aplicadas.

Conforme George, *et al.* (2005), as fases do DMAIC direcionam a equipe de projeto de maneira lógica desde a definição do problema até a implementação das soluções ligadas às causas e estabelece as melhores práticas que garantem a continuidade das soluções. O DMAIC pode ser aplicado em muitas situações, mas demanda tempo e custo das organizações. Por isso, deve ser analisado o custo benefício da utilização dessa ferramenta. Uma das partes chave da utilização da metodologia é o desenvolvimento, teste e melhora das soluções antes que elas sejam aplicadas. No entanto, caso a solução seja óvia, e os riscos de implementação para os clientes e para o processo forem baixos, pode-se ir direto a solução.

Dentro das cinco fases do DMAIC, diversas ferramentas são utilizadas. A seguir temos a descrição ou citação dos instrumentos encontrados na pesquisa teórica e utilizados no desenvolvimento do trabalho.

2.2.1 Definir

Segundo Rotondaro (2002b), nesta fase, deve-se apresentar o projeto, justificar o porquê do projeto, apresentar seus objetivos e metas e ainda os integrantes e suas funções. As limitações também são apresentadas juntamente com os prazos do projeto. As ferramentas comuns a essa fase são:

- SIPOC (PANDE, *et al.*, 2001)

SIPOC é o nome dado uma técnica que define os fornecedores de cada etapa do processo, as variáveis de entrada e de saída, e os seus clientes. O nome representa as iniciais de cada elemento da ferramenta.

Fornecedor (Supplier) – a pessoa ou grupo que fornece as informações-chave, materiais ou outros recursos para o processo.

Entrada (Input) – a coisa “fornecida”.

Processo (Process) – o conjunto de passos que transforma e, idealmente, agrega valor à Entrada.

Saída (Output) – o produto final do processo.

Cliente (Customer) – a pessoa, grupo ou processo que recebe a saída.

Segundo Rast (2006), esta é uma ferramenta bastante útil quando o gerente do projeto tem pouca experiência. As saídas (Y's) do diagrama são as medidas utilizadas para mensurar o projeto e as entradas (X's) permitem aos integrantes do projeto considerar diversas variáveis críticas potenciais do processo.

- Capacidade Sigma

Batizado com a letra grega sigma, que representa o desvio-padrão em notação estatística, os programas Seis Sigma costumam dar grande ênfase à utilização dessas ferramentas. O uso sistemático de ferramentas estatísticas nos projetos tem como objetivo reduzir a variabilidade até a obtenção da difícil meta de 3,4 defeitos por milhão (CARVALHO, 2002).

Segundo Carvalho (2002), o primeiro cálculo do índice é realizado na fase medir do DMAIC, após mapeamento do processo e definição de seus indicadores, antes de qualquer intervenção. Na fase controlar, o cálculo deve ser refeito para a verificação de ganhos com as melhorias do projeto.

Nakazaki (2003) apresenta, na fase Definir, a caracterização do problema, as necessidades dos clientes e os processos produtivos. Para o levantamento das necessidades, ele utilizou como fonte de informações as reclamações dos clientes. Na descrição do processo, ele utilizou fluxogramas como ferramenta de auxílio. Um exemplo de fluxograma pode ser visto na figura 6.



Figura 6: Fluxograma de Pré-Impressão (NAKAZAKI, 2003, p. 40)

Na pesquisa teórica realizada pelo autor, foram encontrados casos em que o fluxograma é utilizado na fase Definir e outros casos em que é utilizado na fase Medir. Para o presente trabalho, o fluxograma será utilizado na segunda fase do DMAIC.

2.2.2 Medir

Segundo Harry, *et al.* (2000), a fase Medir inclui a revisão dos sistemas de medidas e suas variáveis chaves. Companhias devem entender a natureza e propriedade da coleta de dados e relatórios. Elas devem pensar onde os erros de medidas podem ocorrer e qual seu impacto no sucesso do projeto. Além disso, as empresas devem estudar a freqüência com que os defeitos ocorrem e capacidade do processo de criar defeitos.

Nesta fase, são determinadas as principais medidas do projeto, a forma como elas serão coletadas e validadas, e a descrição do processo. As principais ferramentas utilizadas nessa fase são:

- Fluxograma (JURAN, 1988)

Símbolo	Atividade
	Transporte
	Operação
	Inspeção
	Espera
	Estoque

Figura 7: Símbolos para o Fluxograma

- Diagrama de Pareto (BRAZ, 2002)
- Diagrama de Causa e Efeito (Espinha de Peixe) (BRAZ, 2002)

Nos projetos de melhoria Seis Sigma, normalmente o resultado do processo que está em estudo é um problema que se quer eliminar, e então o diagrama é utilizado para o levantamento e a apresentação visual de suas possíveis causas e de seu relacionamento com o problema (BRAZ, 2002).

Conforme Rast (2006), uma outra forma de utilização do Diagrama Causa e Efeito ocorre na montagem do SIPOC. Para isso, substitui-se os 6M's da espinha de peixe pelas etapas do processo estudado, e na ponta do diagrama coloca-se as saídas do projeto. Dessa forma, obtém-se as variáveis de entrada críticas ao processo de maneira mais rápida.

- Diagrama de Afinidades (RAMOS, 2005b)

Na fase Medir, Nakazaki (2003) levantou os dados de não conformidade do processo estudado. Com os apontamentos, ele pôde montar um gráfico de acompanhamento de não conformidades e pôde calcular a pontuação sigma do processo. Por fim, foi apresentada uma análise dos principais modos de falha de seu processo através de um diagrama de pareto representado pelo Gráfico 4.

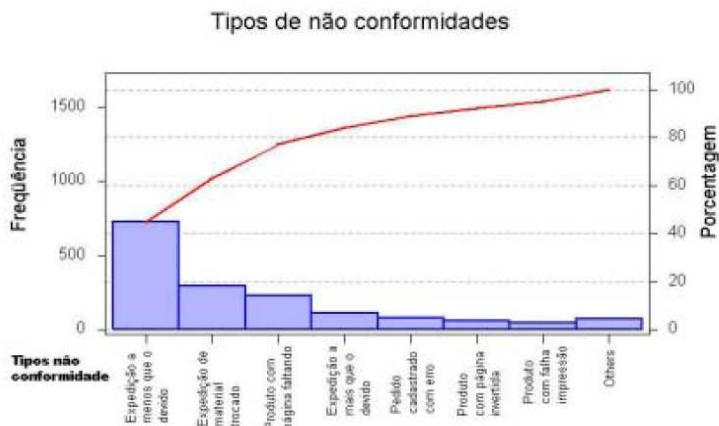


Gráfico 4: Tipos de Não Conformidades. (NAKAZAKI, 2003, p.47)

2.2.3 Analisar

Conforme Harry, *et al.* (2000), na etapa analisar, específicos métodos estatísticos e ferramentas isolam as partes das informações que são críticas e explicam o número de produtos defeituosos.

Os dados obtidos na fase anterior são analisados em busca das causas raiz e seus efeitos no problema. As ferramentas utilizadas nessa fase são:

- Matriz de Causa e Efeito (BERGAMO FILHO, 2003)

Segundo Bergamo Filho (2003), para a construção da matriz, define-se pesos para as variáveis de saída conforme sua importância. Em seguida, os integrantes da discussão, atribuem notas as variáveis de entrada de acordo com o efeito causado na variável de saída. As notas podem ser 0,1,3 e 9, sendo o último de maior importância. Para cada variável de entrada, os produtos obtidos pela multiplicação entre nota atribuída e importância da variável de saída são somados.

- FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis* ou Análise do Modo e do Efeito de Falha) (BRAZ, 2002)

Na terceira fase da metodologia, Nakazaki (2003) identifica as principais causas dos problemas utilizando as seguintes ferramentas: Espinhas de peixe, Matriz de Causa e efeito e FMEA. O ponto interessante dessa análise foi o relacionamento estabelecido entre as ferramentas da qualidade citadas. O resultado da análise é representado por um FMEA de processos ilustrado Figura 8.

Função do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	S E V E R I D A D E	Causa(s) e mecanismo(s) Potencial(is)	O C O R R E N C I A	Controles atuais do Processo	D E T E C Ç Ã O	N P R	Ações Preventivas Recomendadas			Responsabilidade pela ação recomendada e prazo	Resultado das Ações			
									Ações Tomadas				O C E D	D E T E C	N P R	
									Data Efetiva	-	-		-	-	-	
Impressão	Folhas ou capas sem impressão	Produto fora da conformidade	10	1) Desregulagem do dispositivo de controle de alimentação de folhas da impressora 2) Uso descontrolado das "malas" no processo 3) Qualidade do papel afetada pela umidade do estoque 4) Desatenção dos operadores no início do lote de produção 5) Falta de um funcionário auxiliar nas impressoras P&B	2	Inspecção do operador das impressoras	9	180	1) Manutenção do dispositivo de controle do número de folhas 2) Diferenciação das folhas usadas como "malas" 3) Melhoria das condições do estoque de papel e reforma do telhado do galpão; 4) Padrronização do uso das "malas" e inspeção mais cuidadosa no início do lote 5) Alocação de um funcionário de suporte aos operadores das impressoras (P&B)	1) Encarregado de manutenção da gráfica 2) Encarregado de produção e Operadores de impressão 3) Encarregado de manutenção da empresa 4) Encarregado de produção e engenheiro de produção 5) Encarregado de produção						

Figura 8: FMEA para o Setor de Impressão (NAKAZAKI, 2003, p. 71)

2.2.4 Incrementar

A partir das análises realizadas, são propostas alternativas de solução para o problema. Nessa fase, defini-se de acordo com os benefícios e custos esperados, quais as soluções que serão testadas e implementadas. Uma das ferramentas utilizadas nessa fase é a análise de Viabilidade econômica.

- Análise de Viabilidade econômica (ASSAF *apud* ROTONDARO, 2002b, p.45)

$$VAL = \sum_{k=0}^{k=n} V_k * \left(\frac{(1+i)^k - 1}{(1+i)^k * i} \right)$$

Fórmula 1: Valor Atual Líquido

Onde:

n = número de períodos do horizonte.

V_k = cada um dos diversos valores envolvidos no fluxo de caixa que ocorrem em n.

i = taxa de investimento ou taxa atrativa mínima.

Em Rotondaro (2002b), temos que o VAL (Valor Atual Líquido) pode receber as seguintes interpretações:

- Se $VAL > 0$, o projeto é viável e deve ser aceito;
- Se $VAL < 0$, o projeto deve ser rejeitado;
- Se $VAL = 0$, o projeto suporta a taxa atrativa mínima e não gera rentabilidade superior a ela;

O VAL depende da taxa atrativa mínima ou de custo de capital alternativo de oportunidade.

Nakazaki (2003) utiliza os valores de NPR definidos no FMEA para a priorização das medidas tomadas. Após o estudo de todas elas, é elaborado um cálculo de VAL para análise a viabilidade econômica de uma das soluções. O resultado desse cálculo, representado pela Figura 9, é um exemplo de aplicação do cálculo do VAL.

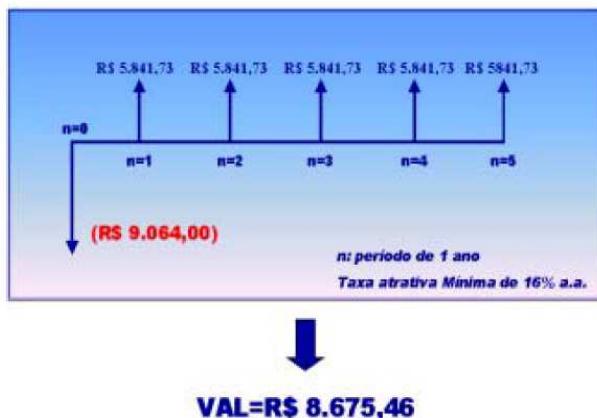


Figura 9: Estudo de Viabilidade Econômica.
 (NAKAZAKI, 2003, p. 83)

2.2.5 Controlar

Segundo Harry, *et al.* (2000), nesta fase, a continua monitoração do processo garante que os problemas iniciais não ocorram novamente. Dados são estabelecidos para acompanhar o processo após as melhorias serem implantadas.

- Gráfico Linear (RAMOS, 2005a)

Uma das propostas indicadas por Nakazaki (2003) é a criação de um gráfico com a evolução dos dados de não conformidade para acompanhar o processo estudado. Este gráfico permite que os funcionários percebam um problema antecipadamente e atuem no processo o mais rápido possível. O gráfico 5 é um exemplo da utilização de gráficos lineares para o monitoramento de processos. Outras ações indicadas são o recálculo da pontuação sigma do processo, após implementação das melhorias, e a construção de um novo FMEA para verificar os resultados obtidos através dos valores de NPR.



Gráfico 5: Quantidade de Produtos em Não Conformidade. (NAKAZAKI, 2003, p.88)

3 APLICAÇÃO DO MODELO

Neste capítulo, a teoria estudada e exposta na revisão bibliográfica é aplicada para a solução do problema apresentado ao aluno. A aplicação ocorreu no projeto de melhoria do processo de pintura de painéis de madeira reconstituída. A abordagem ocorre por meio das cinco fases do DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar).

3.1 Definir

A primeira fase do DMAIC apresenta um resumo do projeto, os principais interessados no seu sucesso, o impacto esperado dentro da empresa e as características da equipe formada. Além disso, as necessidades dos clientes em relação ao projeto são apresentadas, assim como, os limites de atuação no processo revelados pelo SIPOC.

3.1.1 Projeto

O projeto tem como objetivo reduzir a variabilidade no processo de pintura de produtos destinados ao segmento Divisória utilizando a metodologia Seis Sigma e sua ferramenta, o DMAIC. Dessa forma, espera-se, no término do projeto, manter o processo sob controle, reduzir o número de produtos defeituosos neste segmento, elevar os índices de qualidade da empresa e diminuir os custos com perdas.

O principal objetivo do projeto é elevar o índice de qualidade do processo de pintura dos painéis destinados ao segmento Divisória de 92% para 97%. O projeto também buscará alternativas para que, uma vez alcançado, este número seja mantido após o encerramento do trabalho.

A oportunidade de realização decorreu da transferência do processo de pintura de produtos com nível de qualidade superior aos existentes na unidade. Esta mudança ocorreu por uma decisão estratégica da empresa em desativar umas de suas unidades e, para não perder mercado, a produção foi transferida para as outras fábricas da empresa.

Os produtos do segmento Divisória são expostos visualmente aos usuários do ambiente onde o material foi instalado e isso exige qualidade de pintura maior do que os painéis usados em fundos de gavetas, por exemplo. Ao iniciar a pintura dos painéis de madeira com destino a este segmento, os índices de qualidade do processo de pintura caíram para níveis muito

custosos para empresa. Diante dessa situação, foi montado um grupo de trabalho para a solução do problema com a utilização da metodologia Seis Sigma apresentada pelo autor.

A urgência em atender a demanda dos clientes pelo produto gera na empresa a necessidade de se alcançar os objetivos com o menor prejuízo aos clientes e aos acionistas. Com isso, foi criado, para o desenvolvimento do projeto, um grupo de trabalho com pessoas de diferentes cargos na empresa e com diferentes características técnicas, além da participação do aluno e do auxílio do orientador. Os participantes e suas funções no projeto foram definidos pelo chefe de produção de produtos acabados. A Tabela 5 mostra os cargos de cada um dos integrantes do grupo, as áreas às quais eles pertencem e as fases de atuação do DMAIC.

Área	Cargo	Definir	Medir	Analizar	Melhorar	Controlar
Linha de Pintura	Chefe de Produção	x	x	x	x	x
	Supervisor	x	x	x	x	x
	Operador de Empilhadeira			x		
	Operador de Produção			x	x	x
	Classificador			x		
	Colorista			x		
Manutenção	Mecânico			x	x	
	Eletricista			x	x	
Qualidade	Analista		x	x		x
Apóio	Aluno	x	x	x	x	x
	Professor Orientador	x	x	x	x	x

Tabela 5: Cargos de Trabalho
Elaborado pelo autor

A gerência da unidade definiu como meta do trabalho elevar a capacidade sigma do processo de 2,94 para 3,38, em seis meses de trabalho. Com a meta atingida, os níveis de qualidade da produção desses produtos superam os indicadores atuais da unidade de Botucatu e dos números antes obtidos na produção em Jundiaí. O cálculo do sigma nunca havia sido utilizado na fábrica, e foi um conceito introduzido pelo autor neste projeto.

- Capacidade Seis Sigma atual: 2,94
- Meta do trabalho: 3,38

3.1.2 Benefícios do Trabalho

Independentemente da quantidade de produtos defeituosos, a unidade atende aos pedidos determinados pela área de PCP (Planejamento e Controle da Produção). Com isso, a unidade é obrigada a pintar um número maior de chapas para conseguir ofertar o mesmo que produzido por Jundiaí.

A linha de pintura expede por mês, em média, 617.000 m² de produtos Divisória. Com o índice de qualidade em 92%, a linha tem que produzir cerca de 670.000 m² de chapas para atender esta demanda. Com a meta de 97%, a produção necessária cai para aproximadamente 636.000 m². Visto que o custo por m² no processo de pintura desse segmento é de R\$ 2,50, a economia mensal esperada é de R\$ 86.000. Como cerca de 60% das chapas reprovadas são vendidas para outros segmentos com qualidade adequada a um outro uso e a um preço menor, os valores dessas vendas devem ser descontados na economia total. Sendo o preço médio dessas vendas de R\$ 1,40 por m², o valor da economia mensal esperada passa a ser, aproximadamente, R\$ 57.000,00.

Economia mensal esperada: R\$ 57.000,00

3.1.3 Cliente

Os clientes dos painéis, de madeira reconstituída, estudados no projeto são indústrias moveleiras que utilizam esses produtos como matéria prima em seus processos. Quem atende às exigências dos clientes dentro da fábrica é a área de qualidade. Neste setor, são definidos os padrões de produtos e as necessidades dos mesmos na linha produtiva. É também a área qualidade que realiza auditoria nos processos atuais a fim de evitar problemas.

Embora a responsabilidade de produzir dentro das especificações seja da própria equipe de produção, é o departamento de qualidade que fornece os padrões e controla as características dos produtos. Este setor é o representante do cliente externo dentro da fábrica, já que atende às necessidades dos clientes através da execução de procedimentos de processo e de produto. Isso credencia a área de qualidade como cliente interno do processo de pintura e, também do projeto, pois ela julga o atendimento a essas necessidades.

Em reunião com o grupo de trabalho foram levantados os principais pontos esperados do projeto e, com isso, foram definidos os seguintes requisitos chaves:

- Conformidade dos produtos

- Produtividade do processo
- Processo com variabilidade reduzida e controlada
- Redução do custo com perdas

A variável de saída que trouxe destaque ao problema foi a quantidade elevada de produtos não conformes, tanto nas variáveis tecnológicas (dureza, resistência, umidade) como nos aspectos visuais dos produtos, o que derrubava os índices de qualidade do processo. No entanto, os outros requisitos não podem ser esquecidos, pois também são pontos importantes na tomada de decisões e são diretamente influenciados pela quantidade de produtos não conformes.

3.1.4 SIPOC

Para a construção do SIPOC, diagrama que exemplifica as macro fases do processo, foi criado uma espinha de peixe (Figura 10), na qual os integrantes do grupo participantes dessa fase, realizaram um *brainstorming* e indicaram as variáveis de entrada do processo que interferem na conformidade ou não do produto final.

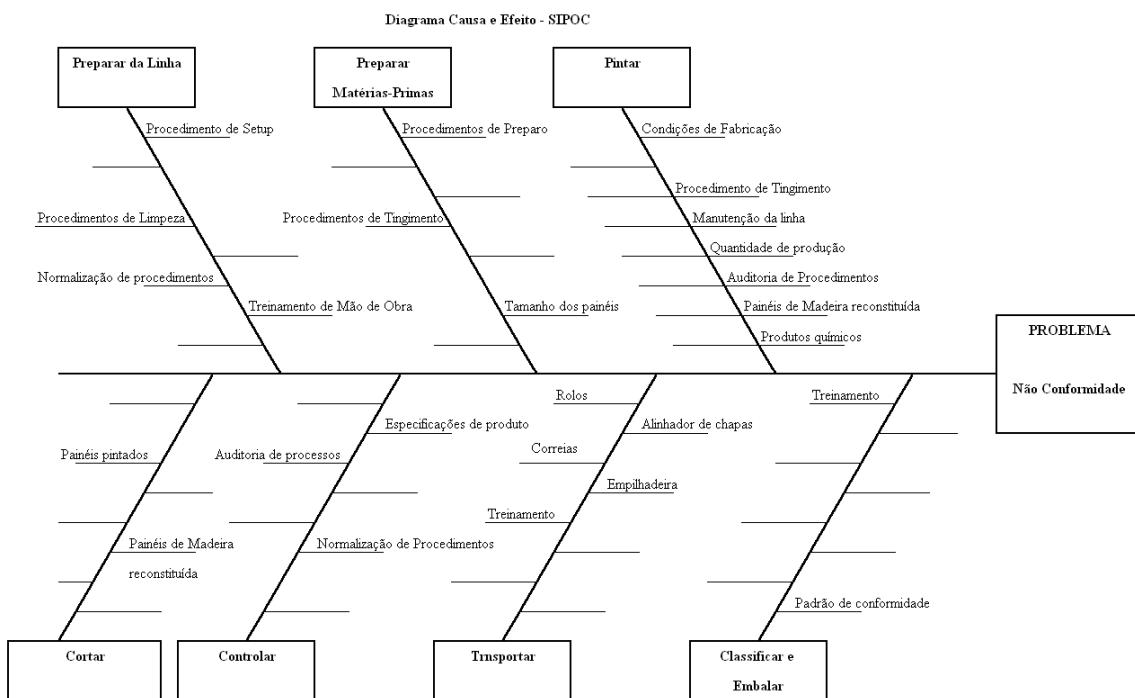


Figura 10: Espinha de Peixe SIPOC
Elaborado pelo autor

Definidas as principais variáveis de entrada, elas foram alocadas de acordo com a etapa de processo e relacionados com seus fornecedores, suas saídas e clientes finais. A Tabela 6 mostra o SIPOC do processo.

Fornecedor (S)	Entradas (I)	Etapa do Processo (P)	Saídas (O)	Clientes (C)
Produção	Treinamento Mão de Obra	Preparar Linha	Tempo de Preparo	Gerência
	Procedimentos de Limpeza		Dentro das especificações	Produção
	Procedimentos de Setup			
Qualidade	Normalização de procedimentos			
Produção	Procedimentos de Preparo	Preparar Matérias-Primas	Materiais dentro das especificações	Linha de Pintura
	Procedimento de Tingimento		Tempo de preparo	Gerência
Linhos de Fabricação	Tamanho dos Painéis de Madeira reconstituída			
Supervisor	Condições de fabricação	Pintar	Painéis Pintados dentro das especificações	Classificação
Colorista	Procedimento de tingimento Produtos químicos		Produtos químicos + água	Fornecedores
Instalações	Manutenção da Linha		Resto de madeira	Caldeira
PCP	Quantidade de produção		Produtividade da linha	Gerência
Qualidade	Auditoria de procedimentos			
Linhos de Fabricação	Painéis de Madeira reconstituída			
Qualidade	Auditoria de processos	Controlar	Processo padronizado e controlado	Gerência
	Normalização de Procedimentos		Produtos conformes	Cliente
	Especificações do produto			
Instalações	Roleis	Transportar	Material sem danificações	Linha de Pintura
	Alinhador de chapas		Tempo de entrega	Gerência
	Correias			
Produção	Empilhadeiras			
	Treinamento de Mão de Obra			
Produção	Treinamento de Mão de Obra	Classificar e Embalar	Painéis aprovados e embalados	Expedição
Qualidade	Padrão de conformidade			
Linha de Pintura	Painéis Pintados	Cortar	Painéis cortados	Classificação
Linhos de Produção	Painéis de Madeira reconstituída			Linha de Pintura

Tabela 6: SIPOC
Elaborado pelo autor

3.2 Medir

Na etapa Medir do DMAIC, as fases do processo produtivo relacionadas ao projeto são descritas, assim como, seu fluxograma é apresentado. Dados relacionados aos requisitos dos clientes foram coletados e com eles, foi possível realizar o cálculo do Sigma atual do processo e a evolução do número de produtos não conformes.

3.2.1 Descrição do Processo

A descrição do processo feita pelo aluno enfatizou a pintura do segmento abordado, portanto, os detalhes apresentados referem-se somente ao processo de acabamento do segmento Divisória. No entanto, a maioria das fases descritas também ocorre no acabamento dos outros produtos.

3.2.1.1 *Preparo da Linha de Pintura*

A linha de pintura é preparada para cada tipo de padrão a ser pintado. Nesse processo de *setup*, ocorre a limpeza das máquinas e o ajuste das mesmas para o recebimento de um novo lote de produção. A seqüência de padrões a serem pintados na linha, segue das cores mais claras para as mais escuras.

Algumas máquinas, como a aplicadora de tinta, recebem o ajuste durante a pintura do padrão anterior. Como têm duas unidades de trabalho, enquanto uma unidade da aplicadora trabalha, a unidade paralela é preparada ao lado da linha. A movimentação das unidades de aplicação ocorre por trilhos. O trabalho é realizado pelos próprios operadores de produção, seguindo os procedimentos estabelecidos. Além do procedimento de *setup*, a produção na linha de pintura é parada regularmente para que a mesma receba a manutenção e o procedimento de limpeza.

Enquanto a unidade de Jundiaí operava, a linha de pintura de Botucatu estava ociosa e, com isso, os operadores realizavam o procedimento de limpeza uma vez por semana. Após a transferência de produção, a linha passou a receber esse procedimento somente uma vez ao mês.

3.2.1.2 Preparo de Materiais

- Produtos químicos

No mesmo galpão da linha de pintura, há uma área de preparo de tintas e de armazenagem em estruturas metálicas tipo porta páletes. Neste local, tintas, vernizes e pigmentos são preparados mediante especificações determinadas pelas equipes técnica e da qualidade. A tinta utilizada é do tipo base d'água diferente da usada no processo em Jundiaí, cuja tinta base solvente aumentava os riscos ambientais e proporcionava um ambiente de trabalho prejudicial à saúde dos funcionários.

Na preparação, as tintas são agitadas para o acerto de viscosidade e de pigmentação. A avaliação da cor pode ser feita a olho nu ou por meio do colorímetro (para chapas tipo unicolor), equipamento que quantifica as cores da tinta, ou pela comparação entre chapas modelo e uma chapa pintada com a cor de teste (para chapas tipo madeirado). Na comparação entre chapas, são utilizadas cabines de cor. Tanto as cabines como os colorímetros são controlados por um sistema de confiabilidade metrológica.

- Chapas

Na última parte no processo das linhas de fabricação, as chapas podem ser cortadas, umedecidas e lixadas, dependendo do destino delas. No caso dos painéis fornecidos ao processo de pintura para o segmento Divisória, essas fases são etapas necessárias antes do transporte para o armazém 1.

3.2.1.3 Etapas da Linha de Pintura

As chapas são introduzidas na linha automaticamente pela carregadora que separa uma a uma para a alimentação. As chapas então recebem um jato de ar e são escovadas para limpeza de impurezas. Em seguida, ocorrem aplicações de diversas camadas de produtos químicos, entre eles, seladores, tie-coat, tintas e verniz, seguidos de um processo de secagem. A aplicação de tinta ocorre através de contato de rolos aplicadores. Quando a chapa é do tipo madeirado, ela deverá também passar pela gravadora que tem como função a impressão de padrões que imitam madeiras nobres como mogno, cerejeira, carvalho e outras. Na pintura de padrões do tipo unicolor, a gravadora é desativada. A secagem ocorre em estufas com ar quente, com radiação infravermelha ou por radiação ultravioleta, quando na aplicação de verniz. Na Tabela 7, há a descrição de cada uma das fases da linha de pintura.

Embora a linha de pintura tenha a maior parte de seu funcionamento de modo automático, a dependência humana continua existindo e, com isso, a variabilidade nos processos por conta das diferenças entre indivíduos é inevitável.

Etapa	Descrição
Carregadora automática	Unidade de alimentação automática abastecida por empilhadeiras Inseri as chapas na linha de pintura, uma a uma, por sistema de ventosas Há também uma barreira utilizada para evitar a passagem de mais de uma chapa para linha
Estação de escovamento de chapas	Retirada de pó da superfície e do verso das chapas por meio de escovas rotativas A escova serve para limpar a chapa e, com isso, retirar o pó ou sujeiras em cima delas
Espatuladeira	Aplicação de tie-coat com a finalidade de melhorar a fixação e ancoragem das demais camadas de tinta que serão aplicadas
Túnel Infravermelho	Processo de secagem do tie-coat por radiação infravermelha
2º Estação de escovamento de chapas	Após a aplicação do tie-coat as chapas são novamente escovadas
Seladora	Aplicação de selador (cola + água) no lado inferior das chapas a fim de evitar a contaminação da tinta por resíduos do processo anterior
Estação aplicadora de tinta	Aplicação de tinta nos padrões determinados São sete unidades de aplicação, com três rolos independentes (transporte, dosador e aplicador de tinta) As unidades são preparadas para <i>setup</i> rápido por meio de trilhos e rodas motorizadas
Túnel de secagem de tinta por ar quente (estufa)	Quatro túneis na linha responsáveis pelo processo de secagem para a cura do filme de tinta aplicado sobre a chapa
Estação de Impressão (Gravadoras)	Fase exclusiva para padrões Madeirados Impressão realizada por cilindros de aço, rolo aplicador e rolo inferior de suporte
Aplicadora de Verniz	Aplicação de verniz como acabamento superficial e proteção Oferece diferentes níveis de brilho
Túnel de secagem	Secagem do verniz (cura) por radiação ultravioleta
Túnel de resfriamento	Resfriamento por ar frio para diminuição da temperatura da chapa após o processo de cura do verniz Utiliza-se circulação de água gelada e sistema de ventilação forçada
Descarregadora	Com três estações de saída, as chapas são retiradas por empilhadeiras

Tabela 7: Linha de Pintura – Descrição das Fases
Elaborada pelo autor

3.2.1.4 Controle da Qualidade

O controle da linha é realizado por inspeções feitas pela área da qualidade, assim como todas outras áreas da empresa. O trabalho é feito pelos analistas e auditores de acordo com os manuais de auditoria da empresa e os planos de amostragem baseados na norma *militar Standard*.

3.2.1.5 Transporte de Materiais

Tanto as chapas base, como as chapas embaladas são movimentadas em pacotes, com aproximadamente uma tonelada, por empilhadeiras. Essas máquinas são dirigidas por operadores treinados e dedicados exclusivamente a essa atividade.

Na alimentação da linha, os pacotes são desamarrados e inseridos na carregadora automática, que inicia a produção. Na linha em si, as chapas são transportadas por rolos e correias com controle de velocidade e alinhamento. Ao final da linha, é possível o direcionamento das chapas para três estações de descarregamento, sendo duas estações para chapas aprovadas e uma para chapas reprovadas. Por fim, a descarregadora empilha as chapas pintadas que são retiradas pela empilhadeira.

3.2.1.6 Classificação e Embalagem

Os setores de qualidade e de produção são independentes. Os classificadores pertencem à linha de produção e são responsáveis pela qualidade do produto. Já os analistas da qualidade fazem o monitoramento de todo o processo, desde a entrada de madeira até a expedição do produto final para o cliente. O monitoramento é feito através de inspeções e amostragens conforme Plano de Amostragem de Produtos da unidade.

Há duas classificações no processo inteiro. A primeira delas ocorre ainda na linha de pintura, antes dos painéis serem direcionados a descarregadora. O classificador direciona os produtos para três estações diferentes de saída. A primeira e segunda estação recebem painéis pré-aprovados, já a terceira, recebe painéis reprovados para o segmento Divisória, mas úteis para outros clientes com preço inferior, e painéis descartados destinados a caldeira.

A segunda classificação ocorre no setor próprio de classificação, antes da embalagem. Os classificadores separam os painéis aprovados dos reprovados e anotam em formulários os defeitos da chapa. Com essas folhas em mãos, os próprios classificadores apontam as informações no sistema da empresa e entregam os formulários aos analistas da qualidade que

alimentam uma base de dados em planilhas eletrônicas como *backup* das informações do sistema. As informações da pré-classificação são inseridas no sistema da mesma maneira.

3.2.1.7 Corte

Na produção de painéis para o segmento Divisória, a Linha de pintura é abastecida pelas linhas I, II e III, com chapas de fibra (Duratree) numa participação no volume total de 64%, 13% e 23%, respectivamente. Essas chapas são fabricadas em tamanhos diferentes, pois cada uma das linhas de fabricação tem tamanhos de prensa diferentes. A Figura 11 mostra os tamanhos das chapas produzidas por cada linha em mm.

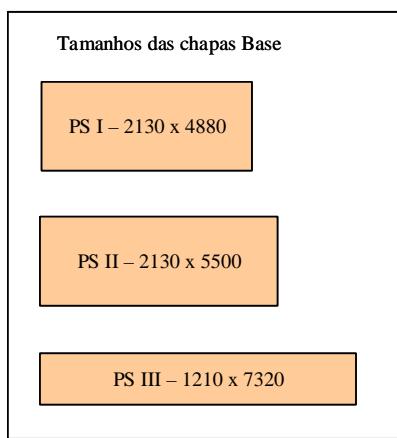


Figura 11: Tamanho das Chapas (sem escala)
Elaborado pelo autor

A linha de pintura de Botucatu tem capacidade de pintar chapas largas, até a largura máxima de 2140 mm, sendo uma vantagem competitiva, pois a produtividade da pintura é maior quanto maior for a área pintada. A pintura de chapas das linhas I e II pode ser realizada com chapas inteiras, ou seja, sem a necessidade do corte.

No entanto, a carregadora da linha de Botucatu é capaz de receber chapas com comprimento máximo de 5500 mm, o que exige o corte dos painéis fornecidos pela linha III antes de entrarem na carregadora, já que estes têm comprimento de 7320 mm.

Vale ressaltar que a espessura das chapas é a mesma para produtos do segmento do Divisória, independentemente, da linha de origem.

3.2.2 Fluxograma

O fluxograma para o segmento Divisória é diferenciado para cada grupo de padrões (madeirado e unicolor). No madeirado, como o sentido da aplicação do rolo exige que a chapa

seja cortada antes de entrar na linha de pintura, há um fluxo diferente do unicolor. Neste caso, as chapas são transportadas para a linha de pintura antes e, então, levadas para a área de corte. Antes da linha de pintura, há um estoque intermediário onde as chapas aguardam o momento de serem inseridas na linha pelos operadores.

Quando os dois grupos de chapas já foram cortados e pintados, o fluxograma passa a ser o mesmo, ou seja, as chapas ficam no estoque intermediário em espera para serem classificadas. As chapas aprovadas pelos classificadores são embaladas em pacotes e, em seguida, levadas ao estoque de produtos acabados.

A inspeção dos produtos ocorre no estoque de produtos acabados, por um analista da qualidade, que seleciona uma amostra dos pacotes de chapas aprovadas e realiza, por meio de um plano de amostragem, a inspeção.

As chapas defeituosas, sem aproveitamento em outros segmentos, e os restos de madeira existentes do processo são levados para a caldeira e transformados em energia para o processo. Chapas defeituosas para o segmento Divisória, mas boas para outros segmentos são vendidas a um preço menor. A figura 12 mostra o fluxograma para o segmento Divisória.

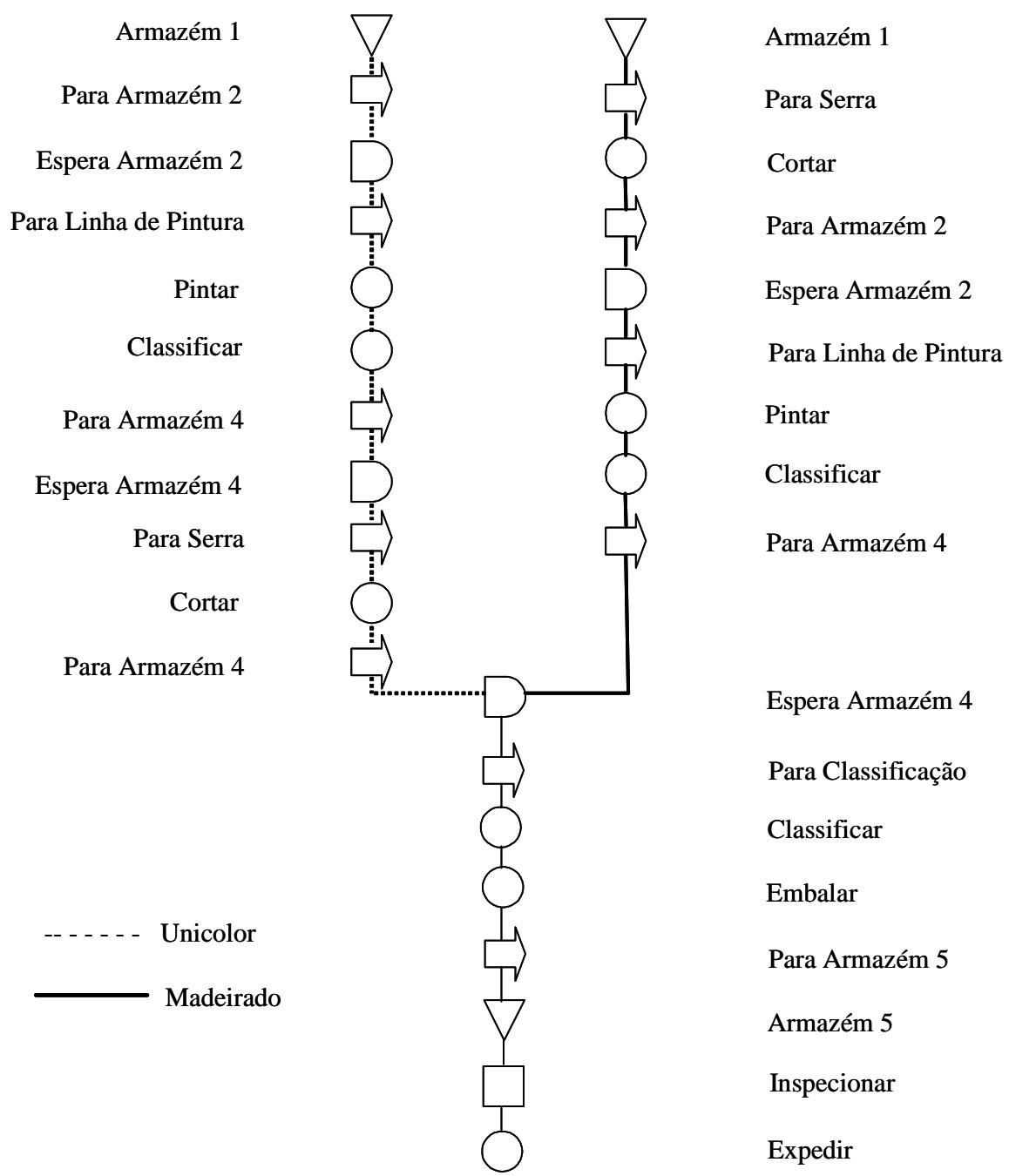


Figura 12: Fluxograma – Divisória
Elaborado pelo autor

3.2.3 Indicadores do Projeto

Após o estudo do processo, o próximo passo é a definição dos parâmetros a serem utilizados durante o projeto. A linha de pintura tem como indicadores o índice de chapas não conformes e índice de produtividade. Além disso, neste projeto há também o índice de capacidade Seis Sigma.

O primeiro avalia o número de produtos defeituosos do processo, já o segundo avalia quantas chapas são produzidas em um determinado tempo. A razão de existência do projeto é o nível atingido pelo primeiro índice, que está acima do desejável pela gerência. O terceiro indicador mede a confiabilidade do processo.

Os requisitos chave do processo definidos na fase anterior e o tipo de bases de dados da empresa foram determinantes para a escolha do número de não conformidade como saída chave do projeto.

$$Y = \text{índice de não conformidade}$$

O índice de não conformidade é a razão entre número de chapas defeituosas por número total de chapas pintadas, lembrando que, painéis vendidos para outros segmentos, por causa de defeitos, são considerados falhas de processo.

Esta variável tem relação direta com os custos da linha de pintura e relação inversa aos índices de produtividade. Com o aumento dessa variável, o custo de produção aumenta e o índice de produtividade diminui. Além disso, é uma informação disponibilizada pelo sistema de informações da empresa.

3.2.3.1 Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada na base de dados da própria unidade. Nesta base, há o número de chapas aprovadas, vendidas para outros segmentos e descartadas. Existem ainda os apontamentos realizados pelos classificadores que indicam quais foram os efeitos indesejáveis encontrados em cada produto reprovado.

A unidade conta com um sistema de rastreabilidade de produtos que permite identificar a partir das prensas formadoras de chapas quais foram as condições de processo de cada produto. Caso as chapas sejam aprovadas, as etiquetas são coladas no armazém de produtos

acabados. Com isso, é possível associar os produtos finais aprovados com os dados de processo utilizados em sua produção.

3.2.3.2 Validação dos Dados

Os dados de entrada do processo são garantidos pelos sistemas de controle das próprias máquinas. Por outro lado, os dados de saída são oriundos de inspeções humanas sujeitas à variabilidade. Por isso, existem na unidade sistemas de classificação dos operadores e treinamentos periódicos para os mesmos a fim de verificar sua aptidão para o exercício de tais funções.

Além dos sistemas de classificação, são feitas amostragens nos produtos acabados que trazem maior confiabilidade aos dados obtidos.

3.2.3.3 Gráfico do Índice de Não Conformidade

Como principal indicador do projeto, o número de não conformidades foi o dado de saída escolhido para ser o direcionador de ações do trabalho. Como base de dados, foi utilizado o próprio sistema da qualidade, no qual constam todas as medições realizadas na unidade. Com esta base foi possível levantar o número de painéis defeituosos ocorridos durante toda a produção do Segmento Divisória em Botucatu nos três primeiros meses de 2009.

Vale ressaltar, que no cálculo desse indicador foram considerados produtos aprovados somente aqueles que foram vendidos para o segmento abordado no presente trabalho. Painéis vendidos para outros segmentos foram considerados produtos defeituosos. O Gráfico 6 exibe a evolução do índice de não conformidade por quinzena dos três primeiros meses de 2009 e a última barra indica o número médio de não conformidades no período.

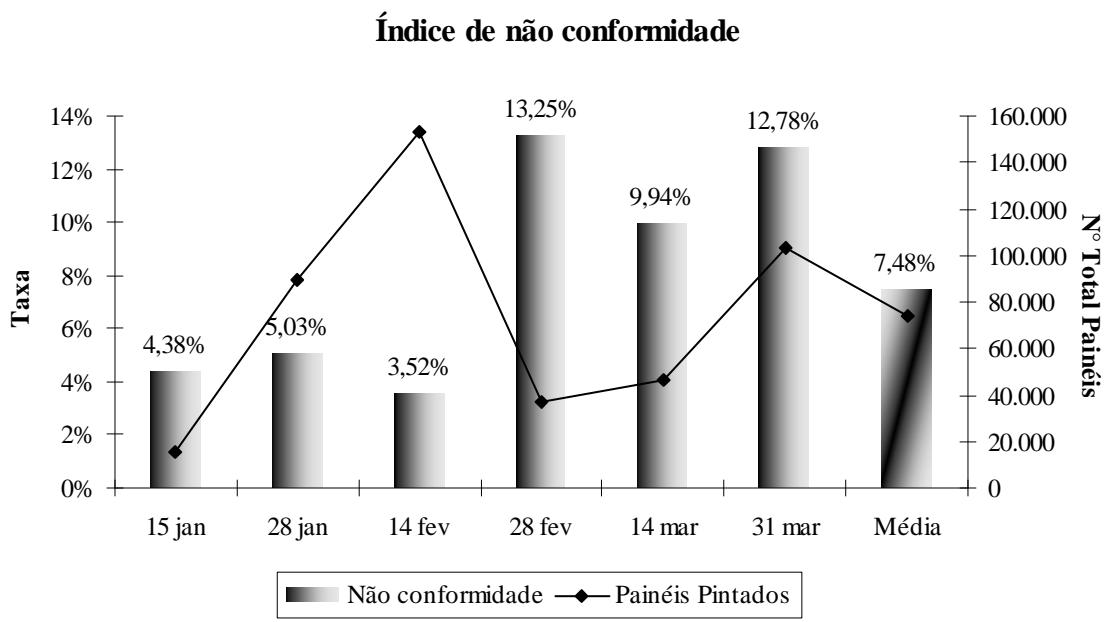


Gráfico 6: Índice de Não Conformidade

3.2.3.4 Capacidade Seis Sigma do Processo

Embora não seja o principal indicador do projeto, a capacidade Seis Sigma será acompanhada pelo autor como alternativa ao índice de não conformidade.

Com a mesma base de dados do indicador de produtos não conformes, foi calculado o Sigma atual do processo que é utilizado como parâmetro alternativo para as metas do trabalho. A Tabela 8 mostra o cálculo efetuado. Para a determinação da pontuação sigma, a tabela de Conversão Seis Sigma (PANDE, et al. 2001) foi consultada.

Cálculo do Desempenho Atual	
Período	Janeiro/2009 a Março/2009
Produtos Pintados	446.061
Produtos Aprovados	412.709
Rendimento	92,52%
Pontuação Sigma	$\approx 2,94\sigma$

Tabela 8: Cálculo do Desempenho Atual

Elaborado pelo autor

3.3 Analisar

Na fase analisar, o principal objetivo é encontrar as verdadeiras causas do problema estudado. A partir dos dados coletados, análises foram feitas utilizando as seguintes ferramentas:

Diagrama de Pareto, Espinhas de peixe, Matriz causa e efeito, Diagrama de afinidades e FMEA.

Na mesma base de dados utilizada para o levantamento de produtos não conformes, é possível identificar os tipos de defeitos apontados. Com essas informações, o autor elaborou um Diagrama de Pareto que seleciona quais são os principais modos de falhas encontrados no produto final. O Gráfico 7 mostra esses dados.

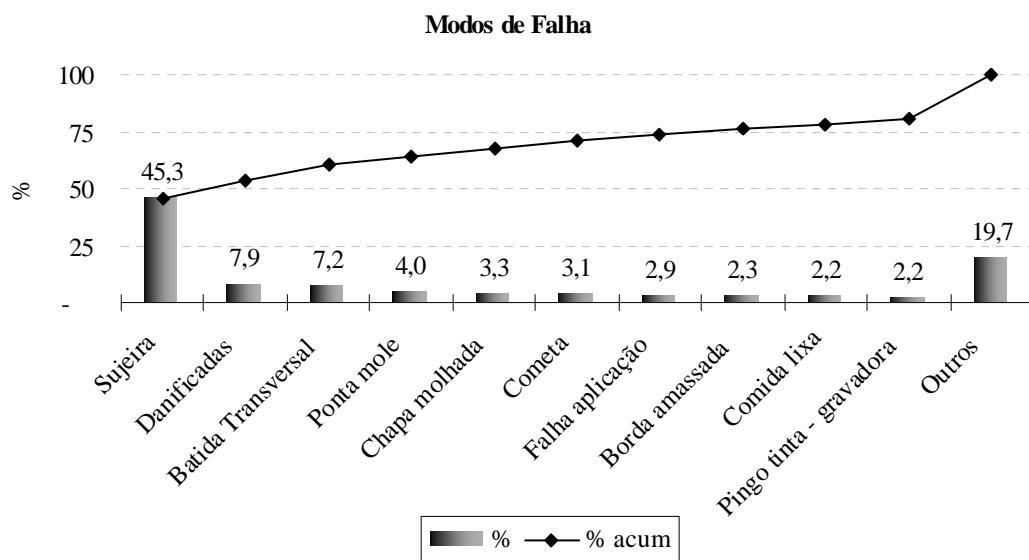


Gráfico 7: Modos de Falha

Elaborado pelo autor

A classificação de defeitos segue a nomenclatura e os conceitos utilizados pela unidade. Basicamente, os defeitos estão separados em três tipos. Existe o grupo de defeitos Tecnológicos, que estão associados ao conjunto de características mensuráveis em aparelhos de laboratório, Dimensional, que estão associados às características como dimensão, espessura e esquadro, ou Aparente, que estão associados às características visíveis a olho nu e que são comparáveis a padrões de referência.

O Diagrama de Pareto indica que os modos de falha têm predominantemente características aparentes. O fato das chapas passarem por um controle de qualidade rigoroso antes de serem enviadas à linha justifica a pouca ocorrência dos outros grupos de defeitos. No entanto, dos principais modos de falha identificados, Ponta Mole e Chapa Molhada são características tecnológicas, oriundos da fase anterior à linha de pintura, e não estão no escopo do trabalho.

Com isso, Sujeira, Danificada, Batida Transversal e Cometa foram escolhidos como os principais alvos do estudo, pois juntos representam 63,5% do total e estão dentro dos limites de atuação do projeto.

A partir de levantamentos feitos com os participantes do grupo e com a observação do processo, foi elaborada uma espinha de peixe para cada um dos modos de falhas representativos.

O modo de falha classificado como Sujeira ocorre quando um corpo estranho, pó por exemplo, adere ao filme de tinta e torna a superfície saliente. Pode ser encontrado em várias formas e em diferentes tamanhos, e também em grupos.

Para o modo de falha Sujeira, os principais pontos levantados foram a quantidade de pó existente na linha e os movimentos que tiram essas partículas da inércia. A Figura 13 mostra a espinha de peixe criada para o modo de falha Sujeira.

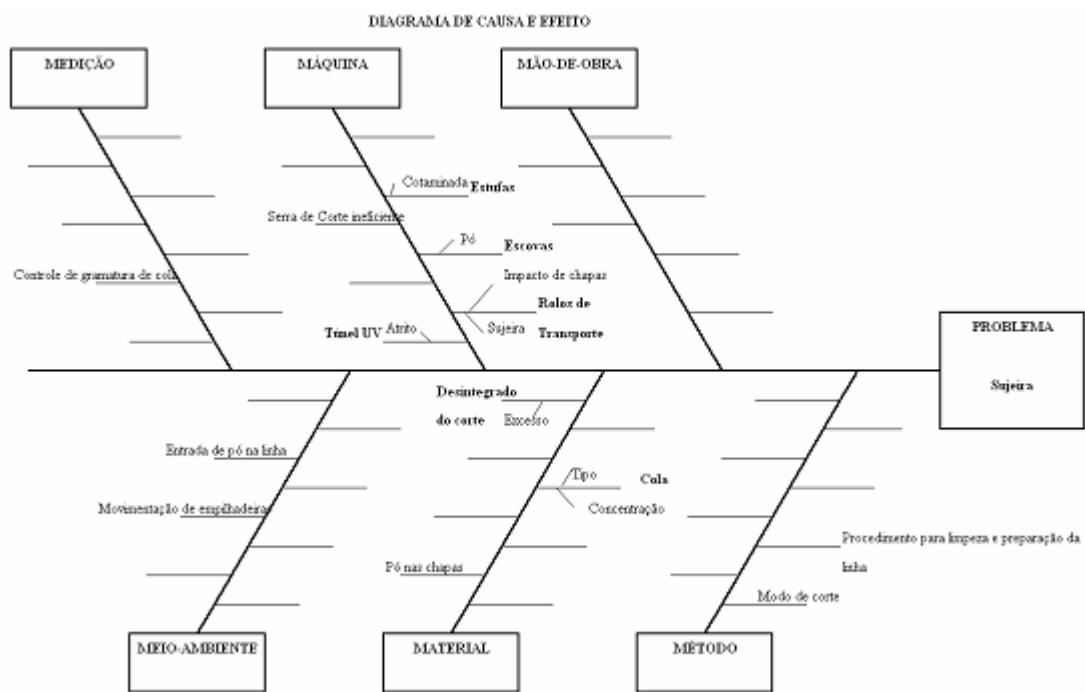


Figura 13: Diagrama de Causa e Efeito I

A Batida Transversal é a classificação dada quando uma chapa bate contra o rolo de aplicação retirando parte da tinta ou danificando o rolo aplicador afetando a pintura da próxima chapa. A Figura 14 mostra as possíveis causas desse problema.

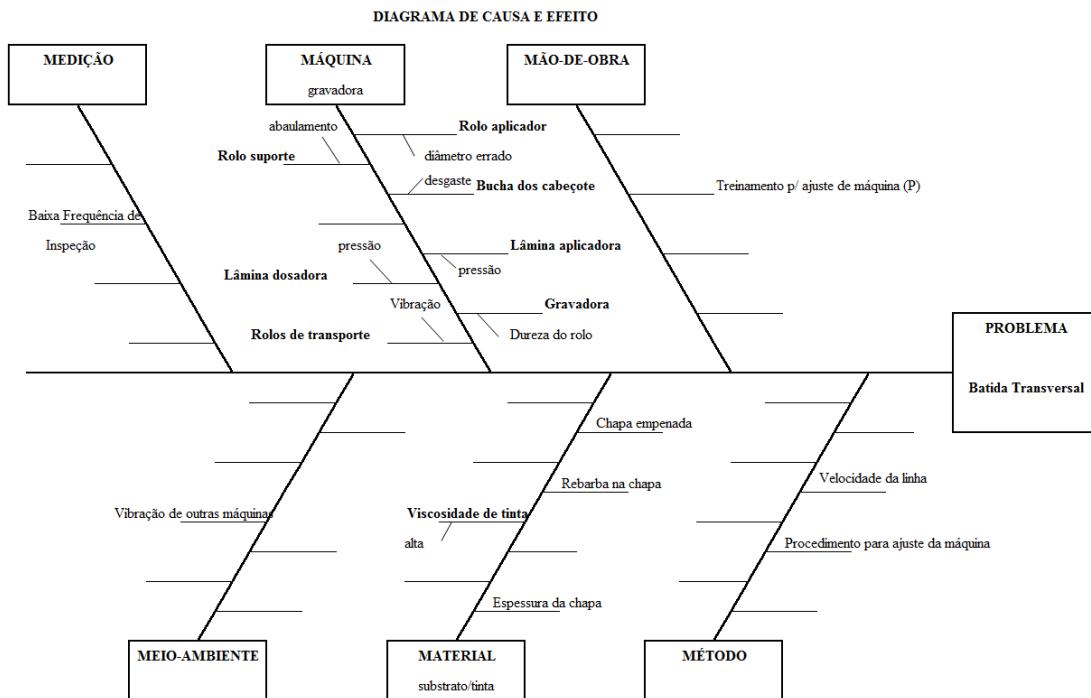


Figura 14: Diagrama de Causa e Efeito II
Elaborado pelo autor

O modo de falha Cometa ocorre quando o sistema de pintura é contaminado com um “grumulo” de um pigmento ou de tinta de um outro padrão, que no momento da aplicação é espalhado pelo rolo aplicador manchando a superfície pintada, lembrando o formato de um cometa. A Figura 15 mostra as possíveis causas levantadas para o modo de falha Cometa.

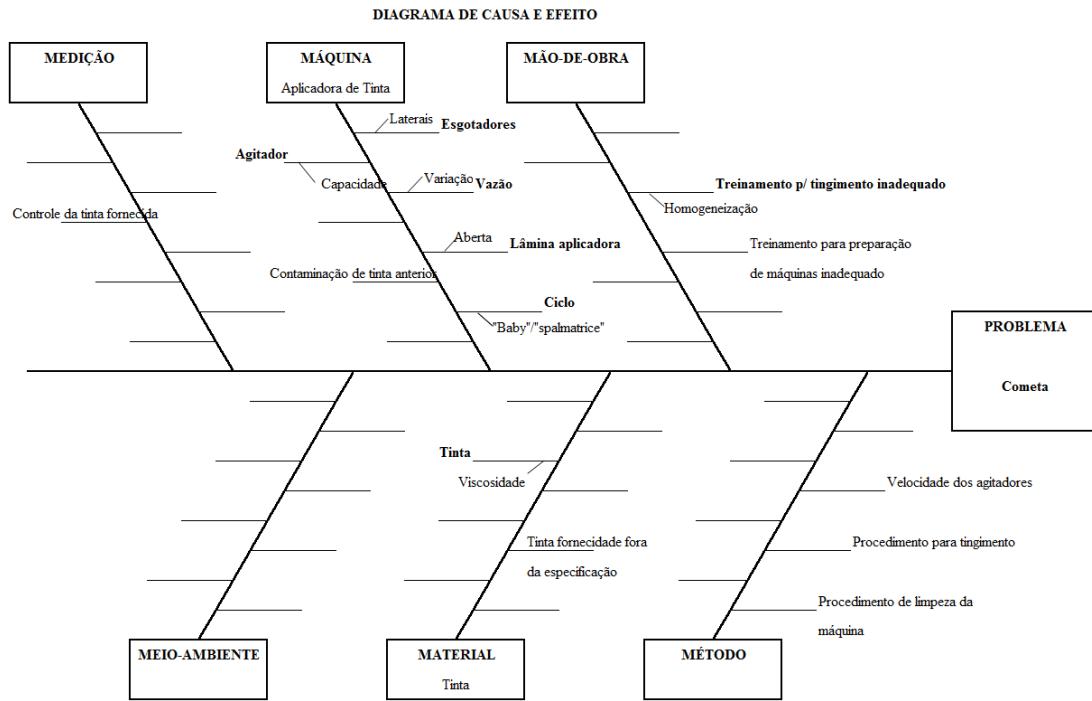


Figura 15: Diagrama de Causa e Efeito III
Elaborado pelo autor

O modo de falha Danificada ocorre quando o painel sofre um dano causado por pancada ou impacto contra guias e transportadores durante o processo. Esse problema está associado basicamente à movimentação dos produtos de maneira inadequada, seja dentro da própria linha como em torno dela. A Figura 16 mostra as causas levantadas para este tipo de não conformidade.

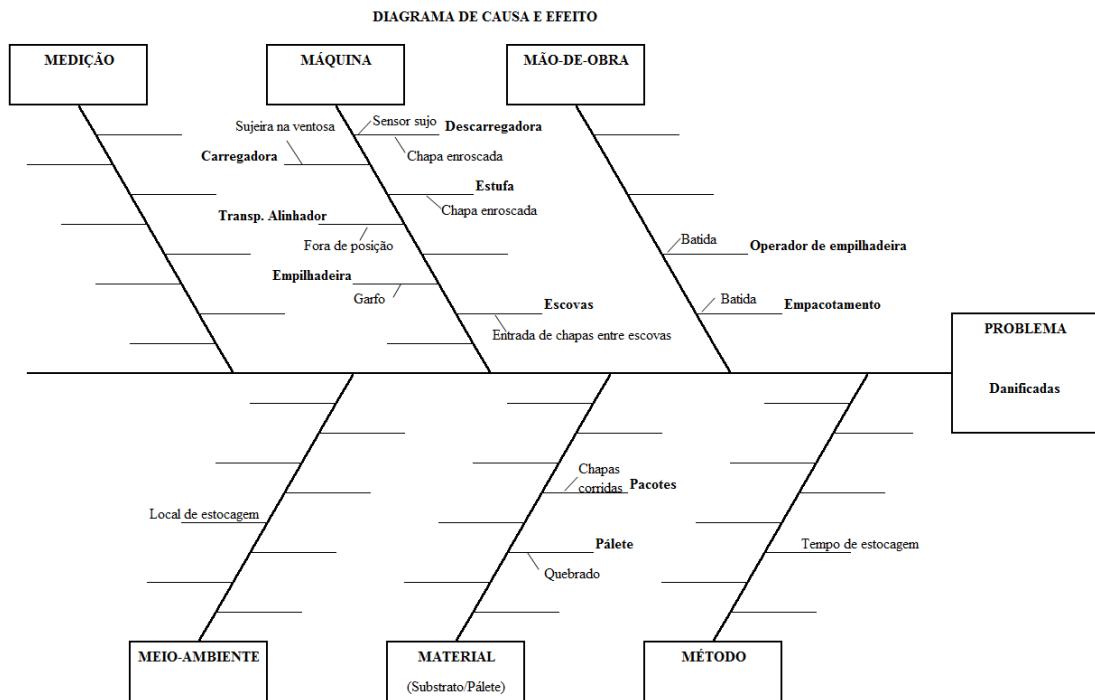
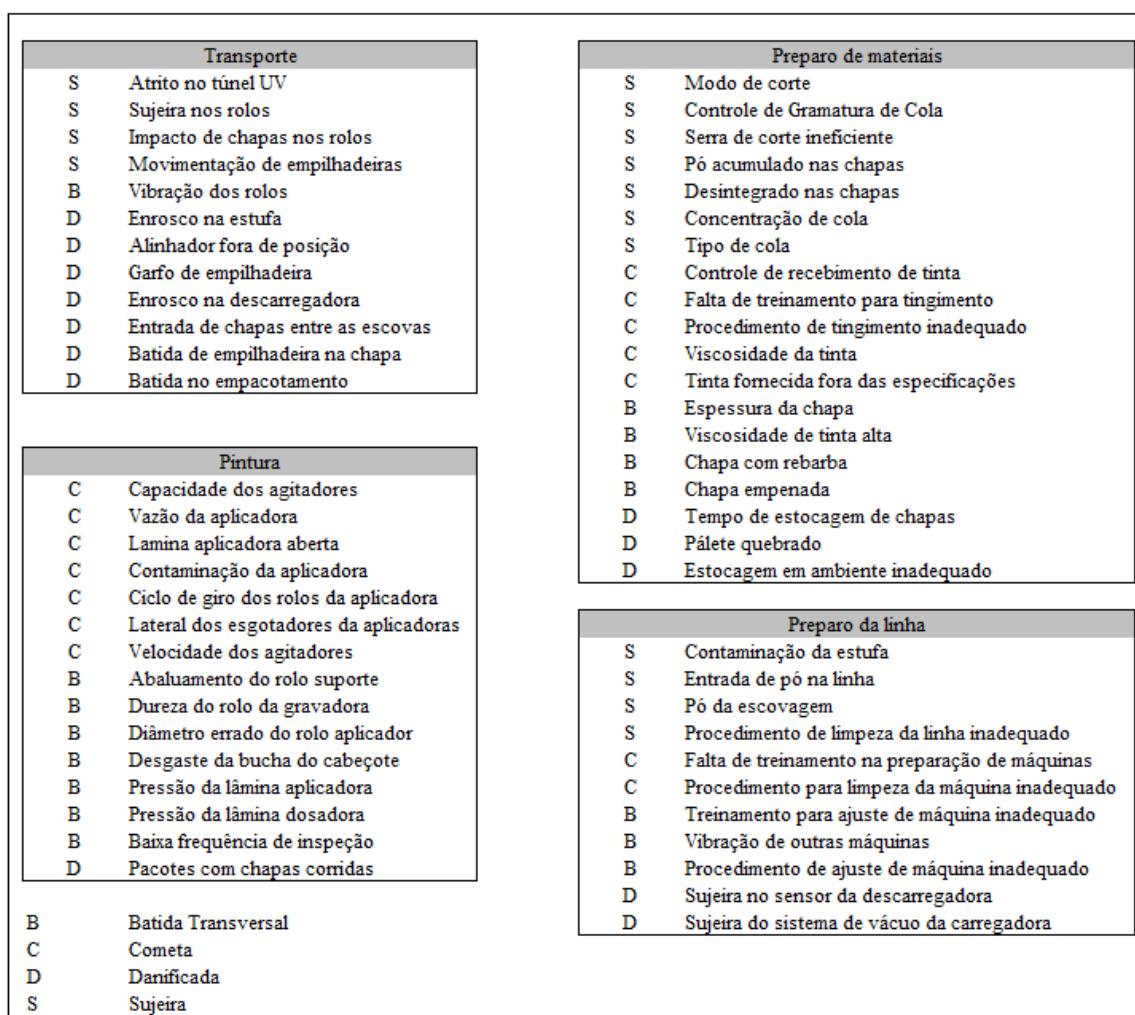


Figura 16: Diagrama de Causa e Efeito IV
Elaborado pelo autor

Levantadas as possíveis causas para cada uma das principais não conformidades, os participantes do grupo relacionaram, por meio de um diagrama de afinidades, quais as partes do processo em que essas causas estavam envolvidas. A Figura 17 ilustra este trabalho.

**Figura 17: Diagrama de Afinidades**

Elaborado pelo autor

A partir do Diagrama de afinidades, foi possível montar uma Matriz de causa e efeito para cada uma das funções de processo. As possíveis causas das não conformidades foram associadas com as saídas de cada etapa do processo produtivo. Vale ressaltar, que somente as etapas com causas associadas foram estudadas, ou seja, classificação e embalagem não foram estudadas, pois não tiveram nenhuma causa atrelada. Já a função de controle, quando citada, foi tratada como parte do processo em análise.

Inicialmente, junto com o chefe de produção foi atribuída uma nota para as saídas da etapa de acordo com sua importância para o projeto. Com a Matriz criada, em reunião, foram atribuídas notas para as relações entre entradas (causas) e saídas do processo.

O primeiro caso, apresentado pela Figura 18, exibe a Matriz Causa e efeito para a função transportar.

	Importância	7	10	
Matriz Causa x Efeito	Transportar	Tempo de entrega	Conformidade do produto	
Modo	Entrada	Fator		
S	Atrito no túnel UV	9	3	93
S	Sujeira nos rolos	3	9	111
S	Impacto de chapas nos rolos	3	9	111
S	Movimentação de empilhadeiras	3	1	31
B	Vibração dos rolos	3	9	111
D	Enroscos na estufa	1	1	17
D	Alinhador fora de posição	3	1	31
D	Garfo de empilhadeira	3	1	31
D	Enroscos na descarregadora	9	3	93
D	Entrada de chapas entre as escovas	1	1	17
D	Batida de empilhadeira na chapa	1	1	17
D	Batida no empacotamento	1	1	17

Figura 18: Matriz de Causa e Efeito

Elaborado pelo autor

Pelas notas dos participantes do grupo referentes à influência das causas nas saídas, foram determinadas as principais causas de problemas no transporte:

- Atrito no túnel UV (ultravioleta)
- Sujeira nos rolos
- Impacto das chapas nos rolos
- Vibração dos rolos
- Enroscos na descarregadora

A próxima função estudada foi a de pintar. A Figura 19 mostra os resultados obtidos com a Matriz de causa e efeito.

	Importância	7	10
Matriz Causa x Efeito	Pintar	Produtividade	Produto conforme
Modo	Entrada	Fator	
C	Capacidade dos agitadores	3	3
C	Vazão da aplicadora	9	3
C	Lamina aplicadora aberta	3	3
C	Contaminação da aplicadora	9	9
C	Ciclo de giro dos rolos da aplicadora	1	1
C	Lateral dos esgotadores da aplicadoras	0	1
C	Velocidade dos agitadores	9	3
B	Abalamento do rolo suporte	1	1
B	Dureza do rolo da gravadora	1	3
B	Diâmetro errado do rolo aplicador	1	1
B	Desgaste da bucha do cabeçote	3	3
B	Pressão da lâmina aplicadora	1	3
B	Pressão da lâmina dosadora	1	3
B	Baixa frequência de inspeção	1	3
D	Pacotes com chapas corridas	0	1

Figura 19: Matriz de Causa e Efeito II

Elaborada pelo autor

A principal causa determinada pela matriz foi a contaminação da aplicadora de tinta. A aplicadora tem papel de destaque na linha de pintura e a sua contaminação prejudica a produtividade da linha, já que o tempo de limpeza afeta na produtividade e a sua

contaminação aumenta as chances de não conformidade do produto. A causa principal definida é:

- Contaminação da aplicadora

A terceira Matriz de causa e efeito aborda o processo de preparo de materiais para a linha de pintura, representada pela Figura 20.

	Importância	7	10	
Matriz Causa x Efeito	Preparar de materiais	Tempo de preparo	Dentro das especificações	
Modo	Entrada	Fator		
S	Modo de corte	3	3	51
S	Controle de Gramatura de Cola	1	3	37
S	Serra de corte ineficiente	3	9	111
S	Pó acumulado nas chapas	0	3	30
S	Desintegrado nas chapas	3	9	111
S	Concentração de cola	1	3	37
S	Tipo de cola	1	1	17
C	Controle de recebimento de tinta	3	1	31
C	Falta de treinamento para tingimento	3	1	31
C	Procedimento de tingimento inadequado	3	1	31
C	Viscosidade da tinta	1	3	37
C	Tinta fornecida fora das especificações	3	3	51
B	Espessura da chapa	1	0	7
B	Viscosidade de tinta alta	1	1	17
B	Chapa com rebarba	1	0	7
B	Chapa empenada	1	1	17
D	Tempo de estocagem de chapas	9	0	63
D	Pálete quebrado	3	0	21
D	Estocagem em ambiente inadequado	1	0	7

Figura 20: Matriz de Causa e Efeito III

Elaborado pelo autor

A maior preocupação sinalizada pela matriz em relação ao preparo de materiais é com a quantidade de pó levada para linha de pintura pelos painéis base. Este pó é proveniente do corte realizado no final das linhas de produção. No entanto, a presença de pó é inerente ao processo, o problema está na formação de desintegrados de madeira que são originados pelo

“arrancamento” da madeira na fase de corte. De acordo com a matriz, foram estabelecidas, como principais causas do problema nesta etapa:

- Serra de corte ineficiente
- Desintegrado nas chapas

A última matriz de causa e efeito elaborada refere-se à etapa de preparação na linha e é representada pela Figura 21.

	Importância	7	10	
Matriz Causa x Efeito	Preparar da Linha	Tempo de preparo	Dentro das especificações	
Modo	Entrada	Fator		
S	Contaminação da estufa	9	9	153
S	Entrada de pó na linha	1	1	17
S	Pó nas escovas	1	0	7
S	Procedimento de limpeza da linha inadequado	3	3	51
C	Falta de treinamento na preparação de máquinas	3	1	31
C	Procedimento para limpeza da máquina inadequado	3	9	111
B	Treinamento para ajuste de máquina inadequado	1	0	7
B	Vibração de outras máquinas	1	1	17
B	Procedimento de ajuste de máquina inadequado	3	1	31
D	Sujeira no sensor da descarregadora	3	1	31
D	Sujeira do sistema de vácuo da carregadora	3	1	31

Figura 21: Matriz de Causa e Efeito IV

Elaborado pelo autor

A matriz indica que os maiores problemas na preparação da linha referem-se à não remoção de sujeiras de partes da linha e da limpeza inadequada da linha após a mudança de padrões de tinta. As principais causas indicadas foram:

- Contaminação da estufa
- Procedimento para limpeza da máquina aplicadora de tinta inadequado

Identificadas as principais causas, foi elaborado pelo autor um FMEA de processo referente às possíveis falhas nas principais funções estudadas. Segundo Braz (2002), esta ferramenta tem potencial de uso na fase de análise para a ligação entre as causas e os efeitos do problema.

A seguir, as definições para cada parte do FMEA, segundo Braz (2002):

- Função do processo – descrição sucinta da operação em análise.
- Modo de falha potencial – descrição de uma não conformidade nesta operação.
- Efeito potencial de falha – impacto no cliente se um Modo de Falha não é prevenido ou corrigido.
- Índice de Severidade (S) – avaliação da gravidade do efeito do modo de falha potencial para o cliente.
- Causa potencial de falha – identificação da causa fundamental da falha.
- Índice de Ocorrência (O) – é a probabilidade de uma causa de falha vir a ocorrer.
- Controles atuais de processo – controles que devem ser capazes de detectar o modo de falha ou a presença da causa de falha ou prevenir a ocorrência do modo de falha.
- Índice de Detecção (D) – indica a probabilidade de os controles atuais conseguirem segurar as falhas antes que cheguem ao cliente.

O índice de Severidade varia entre 1 (falha imperceptível) a 10 (falha compromete o funcionamento do produto), e os índices de Ocorrência e Detecção variam entre 1 (baixa probabilidade) a 10 (alta probabilidade).

- Número de prioridade de risco (NPR) – É o indicador geral da importância da falha resultante da composição dos três índices já definidos. Os itens com maiores NPR devem ter prioridade na ação.

$$\text{NPR} = S \times O \times D$$

O FMEA do processo estudado neste trabalho pode ser visualizado pela Figura 22. As ações indicadas pela figura são discutidas na etapa seguinte do presente trabalho.

Função do Processo	Modo de Falha Potencial	Efeito(s) Potencial(is) da Falha	Causa(s) e mecanismo(s) Potencial(is)	Controles anais do Processo	Ações Preventivas Recomendadas		Responsabilidade pela ação recomendada
					NPR	Código	
Sujeira			Atrito no túnel de UV				Substituição de correias estreitas por correias largas
	6	Sujeira nos rolos	10	Classificador	7	420 (1)	Operadores de instalações
		Impacto de chapas nos rolos					Instalação de correias entre máquinas
Transportar							Operadores de instalações
Danificada		Enroscos na descorregadora	3	Verificação do operador	3	90 (2)	Operadores de instalações (2 por estação)
Batida Transversal		Vibração dos rolos da gravadora	3	Verificação do operador	6	162 (3)	Instalar correias sobre os rolos de transporte da gravadora
Pintar	Cometa	Contaminação da aplicadora	1	Classificador	6	48 (4)	Revestir internamente os coletores de tinta de inox com teflon
		Procedimento para limpeza da máquina inadequado					Procedimento de limpeza
Preparar materiais	Sujeira	Produto não conforme	6	Desintegrado na chapas Serra de corte ineficiente	9	378 (5)	Melhorar o corte e relaxar o substrato Melhorar o corte
Preparar linha	Sujeira	Produto não conforme	6	Contaminação da estufa	8	336 (6)	Utilização de solvente com água na lavagem das correias
							Operadores de produção

Figura 22: FMEA
Elaborado pelo autor

3.4 Incrementar

Na quarta fase da metodologia, as soluções propostas são descritas e analisadas economicamente. O NPR obtido com o FMEA prioriza as soluções e é a partir desse resultado que as melhorias são executadas.

Função	Código	NPR
Transportar	1	420
Preparar materiais	5	378
Preparar linha	6	336
Transportar	3	162
Transportar	2	90
Pintar	4	48

Tabela 9: Melhorias

Elaborado pelo autor

Pela Tabela 9, as soluções 1,5 e 6 devem ser privilegiadas desde que seu custo benefício seja adequado aos padrões da unidade.

3.4.1 Soluções

As soluções propostas pelo grupo de trabalho foram baseadas principalmente no conhecimento técnicos dos funcionários. Entre as soluções discutidas para cada uma das causas, a expectativa em relação aos custos e ao tempo de implementação foram pontos determinantes na escolha. A seguir, há uma breve descrição de cada uma das propostas.

(1) Colocação de correias nos transportes auxiliares entre gravadoras e estufas intermediárias. A utilização de correias como transportador diminui as batidas de chapa durante o transporte na linha diminuindo a incidência de pó no ambiente de pintura.

Substituição de correias estreitas por correias largas no túnel UV. O contato da chapa com a estrutura do túnel UV, durante o transporte, no espaço entre as correias, proporciona atrito entre chapa e mesa de suporte. Com isso, há geração de maior quantidade de pó em suspensão proveniente do atrito. Com as correias largas, o espaço vazio é reduzido e o atrito também.

(5) Após a etapa de corte, permanecem rebarbas nas chapas base que com a movimentação ou batida se soltam do painel e formam o desintegrado. Com o relaxamento das chapas, este

desintegrado e a própria rebarba são removidos pela lixa reduzindo a fonte de pó causador dos defeitos.

Os desgastes dos discos de serra, na etapa de beneficiamento dos painéis base para dimensão final, geram desintegrados de corte que ocorrem pelo “arrancamento” de partículas de madeira ao invés de somente gerarem pó de serra que é um resíduo normal nesta atividade.

Com o aumento da freqüência de trocas de serras, a expectativa é diminuir a geração de desintegrado e seus efeitos indesejáveis ao produto final.

(6) A lavagem das correias era feita somente com água. A solução indica o uso do solvente Butil Glicol com a expectativa de que o produto fixe o pó nas correias e reduza a quantidade de pó em suspensão minimizando a ocorrência de sujeira nos painéis pintados.

O procedimento estabelecido foi a aplicação, com o uso de uma pistola, da mistura de água com o solvente na composição 50% / 50%. A aplicação deve ser feita a cada 6 horas.

(3) A instalação de correias sobre os rolos transportadores da gravadora elimina a trepidação da chapa sobre o rolo e reduz as chances de batida da chapa no rolo aplicador de tinta.

(2) Para o transporte das chapas pintadas para a 2º estação da descarregadora, são utilizadas 10 correias estreitas. Durante o movimento, as chapas desalinharam em cima das correias estreitas e enroscam embaixo das correias danificando as chapas.

Com a introdução das correias largas, a expectativa é a redução de enroscos e de seu efeito no produto produzido.

(4) Os coletores de tinta da aplicadora são confeccionados em inox. A tinta tem aderência a este material, com isso, nas mudanças de cores (padrões) para o processo de pintura, existe a possibilidade de contaminação por resíduos de tinta. Com o revestimento do inox com teflon,

o poder de aderência é menor, facilitando o procedimento de limpeza e minimizado a contaminação pela tinta da pintura anterior.

Novos procedimentos de limpeza e de preparação da máquina foram adotados a fim de ajudar a minimizar os efeitos indesejáveis no produto final.

3.4.2 Viabilidade Econômica

Para a análise de viabilidade econômica das propostas do projeto, foram estimados os custos de implementação de cada uma das soluções. Algumas propostas de melhoria apresentam somente o valor de investimento inicial, como é o caso das soluções 1,2,3 e 4. Já para as outras soluções, estão associados os valores mensais de custo que serão necessários a cada mês. A Tabela 10 resume as informações de custos.

Solução	Observação	Custos
1	Correias entre máquinas	R\$ 9.750,00
	Correias no túnel UV	R\$ 48.750,00
2	Correias largas	R\$ 16.000,00
3	Correias sobre rolos	R\$ 500,00
4	Revestimento com teflon	R\$ 8.000,00
5	Novas serras (mês)	R\$ 750,00
	Uso da lixadeira (mês)	R\$ 27.000,00
6	Butilglicol (mês)	R\$ 450,00

Tabela 10: Informações de Custos

O valor de economia esperada com a melhoria no processo produtivo é de R\$ 57.000,00. Com as estimativas de custo para as soluções definidas, foi possível calcular o valor presente líquido para os fluxos do projeto. Num período de seis meses, com uma taxa atrativa mínima de 10%, investimento inicial de, aproximadamente, R\$ 80.000,00 e economia mensal de aproximadamente R\$ 28.800,00 ($R\$ 57.000,00 - R\$ 28.200,00$), o valor presente líquido do projeto é positivo, como mostra a Figura 23, e é comprovada a viabilidade econômica de todas as soluções.

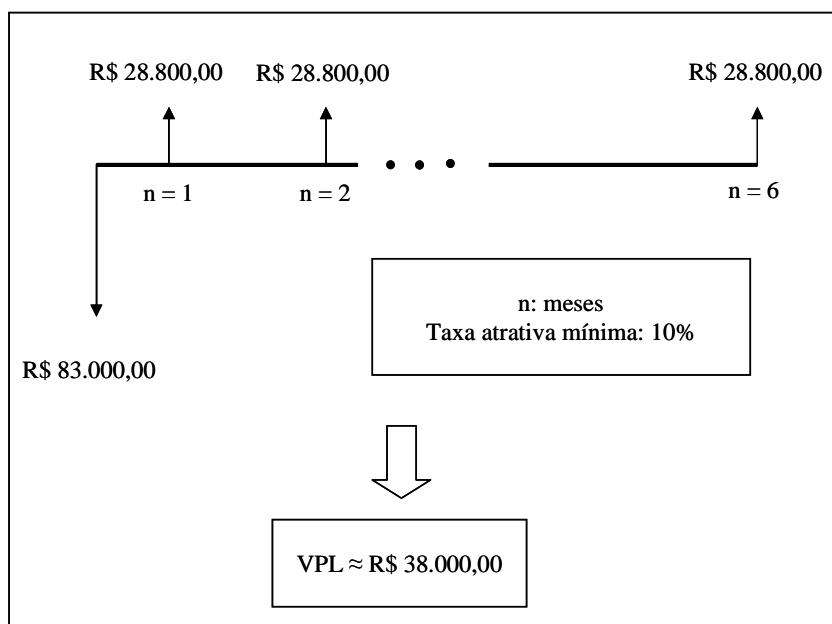


Figura 23: Viabilidade do Projeto

Elaborado pelo autor

A implementação das soluções sugeridas seguiu a ordem estabelecida pelo NPR.

3.5 Controlar

A última fase da estrutura DMAIC é a fase de controle do processo estudado. Nessa etapa, a busca é por formas de monitoramento do processo e detecção de alterações no bom andamento do mesmo para a ação rápida de correção. As ferramentas utilizadas são o Gráfico linear e o Diagrama de Pareto.

Com intuito de monitorar o processo de pintura do segmento Divisória foi proposto pelo autor um gráfico linear para este processo. Este gráfico deverá ser exposto nos quadros de acompanhamento já existentes no chão de fábrica.

O gráfico linear apresenta a evolução do índice de produtos não conformes para cada lote do segmento Divisória produzido pela linha. Para cada um dos pontos indicados, haverá um quadro onde os classificadores deverão preencher com os maiores tipos de defeitos apontados pelas letras B,C,D, F, etc. O gráfico 8 mostra o exemplo utilizado pelo autor para apresentar a idéia aos integrantes do grupo. Vale ressaltar, que os dados utilizados para construção deste gráfico não são do processo estudado, já que o mesmo serve apenas como exemplo da sugestão.

Este gráfico deverá ser preenchido ao final de cada turno facilitando a identificação de problemas e sua resolução. A forma inserida no gráfico como representação dos dados está associada ao turno que introduziu o dado, ou seja, o primeiro turno insere uma circunferência, o segundo um triângulo e assim por diante. Com esse detalhe é possível associar diretamente pelo gráfico quais turnos apresentaram problemas.

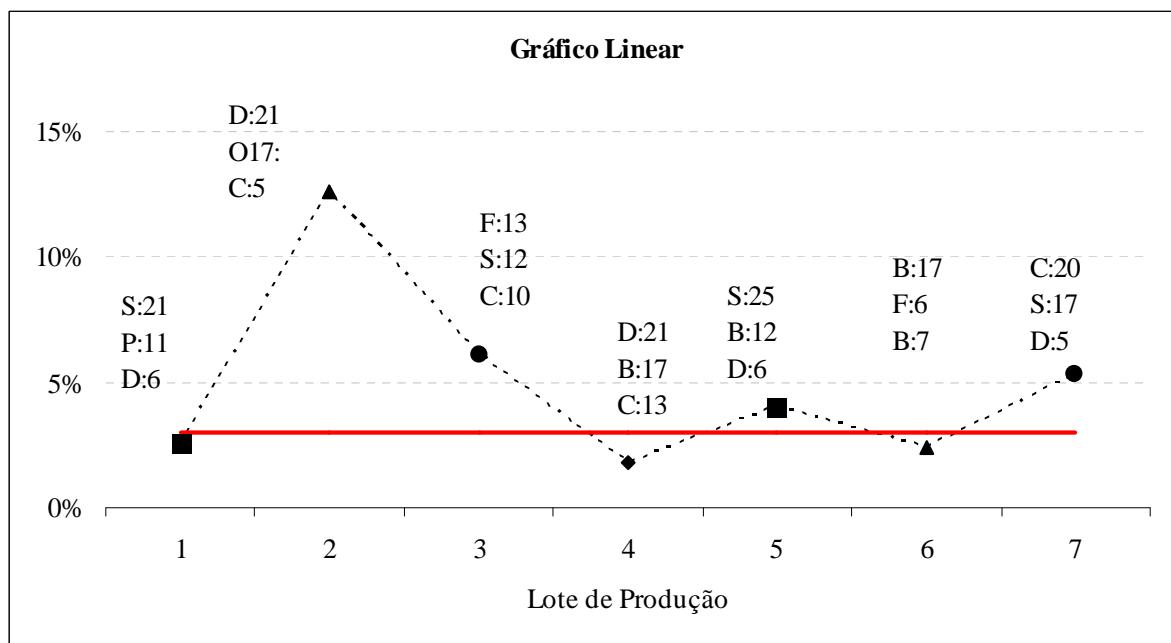


Gráfico 8: Gráfico Linear
Elaborado pelo autor

Outra forma de controle, sugerida pelo autor, é o acompanhamento da capacidade Seis Sigma do processo a ser feito pelos supervisores ao final de cada quinze dias por meio da plotagem de outro gráfico linear.

Nos quadros de acompanhamentos no chão de fábrica, há uma parte destinada a avaliação das não conformidades de todo o processo, por meio de Diagramas de pareto. A última proposta feita pelo autor foi a adição, a essas partes do quadro, de Diagramas de pareto com dados de lotes destinados aos segmentos mais exigentes, como é o caso do Divisória. Como o nível de qualidade é maior para esses segmentos, eles podem ser usados como detectores de falhas antes que essas apareçam no restante da produção.

Segundo Braz (2002), depois de implantadas as ações recomendadas, deve-se recalcular os índices, e anotá-los nos campos de “resultados das ações”. É esperado que o NPR tenha

diminuído, e que se faça uma nova priorização (BRAZ, 2002). Com isso, ao final do projeto, o FMEA deverá ser novamente preenchido para avaliação dos resultados obtidos.

Em suma, a única ação tomada como medida de controle até o momento foi a readequação dos manuais de procedimentos em relação às mudanças realizadas.

3.6 Resultados

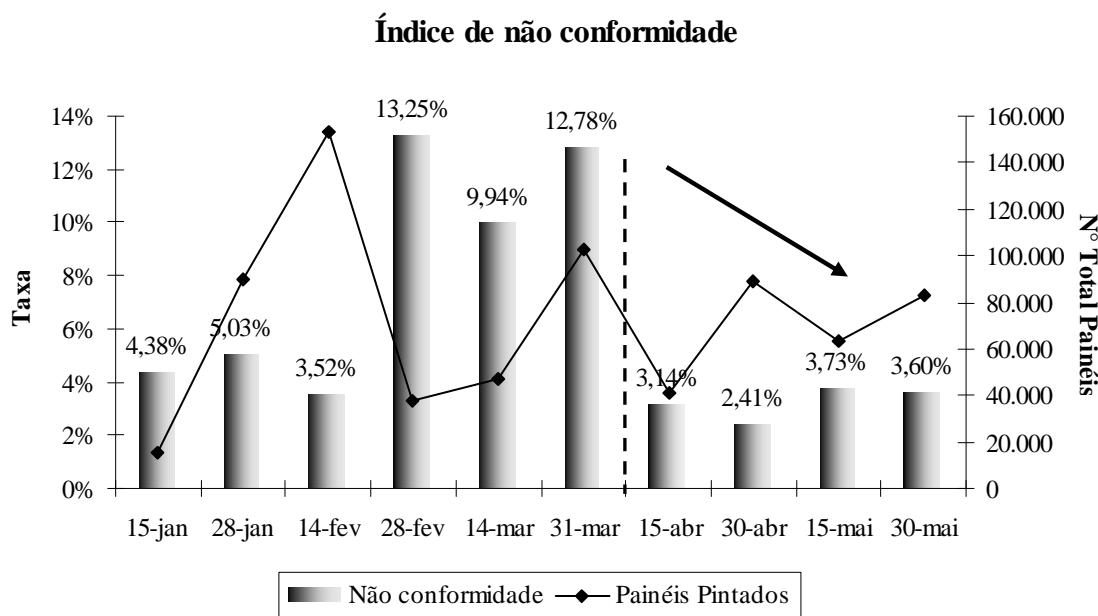


Gráfico 9: Índice de Não Conformidade

Fonte: Base de dados da empresa

Como as soluções propostas representavam baixo risco de falha e os custos estavam alinhados com o planejamento da gerência, foi possível a rápida implementação das mesmas. Em linha com as prioridades do NPR, as adaptações foram feitas até o inicio de maio.

O Gráfico 9 mostra a melhora no índice de não conformidade desse processo. Embora a meta de 97% para o índice de peças conformes ainda não tenha sido atingida, os valores estão muito próximos ao número projetado no inicio deste trabalho. Como os dados do gráfico estão muito próximos com o final da fase de implementação de melhorias, espera-se que a meta seja atingida e se sustente ao final do projeto, causando impactos positivos no rendimento da linha.

Por fim, a pontuação sigma do processo foi recalculada para os dados obtidos após o início do projeto. O número encontrado apresenta uma melhora significativa no desempenho anterior, no entanto, espera-se que este número seja reduzido ainda mais nos próximos meses. Essa melhora rápida enfatiza a necessidade de controle e da manutenção das soluções implementadas para que após o término do processo este número não retorne aos valores iniciais. A tabela 11 mostra o recálculo da pontuação sigma.

Cálculo do Desempenho após Melhorias	
Período	Abril/ 2009 a Maio/ 2009
Produtos Pintados	276.747
Produtos Aprovados	267.943
Rendimento	96,82%
Pontuação Sigma	$\approx 3,37\sigma$

Tabela 11: Cálculo do desempenho após melhorias

Elaborado pelo autor

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

4.1 Considerações Finais

A unidade de Botucatu tem uma estrutura robusta que ofereceu ao aluno as condições necessárias para a realização do trabalho. Esse fator foi importante, principalmente, na coleta de informações e para bom andamento do projeto, já que os dados de acompanhamento escolhidos já estavam na base de dados da empresa. Além disso, a padronização dos processos existentes facilitou na implementação das soluções apresentadas.

Por outro lado, as idéias da metodologia, utilizada na solução do problema, não eram aplicadas na fábrica. Com isso, houve duas formas diferentes de recepção dos conceitos apresentadas pelo autor. Enquanto os operadores não se mostravam receptivos às novas idéias, a gerência demonstrou interesse, principalmente pela forma diferenciada de abordagem dos problemas. Algumas ferramentas, como o Diagrama de Pareto e a Espinha de Peixe, já eram utilizadas, no entanto o uso das mesmas de forma integrada com outras ferramentas como o SIPOC e o FMEA, por meio do DMAIC, trouxe a atenção dos gerentes e supervisores para os conceitos apresentados pelo autor.

O problema ocorreu com a desconfiança dos operadores de chão de fábrica. Embora a linha seja bastante automatizada, ainda existe grande dependência da variável humana. O problema se intensifica com o número de quatro turnos diferentes, ou seja, os novos padrões estabelecidos são mais difíceis de serem adotados, além do que, a demora em se convencer uma só pessoa é menor do que o convencimento de um grupo de pessoas. Com isso, para que as soluções propostas fossem implementadas foi necessária a mobilização dos operadores feita pela gerência e supervisão.

Por fim, espera-se que as melhorias implementadas nesse processo tenham efeitos positivos também no processo de pintura de painéis de outros segmentos e que os conceitos utilizados durante o projeto continuem sendo utilizados pela empresa.

4.2 Conclusão

A realização do presente trabalho auxiliou na estruturação do projeto criado para a redução do número de não conformidades do processo de pintura da unidade de Botucatu e permitiu a resolução do problema de maneira lógica, gerando resultados rápidos e de maneira rentável.

Os conceitos da metodologia Seis Sigma aplicados na resolução do problema facilitaram no desenvolvimento do projeto, principalmente, nas buscas pelas verdadeiras causas dos efeitos indesejáveis e consequente redução da variabilidade do processo, sem esquecer do retorno financeiro e das necessidades dos clientes. Com auxílio do professor, o uso do DMAIC de maneira sólida estruturou as fases do projeto, evitando que etapas fossem puladas e que o foco fosse perdido atrapalhando na obtenção dos resultados.

O trabalho comprovou a importância de se manter uma estrutura sólida de base de dados numa empresa e de se ter os processos e procedimentos padronizados e documentados, pois dessa forma o tempo gasto com adaptações às mudanças e na solução de problemas é reduzido e as chances de sucesso aumentam.

Foi também comprovado que, para que as metas sejam atingidas, uma série de elementos precisa estar alinhada com o mesmo objetivo. Apoio da direção, organização da base de dados, capacitação técnica dos funcionários e suas experiências são fatores que quando combinados para o mesmo fim tornam o alcance dos resultados de forma mais rápida e permitem que as mudanças implementadas sejam mantidas.

Mesmo a empresa estudada sendo sólida no setor que atua, apresenta potenciais de melhoria contínua em seus processos, o que universaliza as possibilidades de atuação mesmo com a excelência já apresentada.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAF NETO, A.. **Matemática Financeira e suas aplicações.** 4. ed. São Paulo, Atlas. 1997.

BRAZ, M. A.. Ferramentas e Gráficos Básicos. In: ROTONDARO, R. G.. **Seis Sigma Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços.** São Paulo, Editora Atlas, 2002. p. 135 – 163.

BERGAMO FILHO, V.. **SEIS O QUÊ? Entenda a estratégia seis sigma através de uma linguagem simples.** São Paulo, New Impress Gráfica e Editora, 2003.

CARVALHO, M. M.. Medindo o Sigma do processo. In: ROTONDARO, R. G.. **Seis Sigma Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços.** São Paulo, Editora Atlas, 2002. p. 164 – 176.

Duratex S.A.. **Informações gerais no website.** Disponível em:<www.duratex.com.br>. Acesso em: 13/05/2009.

_____.. **Relatório anual de 2008.** Disponível em <www.duratex.com.br>. Acesso em 13/05/2009.

GEORGE, M. L.; ROWLANDS, D; PRICE, M.; MAXEY, J.. **The Lean Six Sigma Pocket Toolbook.** Nova York, McGraw-Hill, 2005.

HARRY, M. J.; SCHROEDER, R.. **Six Sigma: a Breakthrough Strategy for Profitability.** Nova York, Quality Progress, 1998.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the world's Top Corporations.** Nova York, Doubleday, 2000.

JURAN, J. M.; GRYNA, F. M.. **Juran's Quality Control Handbook.** 4. ed. McGraw-Hill, Inc, 1988

NAKAZAKI, E.M. **Estudo do Processo de uma Indústria Gráfica para a Melhoria da Qualidade utilizando as Ferramentas da Metodologia Seis Sigma.** 2003. Trabalho de Formatura (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **Estratégia Seis Sigma.** Rio de Janeiro, Qualitymark Editora Ltda, 2001.

RAMOS, A. W. **Ferramentas Básicas da Qualidade**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005a. Apostila para Disciplina de graduação do Departamento de Engenharia de Produção, PRO 2712.

_____. **Ferramentas Gerenciais da Qualidade**. São Paulo: Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005b. Apostila para Disciplina de graduação do Departamento de Engenharia de Produção, PRO 2712.

RAST, Sean C. **Combining SIPOC with the Cause-and-Effect Diagram**. 2006. Disponível em: <HTTP://europe.isixsigma.com/library/content/c060906b.asp>. Acesso em: 23/05/2009.

ROTONDARO, R. G. Visão Geral. In: _____. **Seis Sigma Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. São Paulo, Editora Atlas, 2002a. p. 17 – 22.

_____. Método Básico: Uma visão geral. In: _____. **Seis Sigma Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e Serviços**. São Paulo, Editora Atlas, 2002b. p. 23 - 48.

SLACK, N. **Administração da Produção**. São Paulo, Atlas, 1999.