

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Ana Emília Nascimento Salomon de Mello

**APLICAÇÃO DO MAPEAMENTO DE
PROCESSOS E DA SIMULAÇÃO NO
DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE
PROCESSOS PRODUTIVOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Engenharia de Produção*

Orientador: Prof. Dagoberto Alves de Almeida, Dr.
Co-Orientador: Prof. José Arnaldo Barra Montevechi, Dr.

Itajubá, 18 de novembro 2008.

DE MELLO, Ana Emília N. Salomon.

Aplicação do Mapeamento de Processos e da simulação no desenvolvimento de projetos de processos produtivos. Itajubá: UNIFEI, 2008. 117p. (Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá).

Palavras-Chaves: Mapeamento, desenvolvimento de produto; processo crítico; simulação; SSM.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

Ana Emília Nascimento Salomon de Mello

**APLICAÇÃO DO MAPEAMENTO DE
PROCESSOS E DA SIMULAÇÃO NO
DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE
PROCESSOS PRODUTIVOS**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 18 de dezembro de 2008, conferindo ao autor o título de *Mestre em Engenharia de Produção*.

Banca Examinadora:

Prof. Dagoberto (Orientador)

Prof. Nome do Examinador 2

Prof. Nome do Examinador 3

Itajubá, 18 de novembro de 2008.

DEDICATÓRIA

“Temos de tomar cuidado com nossa postura diante da vida. Quem é incapaz de questionar as próprias verdades não tem mais nada a aprender. Seu conhecimento se transforma num cárcere”.

Augusto Cury.

Dedico este trabalho ao meu marido, Leonardo,
Que me mostrou o quanto é importante continuar aprendendo.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Valdea e Benedicto Marcos, pelo apoio constante ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu marido, Leonardo, pela força e paciência.

Ao Prof. Dagoberto pela orientação e grande conhecimento, essencial ao desenvolvimento e finalização deste trabalho.

Ao Prof. José Arnaldo por tornar possível a conclusão desta etapa difundindo seu conhecimento e auxiliando na condução do trabalho.

Ao Leandro Elias da Silva pela dedicação a implementação da simulação sendo membro importante e essencial no trabalho.

Sumário

Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
Sumário	vi
Resumo	viii
Abstract	ix
Lista de Figuras	x
Lista de Ilustrações	xii
Lista de Tabelas	xiii
1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Apresentação	14
1.2 Objetivo	16
1.3 Justificativa	16
1.4 Contribuição esperada	17
2 ABORDAGEM METODOLÓGICA DA PESQUISA	18
2.1 Estrutura do Trabalho	19
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
3.1 Desenvolvimento de projetos de processos produtivos	21
3.1.1 Desenvolvimento de produto	21
3.1.2 Teoria das Restrições - TOC	24
3.1.3 Gestão <i>lean</i> no desenvolvimento de projetos	24
3.2 Mapeamento de processos	27
3.2.1 Técnicas de Mapeamento	28
3.3 Produção enxuta	32
3.3.1 Arranjo físico	34
3.3.2 Balanceamento de linha	35
3.4 Simulação Computacional	35
3.4.1 Conceitos, vantagens e desvantagens de simulação	35
3.4.2 Quantidade de replicações	40
3.4.3 Fases da simulação	40
3.4.4 Verificação e validação do modelo simulado	42
3.4.5 Simulação aplicada ao sistema de manufatura	44
4 ESTADO PRESENTE	46
4.1 Aplicação do SSM no desenvolvimento de novos projetos	47
4.2 Mapeamento e análise do objeto de estudo	50
4.2.1 Mapeamento Atual – SIPOC	50
4.2.2 Dinâmica de Trabalho entre Departamentos	51
4.2.3 Identificação dos processos críticos	54
5 PROPOSTA ESTADO FUTURO	60
5.1 Realizar trabalho envolvendo simulação	65
5.2 Apresentar estudo ao gerente e diretor	68
5.3 Escolher o time de trabalho e projeto piloto	68
5.4 Treinar o analista de simulação	69
6 APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO	72
6.1 Formular o problema	72
6.2 Coletar dados e construir o modelo conceitual	72
6.3 Validar o modelo conceitual	74
6.4 Desenvolver o modelo computacional	74
6.4.1 Fase 1 - Confecção do modelo inicial	76

6.4.2	Fase 2 – Simular divisão de estação e definição de linha.....	81
6.4.3	Fase 3 – Simular tempos finais e avaliação final da linha.....	87
6.5	Validar o modelo computacional.....	93
6.5.1	Validação Fase 01.....	94
6.5.2	Validação Fase 02.....	96
6.5.3	Validação Fase 03.....	98
6.6	Projetar, conduzir e analisar experimentos.....	101
6.6.1	Relatório de Capacidade de Produção.....	102
6.6.2	Relatório de Utilização dos Recursos.....	103
6.6.3	Relatório de Tempo de Ciclo.....	105
7	ANÁLISE COMPARATIVA.....	105
8	CONCLUSÃO.....	109
8.1	Contribuições deste trabalho.....	111
8.2	Proposta para trabalhos futuros.....	112
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
	Anexo 1: Artigo publicado.....	117

RESUMO

As empresas precisam aumentar a competitividade para se manter no mercado. Para tanto, há necessidade de buscar melhorias contínuas e radicais em seus processos. Eles precisam ser racionalizados, devendo as melhorias ser planejadas e executadas a partir da identificação das perdas ou oportunidades.

Levando-se em consideração esse cenário, o trabalho em questão trata de estudar a fase projeto e desenvolvimento de processos produtivos para chicotes automotivos através do detalhado conhecimento proporcionado pelo mapeamento do processo. A análise das situações problemas será feita com o auxílio da metodologia *Soft Systems Methodology* (SSM) e as técnicas de mapeamento blueprinting, SIPOC e fluxograma serão utilizadas para descrever o estado atual permitindo um melhor conhecimento dos processos que fazem parte desta fase; serão identificados os processos críticos do objeto de estudo pela mensuração do lead time e um fluxo futuro será proposto. A simulação computacional de elementos discretos será uma ferramenta importante a ser utilizada durante a melhoria dos processos críticos, auxiliando no desenvolvimento do sistema de manufatura e fazendo parte do fluxo futuro.

Palavras-chave: Mapeamento; desenvolvimento de produto; processo crítico; simulação; SSM.

ABSTRACT

The paper studies the project and development of productive processes phase for automotive harness through the detailed proportionate knowledge for the process map. The situations problems analysis will be made with the Soft Systems Methodology (SSM) and the blueprinting, SIPOC and flow map techniques will be used to describe the current state allowing a better processes knowledge of this phase; the critical processes of the study object will be identified for the lead time measure and a future flow will be proposed. The simulation computational will be an important tool to be used during the improvement of the critical processes, aiding in the manufacture system development and being part of the future flow.

Key words: Flow map; product development; critical process; simulation; SSM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Adaptação processo do APQP (AIAG, 1995).....	15
Figura 2: Soft Systems Methodology (SSM)	19
Figura 3: Modelo unificado do processo de desenvolvimento do produto	22
Figura 4: Modelo do Ciclo de Vida de uma Empresa <i>Lean</i>	27
Figura 5: Símbolos Comumente utilizados em fluxograma	30
Figura 6: Adaptação estágios de desenvolvimento do blueprint	31
Figura 7: SIPOC do Estudo de Caso	50
Figura 8: Mapeamento do estudo de caso usando a técnica blueprinting	53
Figura 9: Caminho crítico – Fase projeto e desenvolvimento de processo	55
Figura 10: Detalhe A: Interface Aplicação e laboratório de protótipos	56
Figura 11: Detalhe C: Interface ATBO e Qualidade	57
Figura 12: Detalhe B: Fluxo atual laboratório tempos e métodos.....	57
Figura 13: Detalhe D: Fluxo atual laboratório tempos e métodos.....	58
Figura 14: Parcela de Tempo do processo por Departamento.....	58
Figura 15: Parcela de Tempo do processo por Departamento.....	60
Figura 16: Estado Futuro Proposto – Laboratório de tempos e métodos	63
Figura 17: Detalhe A do estado futuro proposto – Fase 1 e 2	64
Figura 18: Detalhe B do estado futuro proposto – Fase 3 e 4	64
Figura 19: Modelo computacional do processo em estudo	68
Figura 20: Sete passos para condução de um estudo de simulação.....	72
Figura 21: Controle 17.....	73
Figura 22: Controle 17 - Montagem.....	76
Figura 23: Layout inicial das linhas de produção.....	77
Figura 24: Layout inicial no Promodel.....	78
Figura 25: Tela de criação das entidades fase 1	79
Figura 26: Modelo computacional fase 1	79
Figura 27: Relatório do Promodel	80
Figura 28: Gráfico de Utilização dos locais de trabalho	81
Figura 29: Controle 17 – Montagem (tempos cronometrados)	82
Figura 30: Layout da linha de montagem.....	82
Figura 31: Tabela de tempos de cada elemento de trabalho.....	83
Figura 32: Representação da linha com indicações de produção	84
Figura 33: Tela de criação das entidades fase 2	84
Figura 34: Modelo fase 2 composto por entidades.....	85
Figura 35: Relatório de Output – Modelo Fase 2	86
Figura 36: Relatório de Utilização dos Recursos – Modelo Fase 2.....	87
Figura 37: Controle 17 fase 03	90
Figura 38: Layout da linha com a biblioteca.	90
Figura 39: Representação <i>Join</i> no final da esteira.....	91
Figura 40: Relatório de output.....	92
Figura 41: Relatório de output com PPM.....	92
Figura 42: Exemplo de representação do sistema	94
Figura 43: Layout inicial do modelo	95
Figura 44: Layout do modelo no software Promodel.....	95
Figura 45: Layout do modelo fase 2 no software Promodel.....	96
Figura 46: Relatório de números de observações.....	98
Figura 47: Representação layout fase 3.....	98
Figura 48: Representação modelo fase 3 com adição da biblioteca gráfica.....	99

Figura 49: Fluxo de peças modelo fase 3	99
Figura 50: Tela do Promodel para dados estatísticos	101
Figura 51: Controle 17.....	102
Figura 52: Relatório de peças do Promodel.....	102
Figura 53: Relatório Sigma ET/CT	103
Figura 54: relatório de utilização de recursos descritivo.....	104
Figura 55: relatório de utilização de recursos gráfico de barras.....	104
Figura 56: Relatório de tempos do Promodel.....	105
Figura 57: Detalhe do fluxo futuro implementado	108

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 – Símbolos do gráfico do fluxo de Processo (Barnes, 1982).....	29
Ilustração 2 - Artigo sobre a implementação da simulação.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Papéis e funções do time de projeto	21
Tabela 2 – Resumo dos principais conceitos de simulação computacional	39
Tabela 3 – SSM no desenvolvimento de novos projetos.....	47
Tabela 4 – Quadro ilustrativo da evolução dos softwares de simulação	66
Tabela 5 – Informações iniciais.....	76
Tabela 6 – Quantidade de postos de trabalho da linha em estudo.....	77
Tabela 7 – Tempos de montagem (Cotação / Cronometragem).....	81
Tabela 8 – Informações iniciais.....	82
Tabela 9 – Quantidade de operadores e mesas da linha em estudo.....	85
Tabela 10 – Quantidade de operadores e mesas da linha em estudo.....	89
Tabela 11 – Informações iniciais.....	89
Tabela 12 - Comparação tempos de balanceamento fase 2 com o do modelo	97
Tabela 13 – Comparação tempos de balanceamento fase 3 com o do modelo	100
Tabela 14 – Estado Atual X Estado Futuro Proposto.....	107

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

Atualmente, as empresas estão inseridas em um mercado altamente globalizado e competitivo gerando consumidores muito mais exigentes e atentos a outros fatores além do preço do produto. Segundo Duarte (2003), o mercado vem buscando cada vez mais o tripé custo, qualidade e prazo sendo que sobreviverá a empresa que conseguir buscar este equilíbrio entre estes três elementos. Tendo em vista este cenário, as empresas tiveram que buscar outras maneiras, além das tradicionais, para que seus produtos fossem desenvolvidos de forma mais competitiva. Uma das maneiras que as empresas possuem para conseguir atingir a meta de crescimento é através do detalhado conhecimento de seus processos produtivos e administrativos, de tal forma a eliminar todos os aspectos que não agreguem valor.

Observada a importância de se conhecer tais processos produtivos para que as empresas possam obter vantagens competitivas para produção, surgiu o interesse de se estudar em detalhes o desenvolvimento do produto.

De acordo com Rozenfeld *et al.* (2002), o desenvolvimento de produto é um dos processos mais complexos e que se relaciona com praticamente todas as demais funções de uma empresa. Ainda segundo ele, para desenvolver produtos são necessárias informações e habilidades de membros de todas as áreas funcionais, caracterizando-se como uma atividade, em princípio, multidisciplinar.

A Figura 1 identifica as fases do desenvolvimento de produto expostas no processo de APQP e neste trabalho o foco será dado ao projeto e desenvolvimento do processo por ser uma etapa que define o sistema de manufatura, provê ferramentas necessárias à produção e, portanto, se classifica como uma importante fase no desenvolvimento de produto.

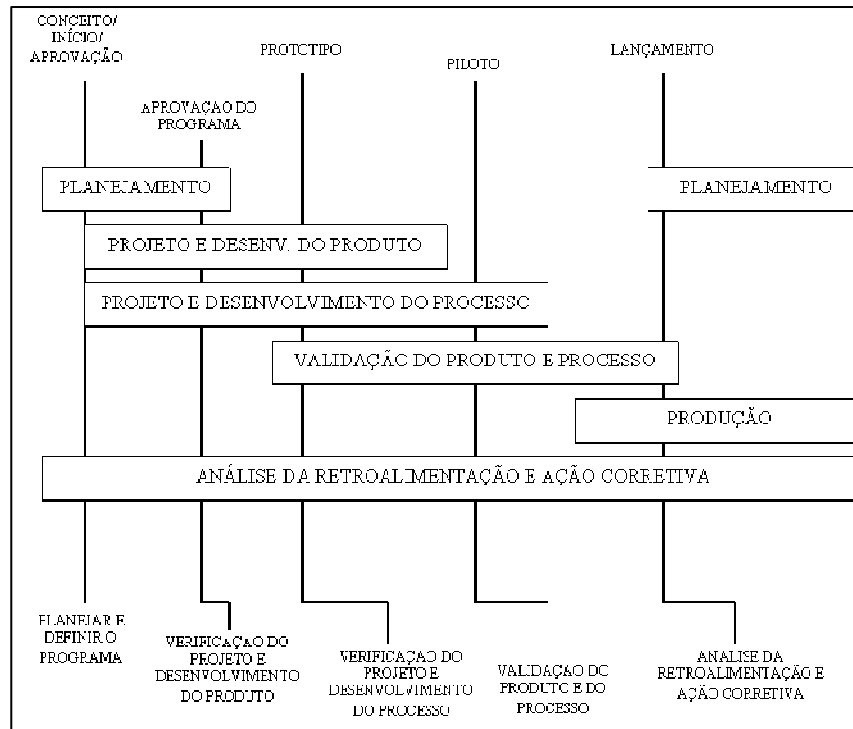


Figura 1: Adaptação processo do APQP (AIAG, 1995)

A metodologia *Soft Systems Methodology (SSM)* será utilizada na análise das situações problemas encontradas na fase em questão, criando um modelo conceitual que guiará o desenvolvimento deste trabalho. Durante a aplicação da metodologia o mapeamento de processo será uma ferramenta importantíssima que descreverá em detalhes os processos pertencentes à fase projeto e desenvolvimento do processo.

Segundo Hunt (2006), a análise dos processos mapeados permite a redução de custos no desenvolvimento de produtos e serviços, a redução nas falhas de integração entre sistemas e melhora do desempenho da organização, além de ser uma excelente ferramenta para possibilitar o melhor entendimento dos processos atuais e eliminar ou simplificar aqueles que necessitam de mudanças.

A construção do mapa do estado atual, pretende tornar possível o conhecimento do caminho crítico bem como os processos pertencentes a ele com o objetivo de analisar-los, identificando formas de melhorias na implementação de novos projetos de chicotes automotivos.

A simulação de elemento discreto se apresenta como um instrumento a ser utilizado na melhoria dos processos críticos, sendo uma ferramenta bastante importante na confecção do mapa do estado futuro.

As perguntas que conduzem à pesquisa são:

- Quais são os processos críticos do desenvolvimento de projetos?

- Qual departamento depende maior lead time em uma implementação?
- Com este modelo, podemos obter informações como: output de peças, quantidade de operadores necessários, bem com sua utilização?
- Com a utilização da simulação discreta podemos prever problemas relacionados ao sistema de manufatura que são identificados apenas no momento da implementação do mesmo nas plantas produtivas?

1.2 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é estudar a fase projeto e desenvolvimento de processo de chicotes automotivos para diagnóstico do estado atual, proposição e implementação de melhorias com a utilização da simulação.

Objetivos específicos:

- Utilizar técnicas de mapeamento adequadas para descrever a fase de projeto e desenvolvimento do processo produtivo de chicotes automotivos;
- Identificar os processos críticos pela mensuração do lead time das etapas de projeto e desenvolvimento do processo;
- Avaliar a utilização da simulação discreta como ferramenta auxiliar no processo crítico;
- Propor e implementar fluxo futuro com a utilização da simulação.

1.3 Justificativa

As empresas precisam aumentar a competitividade para se manter no mercado. Para tanto, há necessidade de buscar melhorias contínuas e radicais em seus processos. As melhorias precisam ser planejadas e executadas a partir da identificação das perdas ou oportunidades.

Para que seja possível visualizar as perdas e oportunidades, é necessário enxergar o valor no desenvolvimento em questão e a eficácia deste processo é garantida utilizando o mapeamento de processo.

A escolha do mapeamento como ferramenta de melhoria se baseia em seus conceitos e técnicas que quando empregadas de forma correta, nos permite documentar todos os elementos que compõem um processo e corrigir qualquer um desses elementos que esteja com problemas.

Para Rother & Shook (2000), mapeamento é uma ferramenta que nos fornece uma visão geral do processo de produção, incluindo atividades de valor e não agregadoras de valor. Os benefícios incluem:

- Estabelecer a direção para os esforços de melhorias da empresa;
- Ganho de um melhor entendimento das conexões entre material e fluxo de informações;
- Visualização de melhorias em todo o fluxo de produção, em vez de melhorias isoladas em processos;
- Provendo uma linguagem comum e melhorias contínuas aos integrantes do processo.

Segundo Hunt (2006), a análise dos processos mapeados permite a redução de custos no desenvolvimento de produtos e serviços, a redução nas falhas de integração entre sistemas e melhora do desempenho da organização, além de ser uma excelente ferramenta para possibilitar o melhor entendimento dos processos atuais e eliminar ou simplificar aqueles que necessitam de mudanças.

O mapeamento de processo mostra o estado atual de um processo e é uma importante ferramenta a ser usada durante a primeira etapa do modelo de melhoria, compreendendo o estado atual. Uma vez definido, o estado futuro pode ser representado através de mapas a fim de orientar as ações de implementação.

1.4 Contribuição esperada

As contribuições esperada no desenvolvimento deste trabalho são:

- Criar um modelo com etapas a serem seguidas para mostrar de maneira clara o funcionamento, inter-relações e restrições do processo em estudo;
- Utilizar o TOC para identificar qual é a restrição do processo mapeado, permitindo tomar decisões de como o mesmo será explorado;
- Mostrar a simulação como ferramenta de análise durante a fase de desenvolvimento do sistema de manufatura no setor automotivo, contribuindo com a construção do Mapeamento de processo futuro.

2 ABORDAGEM METODOLÓGICA DA PESQUISA

A presente pesquisa busca estudar a fase projeto e desenvolvimento de processo de chicotes automotivos para diagnóstico do estado atual, proposição e implementação de melhorias com a utilização da simulação. Sendo assim, a classificação estudo de caso foi desconsiderada, pois a pesquisa não aborda um método atualmente utilizado na organização em estudo.

Como o pesquisador está envolvido de modo participativo no problema a pesquisa classifica-se como pesquisa-ação e a forma de abordar o problema é qualitativa, pois deseja-se propor a simulação como ferramenta auxiliar na análise de dados de saída de um sistema de manufatura em desenvolvimento sendo a utilização de técnicas estatísticas inviável diante da falta de dados históricos.

Segundo Coughlan e Coughlan, (2002), a pesquisa-ação foca em pesquisa na ação e não pesquisa sobre ação. Os autores colocam que a idéia central da pesquisa-ação é que ela usa uma aproximação científica para estudar a resolução de um importante assunto organizacional junto com quem está interagindo diretamente, trabalhando conscientemente durante um processo de passos cíclicos de planejando, enquanto entrando em ação e avaliando a ação, conduzindo-a mais adiante.

Para abordar este tipo de pesquisa, pretende-se utilizar a *Soft Systems Methodology* (SSM), pois de acordo com Checkland e Scholes (2004), ela é uma aproximação da pesquisa-ação para um processo organizacional.

A SSM surgiu oficialmente de forma bem estruturada na década de 1990 por Peter Checkland com o propósito de encontrar uma metodologia para análise de situações problemáticas envolvendo atividades humanas, que geralmente se apresentam como problemas mal estruturados ou mal definidos. A metodologia segue sete passos expostos na figura 2 e tem por definição, segundo Songkhla (1997):

- Passo 1 e 2: Entender a situação problema e expressa-la. Uma metodologia de mudanças necessariamente começa com a consideração e entendimento dos problemas do mundo real. Frequentemente o problema começa com o reconhecimento de que há alguma insatisfação ou melhoria necessária. Técnicas de investigação como entrevistas ou observações de processo podem ser ferramentas importantes para a identificação da situação problema;
- Passo 3: O terceiro passo requer a compreensão das definições de raiz antes de prover o modelo conceitual. Enquanto uma definição de raiz explica o que o

problema é e por que é significativa, um modelo conceitual correspondente é desenhado para mostrar como o problema existe. O modelo conceitual deve resultar em muitos diferentes processos de como novas produções devem ser conduzidas;

- Passo 4: O quarto passo é prover o modelo conceitual baseado na definição de raiz;
- Passo 5: Comparar o modelo e mundo real, definindo em termos formais o que e como as modificações necessárias são feitas;
- Passo 6 e 7: Implementar as mudanças, tendo considerado todos os impactos, desenhado uma solução e selecionado o método de implementação. Como o passo de implementação afeta as atividades de produção atuais, ele requer um grau alto de participação das pessoas que são envolvidas.

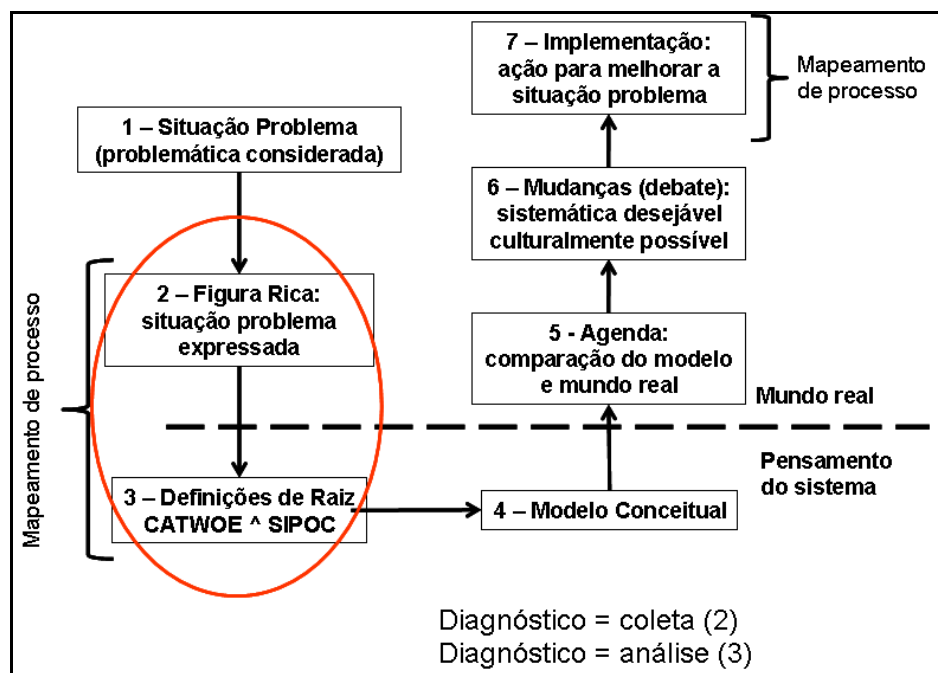


Figura 2: Soft Systems Methodology (SSM)

2.1 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto por nove capítulos como exposto abaixo:

- Capítulo 1: Apresentação do trabalho, exposição dos objetivos, justificativa, bem como sua contribuição;
- Capítulo 2: Mostra a metodologia utilizada e os passos a serem aplicados no desenvolvimento da mesma;
- Capítulo 3: Será feita uma revisão bibliográfica, apresentando conceitos importantes para um melhor entendimento do leitor a respeito do trabalho a ser desenvolvido;
- Capítulo 4: Este capítulo procura mostrar a figura do estado presente da fase projeto e desenvolvimento de processos para chicotes automotivos;

- Capítulo 5: Proposta de estado futuro utilizando a simulação como ferramenta auxiliar na melhoria dos processos críticos do objeto de estudo;
- Capítulo 6: Neste tópico será abordada a aplicação da simulação no desenvolvimento do sistema de manufatura no setor de autopeças;
- Capítulo 7: Será feita uma análise comparativa entre o estado atual e o estado futuro, verificando quais serão às vantagens e desvantagens da aplicação da simulação durante a fase de desenvolvimento do sistema de manufatura;
- Capítulo 8: Conclui o trabalho, descrevendo suas contribuições, bem como sugestões para futuros trabalhos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Desenvolvimento de projetos de processos produtivos

3.1.1 Desenvolvimento de produto

Conforme anteriormente exposto na Introdução, necessita-se conhecer detalhadamente os processos que compõem o desenvolvimento de processo do produto em questão para que o mesmo seja desenvolvido de forma mais competitiva.

Para Slack *et al.* (2002), o objetivo de um projeto é prover produtos, serviços e processos que satisfarão aos consumidores. O desenvolvimento de produto, segundo Clark e Fujimoto (1991) é um processo a partir do qual as informações sobre o mercado são transformadas em bens necessários a produção de um produto com fins comerciais.

Segundo Rozenfeld *et al.* (2002), a tarefa multidisciplinar do desenvolvimento de produtos requer profundos conhecimentos das diversas áreas da engenharia, noções gerenciais, visão sistêmica e integrada do negócio e relacionamento interpessoal.

Rozenfeld *et al.* (2006), descreve os papéis definidos e referenciados no modelo unificado de PDP conforme Tabela 1.

Tabela 1: Papéis e funções do time de projeto

PAPEL	FUNÇÃO
Membros da diretoria	Responsáveis pelo planejamento, aconselhamento e auditoria das atividades e decisões tomadas pelo agente executivo da organização ou unidade de negócio.
Responsável pela engenharia	Responde pelos recursos específicos da área de engenharia.
Gerente funcional	Responsável por função específica na empresa.
Gerente de projetos	Responsável por um projeto específico de desenvolvimento e líder de um time de desenvolvimento.
Especialistas	Pessoas de determinadas áreas funcionais da empresa ou mesmo de empresas de consultoria que possuem domínio sobre tecnologias.
Parceiros	Pessoas de empresas parceiras.
Time de planejamento estratégico de produto	Responsável pelo desdobramento do planejamento estratégico em portfólio de produtos da empresa.
Time de desenvolvimento	Responsável por um projeto específico de desenvolvimento.
Time de avaliação	Responsável por aprovar a continuidade do projeto após uma revisão da fase.

Time de acompanhamento de produto Responsável pelo produto ao longo do seu ciclo de vida, após o término da macro-fase de desenvolvimento.

Fonte: Adaptação Rozenfeld *et al.* (2006)

Portanto, para que o desenvolvimento de produto seja cumprido atendendo as exigências do mercado e por consequência aos consumidores, é necessário o envolvimento de um time multifuncional que participe ativamente durante todas as fases do desenvolvimento.

A visão do desenvolvimento como um processo de negócio, possibilita ter um escopo amplo e dinâmico do desenvolvimento do produto, que permite a empresa interagir com o ambiente externo e dele se alimentar (CLARK e FUJIMOTO, 1991).

De acordo com Rozenfeld *et al.* (2006), o modelo de referência abaixo (figura 3) contém uma coleção de melhores práticas sobre gestão do desenvolvimento de produtos (GDP), que são estruturadas em fases e atividades.

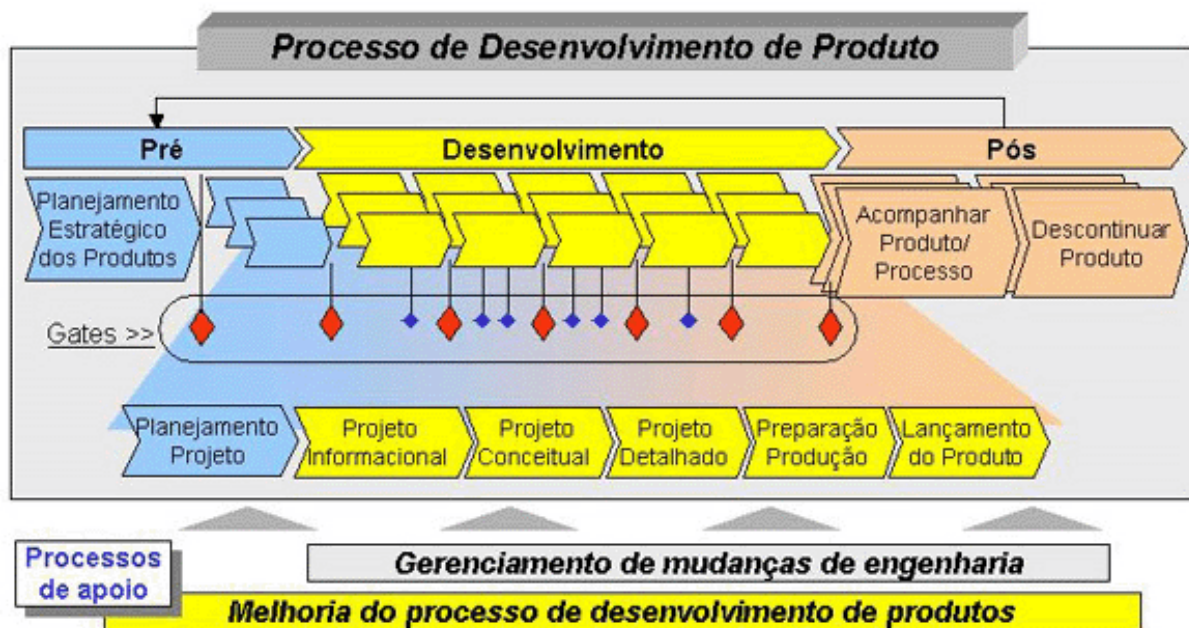


Figura 3: Modelo unificado do processo de desenvolvimento do produto

Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

O modelo está dividido em três macrofases, subdivididas em fases e atividades, sendo que a macrofase de desenvolvimento enfatiza os aspectos tecnológicos correspondentes à definição do produto em si, suas características e forma de produção (Rozenfeld *et al.*, 2006).

Durante a fase projeto conceitual temos uma importante atividade chamada plano macro de processo que segundo Rozenfeld *et al.* (2006), tem por objetivo identificar possíveis processos de fabricação, identificando também o ferramental envolvido em tais processos. De acordo com os autores, os fatores ligados aos processos de manufatura, ao serem considerados

de forma adequada no projeto, garantem que os projetos finais possam ser produzidos. Na fase de projeto detalhado o plano inicial é atualizado e as operações são detalhadas tornando-se a atividade planejar processo de fabricação e montagem.

Rozenfeld *et al.* (2006) descrevem que o plano macro fornece a seqüência de operações, especificação de máquinas e equipamentos, e tempo, sendo utilizado pelo planejamento e controle de produção para programar de forma correta a fabricação do componente ou montagem do sistema. Já o detalhamento das operações produz todas as informações que são colocadas ao lado do posto de trabalho permitindo que a realização das operações tenha repetibilidade e qualidade.

Clark e Fujimoto (1991) descrevem que o processo de desenvolvimento de produtos (PDP) tem sido medido através do trinômio, qualidade, volume e custo. Paula (2004) reforça a idéia e descreve cada um deles como:

- **Medidas de Tempo:** As medidas de tempo medem os tempos de ciclo do processo, sendo que a definição de início e final do ciclo é fundamental, pois pode gerar dados incorretos para a sua análise. A escolha do início e final do ciclo é determinada pelo processo operacional para o qual se está buscando a redução do ciclo. Uma definição mais ampla corresponde a um ciclo de atendimento de pedido, que teria início com o recebimento do pedido do cliente e terminaria quando o cliente recebesse o pedido. Uma definição mais estrita com a finalidade de melhorar o ciclo físico de materiais em uma fábrica poderia corresponder ao tempo em que o lote entra em produção e o momento em que o seu processamento é concluído.
- **Medidas de Custos:** de maneira geral, a análise de custos baseados em atividade permite que a organização avalie o custo de seus processos, podendo inclusive evoluir para uma análise de custos da qualidade.
- **Medidas de Qualidade:** os indicadores de qualidade medem se a organização faz o que deve ser feito, partindo das necessidades do cliente, seja ele interno ou externo. Sua função é estabelecer o nível de eficácia da organização, ou seja, demonstrar até que ponto os resultados de um processo ou atividade atendem os requisitos do cliente ou usuário, seja ele interno ou externo.

Ainda de acordo com Paula (2004), quando associados ao cliente externo, estes indicadores estão, direta ou indiretamente, associados à satisfação dos clientes, visando à eficácia e medindo as saídas dos processos (produtos e/ ou serviços).

Levando-se em consideração as definições acima, podemos considerar que as medidas de qualidade, custo e tempo ajudam na identificação das restrições de um processo.

De acordo com Goldratt (1991), as medidas são o resultado direto da meta escolhida, sendo que sem a definição da mesma não existe um meio de selecionar um conjunto de medidas. Se uma empresa busca a diminuição de tempo no processo de desenvolvimento de produto, podemos constatar que a sua meta está definida e que o tempo certamente será uma medida a ser feita.

3.1.2 Teoria das Restrições - TOC

A Teoria das Restrições foi lançada na década de 80 por Goldratt (1991) que define restrição como qualquer coisa que limita um sistema a atingir maior desempenho em relação a sua meta. Ele desenvolveu uma metodologia chamada de “Processos de Raciocínio da Teoria das Restrições”, baseada no seguimento de cinco passos lógicos para conduzir o processo decisório, no sentido de identificar a verdadeira restrição do sistema, seja ela física, não física, interna ou externa, como exposto abaixo (GODRATT & COX, 1995):

- Passo 1 - Identificar a restrição: identificar o que limita o desempenho organizacional
- Passo 2 - Decidir como explorar a restrição: explorar da melhor maneira possível, a restrição anteriormente identificada.
- Passo 3 - Subordinar a exploração dos recursos: o elo mais fraco da corrente determina sua resistência, não sendo de grande valia melhorar as condições dos outros elos. Os demais recursos devem fornecer o necessário, nem mais nem menos, daquilo que a restrição precisa consumir.
- Passo 4 - Elevar a capacidade da restrição: é o mesmo que reforçar o elo mais fraco da corrente, aumentando a capacidade de processamento do recurso restritivo.
- Passo 5 - Se nos passos anteriores alguma restrição for quebrada, voltar ao passo 1: ao reforçar o elo mais fraco, a corrente torna-se mais forte, a restrição foi quebrada. Faz-se necessário reiniciar o processo identificando qual o recurso que está, neste momento, restringindo o sistema.

A interpretação do processo de pensamento proposto pela TOC, segundo Barcaui e Quelhas (2004), é de que para uma lista de sintomas observáveis, deve ser feita uma análise de causa e efeito com o objetivo de identificar a causa principal do problema.

3.1.3 Gestão *lean* no desenvolvimento de projetos

A gestão *lean* aplicada ao desenvolvimento de projetos, segundo Karlsson e Ahlstrom (1996), segura a promessa de melhorar a posição competitiva de uma empresa, oferecendo o potencial para desenvolver produto de forma rápida, com menos horas de engenharia,

aumento na qualidade dos produtos, menores problemas no início de produção e rapidez para comercializar.

GABRIEL (1997) descreve que a gestão *lean* aplicada a projetos conduz a um alto nível de comprometimento e motivação do time e para a satisfação do cliente, reduzindo risco ao cliente, com o equilíbrio certo de qualidade.

Karlsson e Ahlstrom (1996) ainda colocam que a implementação *lean* inclui numerosas técnicas relacionadas, inclusive envolvimento de cliente, times multifuncionais, engenharia simultânea, integração de vários aspectos funcionais de cada projeto, o uso de uma estrutura de time de peso e administração estratégica de cada projeto de desenvolvimento.

Os autores descrevem práticas organizacionais para a implementação do desenvolvimento de produto *lean*:

- Gastar tempo suficiente na criação e entendimento de todo o conceito;
- Um time multifuncional focado ao longo da organização, criado através de reuniões regulares com representantes da administração de diferentes funções;
- Concretização contínua de funções de produto e processos industriais, aliados a buffers *lean*;
- Uma combinação de gerenciamento estratégico por objetivos com uma quebra hierárquica desses objetivos;
- Cooperação aproximada entre os clientes e fornecedores, onde os clientes são remunerados apropriadamente.

ZAYKO (2007) aponta alguns subsistemas de uma empresa *lean* que estão diretamente ligados às fases do desenvolvimento de produto e representados pela figura 3:

- Gerenciamento da Fábrica & da Cadeia de Fornecimento: O pensamento *lean* esboça um plano de ação composto de seis passos para sua implementação:
 1. Encontrar um agente de mudança;
 2. Encontrar um *sensei*;
 3. Aproveitar ou criar uma crise.
 4. Mapear seus fluxos de valor.
 5. Escolher alguma coisa para começar.

Segundo ele infelizmente, muitos pulam o passo quatro e vão direto do passo três para o passo cinco, e então replicam visões inapropriadas; O método que tem trazido bons resultados hoje é o baseado no plano de ação para o fluxo de valor e orientado para a ação. Este enfoque do fluxo de valor se resume em: Reunião de escopo, mapeamento do estado

atual; mapeamento do estado ideal, mapeamento do estado futuro, planejamento do trabalho e execução do plano.

- **Projetando o processo:** O ponto chave aqui é que embora a maioria dos esforços de melhoria tenham sido gastos na produção, isso é geralmente a menor área de impacto, uma vez que tipicamente mais de 80% do custo é comprometido antes mesmo dele ir para a produção. Ainda, apenas 20% do custo pode ser adicionado antes desse ponto, então esse fato pode facilmente permanecer escondido. A maioria dos re-projetos de processos em operações existentes é o desperdício da correção do pobre projeto inicial do sistema. É importante começar operando sistemas de melhoria na produção devido ao fato que os benefícios tangíveis podem ser vistos rapidamente para o aprendizado, além de ser o último ponto de contato com o cliente.
- **Projetando o produto:** Nesse subsistema atualmente, o projeto do produto não deve apenas atender e exceder as expectativas do cliente, mas o produto deve levar em conta que não há recursos naturais infinitos disponíveis no mundo para sustentar o aumento de demanda global e de desenvolvimento.
- **Desenvolvimento do produto:** Para ter todos os subsistemas mencionados anteriormente trabalhando em conjunto com sucesso, é indispensável um sistema robusto e *lean* de desenvolvimento de produtos.
- **Desenvolvimento das pessoas:** Como nas discussões anteriores do desenvolvimento de produtos, o desenvolvimento de pessoas é um sistema subjacente que ocorre em cada subsistema e na empresa toda. Com o sucesso da expansão dos sistemas de manufatura *lean* em todo o mundo, muitos pré-conceitos que diziam que o *lean* só funcionaria em algumas culturas ou tipos de indústrias se mostraram incorretos.
- **Gerenciamento & Liderança da Empresa *Lean*:** Como nas discussões anteriores do desenvolvimento de produtos, o desenvolvimento de pessoas é um sistema subjacente que ocorre em cada subsistema e na empresa toda. Com o sucesso da expansão dos sistemas de manufatura *lean* em todo o mundo, muitos pré-conceitos que diziam que o *lean* só funcionaria em algumas culturas ou tipos de indústrias se mostraram incorretos.

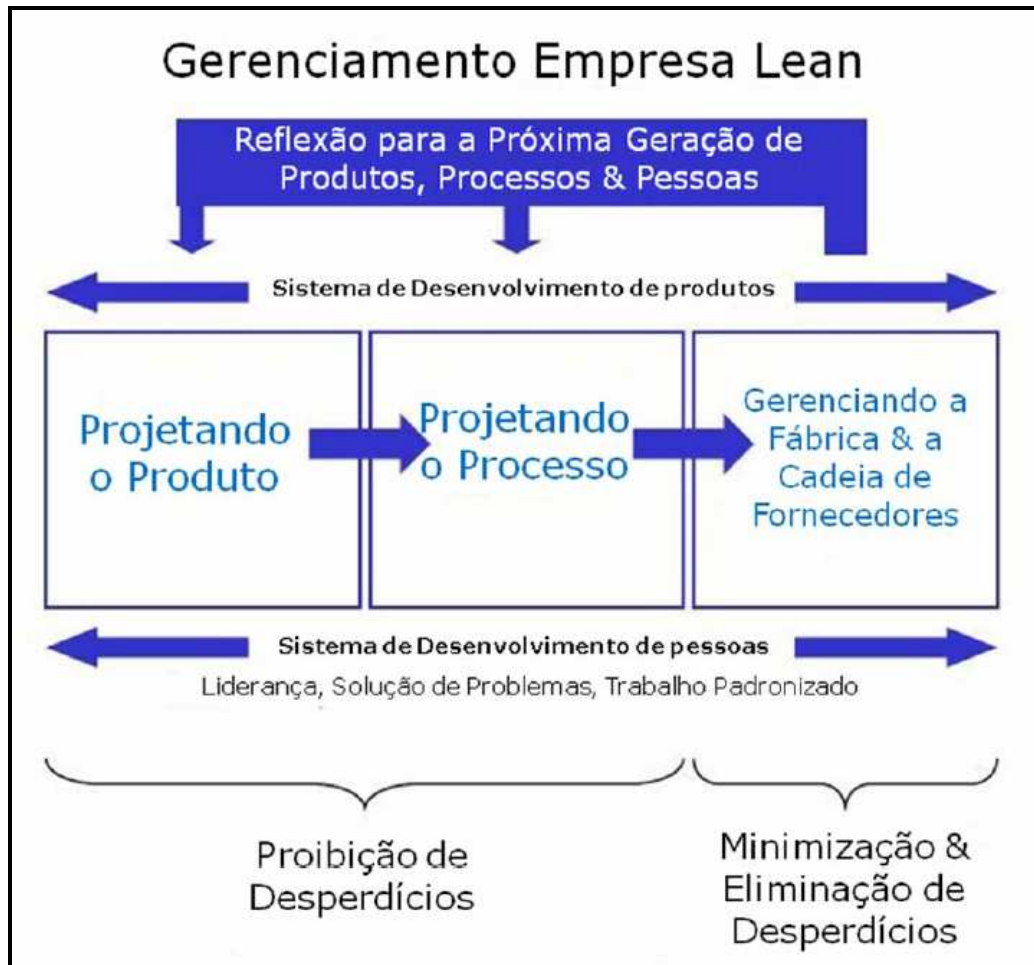


Figura 4: Modelo do Ciclo de Vida de uma Empresa *Lean*
 Fonte: ZAYKO (2007)

Segundo Rother e Shook (2000) o mapeamento tem sido um aliado fundamental das empresas que adotaram o conceito *lean* e que procuram à melhoria contínua, bem como para as que estão planejando a sua implementação.

3.2 Mapeamento de processos

A escolha do mapeamento como ferramenta de melhoria se baseia em seus conceitos e técnicas que quando empregadas de forma correta, permite documentar todos os elementos que compõem um processo e corrigir qualquer um desses elementos que esteja com problemas sendo uma ferramenta que auxilia na detecção das atividades não agregadoras de valor.

Para Rother e Shook (2000), o mapeamento é uma ferramenta que nos fornece uma figura de todo o processo de produção, incluindo atividades de valor e não agregadoras de valor.

O mapeamento de processos se utiliza de diferentes técnicas de mapeamento que nos mostram diferentes enfoques sendo que a correta interpretação destas técnicas é fundamental durante esse processo. Tais técnicas podem ser utilizadas individualmente ou em conjunto dependendo do que se vai mapear.

3.2.1 Técnicas de Mapeamento

A literatura apresenta algumas técnicas de mapeamento com diferentes enfoques tornando a correta interpretação destas técnicas fundamental no processo de mapeamento. Dentre as diversas técnicas de mapeamento podemos citar:

- SIPOC: é uma ferramenta usada por um time para identificar todos os elementos pertinentes de um projeto de melhoria de processo antes de o trabalho começar (FERNANDES, 2006).
- Blueprinting: representa um fluxograma de todas as transações integrantes do processo de prestação de serviço (FITZSIMMONS, 1998);
- Fluxograma: técnica que permite o registro de ações de algum tipo e pontos de tomada de decisão que ocorrem no fluxo real.
- Mapofluxograma: segundo Barnes (1982), o mapofluxograma é um fluxograma desenhado sobre a planta de um edifício ou layout para visualizar melhor o processo.
- Diagrama homem-máquina: tem por objetivo o estudo da inter-relação entre o trabalho do homem e o da máquina, identificando os tempos ociosos de ambos e balanceando a atividade do posto de trabalho (BARNES, 1982).
- IDEF0 a IDEF9: Diagramas que representam um desenho do comportamento dos clientes.

Nos tópicos a seguir serão apresentadas as técnicas utilizadas no presente trabalho e que se justificarão durante o desenvolvimento dos capítulos 4 e 5.

3.2.1.1 Fluxograma

De acordo com Barnes (1982), o fluxograma de processo é uma técnica utilizada para registrar o processo de uma maneira compacta e de fácil visualização e entendimento. Usualmente o fluxograma inicia-se com a entrada da matéria prima na fábrica ou célula e segue o caminho de fabricação do produto, passando pelas operações de transformação transporte e inspeção até a sua saída como produto acabado. No ano de 1947 a American Society of Mechanical Engineers (ASME) padronizou cinco símbolos (*Quadro 1*) para montagem do fluxograma de processos.

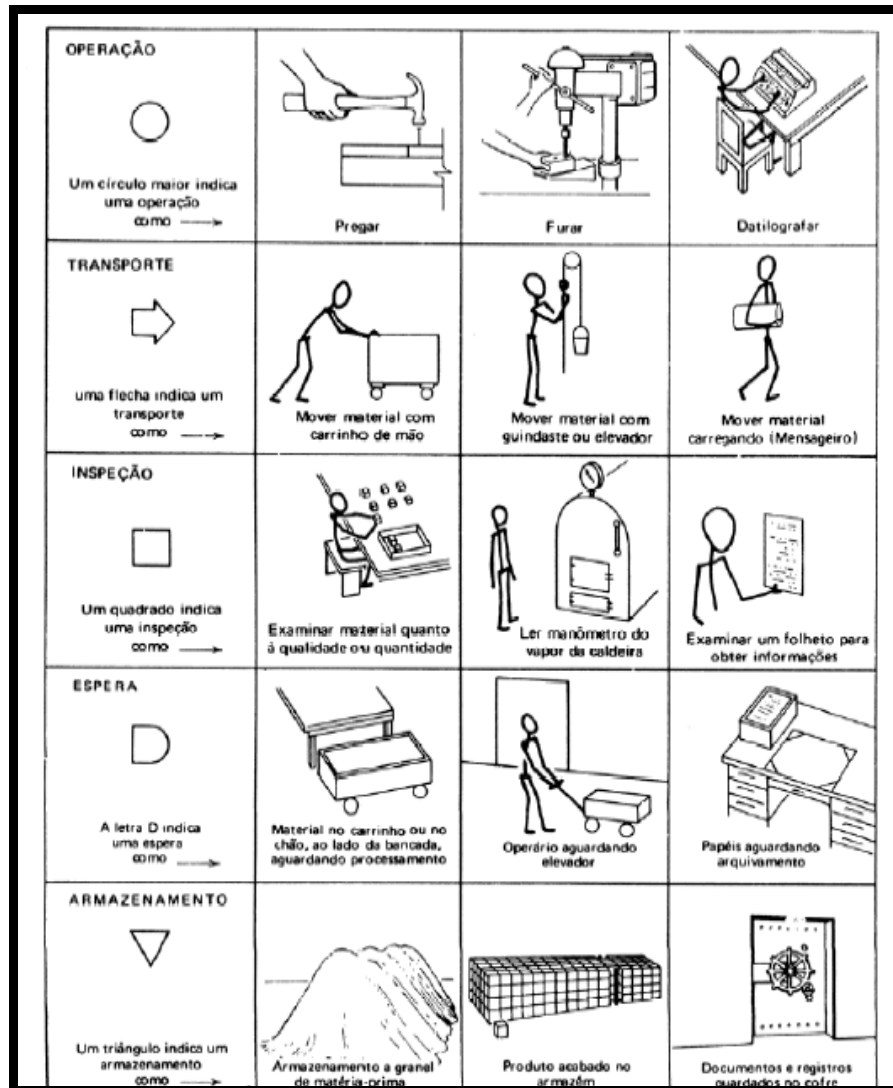


Ilustração 1 – Símbolos do gráfico do fluxo de Processo (Barnes, 1982)

A combinação de símbolos é permitida quando as atividades são executadas no mesmo local ou simultaneamente como atividade única.

Segundo Slack (1997), o fluxograma é uma técnica de mapeamento que permite o registro de ações de algum tipo e pontos de tomada de decisão que ocorrem no fluxo real.

Os símbolos comumente utilizados em fluxograma estão representados na Figura 5:

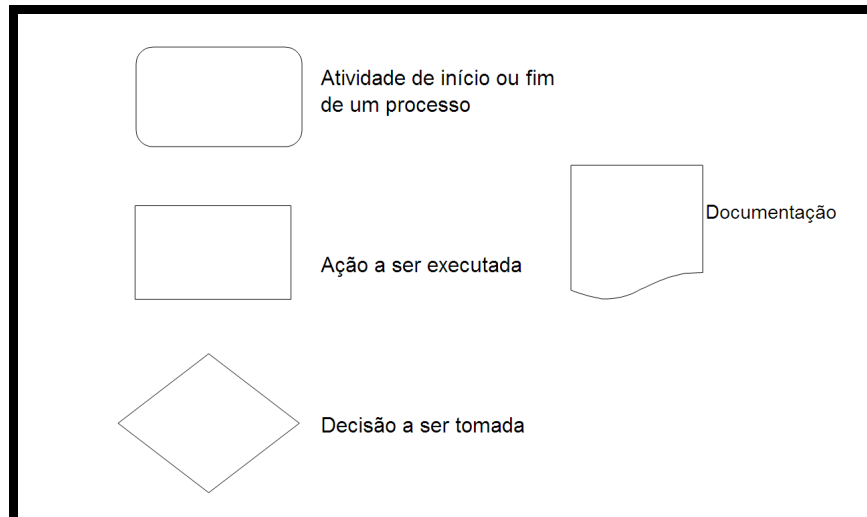


Figura 5: Símbolos Comumente utilizados em fluxograma

Dentre as vantagens na utilização da técnica fluxograma estão:

- Permite verificar como se conectam e relacionam os componentes de um sistema, mecanizado ou não, facilitando a análise de sua eficácia;
- Facilita a localização das deficiências, pela fácil visualização dos passos, transportes, operações, formulários, etc.
- Propicia o entendimento de qualquer alteração que se proponha nos sistemas existentes pela clara visualização das modificações introduzidas.

3.2.1.2 *Blueprinting*

De acordo com Fitzsimmons (1998), o *blueprint* representa um fluxograma de todas as transações integrantes do processo de prestação de serviço. O *blueprint* faz uso da linha de visibilidade, que separa, no mapa desenhado, as atividades onde os clientes obtêm evidências tangíveis do serviço das atividades chamadas de retaguarda, não presenciadas pelo cliente. Considerando a aplicação do *blueprint* durante os últimos 15 anos, três estágios de desenvolvimento podem ser identificados e cada estágio adiciona novos elementos ao *blueprint* (veja Figura 6). Cinco áreas de ação-chaves podem ser identificadas no terceiro estágio do *blueprint* as quais são separadas por quatro linhas. A “Linha de interação” separa ações do cliente da área de ação do fornecedor, representando a interação direta entre o cliente e fornecedor. Abaixo da “Linha de interação” nós encontramos atividades, escolhas e interações feitas pelo cliente. A “Linha de Viabilidade” diferencia entre ações visíveis e invisíveis ao cliente. Abaixo da “Linha de Viabilidade” são mostradas ações e decisões desenvolvidas pelo escritório de empregados. A “Linha de interação interna” distingue as atividades de escritório. A “Linha de implementação” separa entre planejando, enquanto administrando e controlando (zona de administração) e atividades de apoio (zona de apoio).

Atividades de apoio são diretamente relacionadas ao processo de serviço executado pelo contato pessoal para um cliente específico.

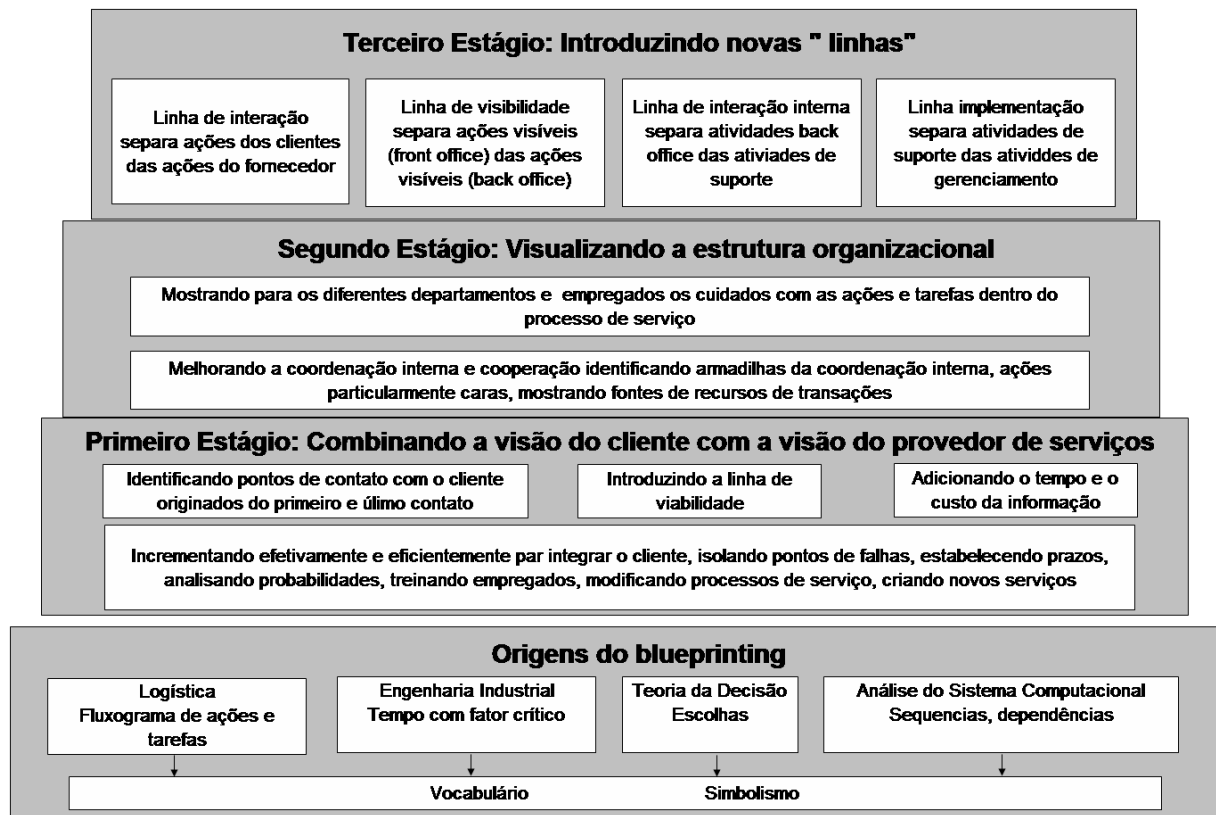


Figura 6: Adaptação estágios de desenvolvimento do blueprint
 Fonte: KLEINALTENKAMP, Michael; FLIEB, Sabine (2004).

Santos e Varvakis (2002) descrevem que desde o surgimento do *blueprint*, algumas técnicas para projeto e análise de processos de serviços têm sido desenvolvidas sendo que a maioria delas segue a lógica do *blueprint*, que considera a participação do cliente nos processos de serviços.

Os autores colocam que têm sido relatadas inúmeras aplicações para o *blueprint* como, por exemplo:

- Identificação dos pontos de falha do processo;
- Identificação dos gargalos do processo;
- Planejamento da capacidade e tempos de execução;
- Análise de custos do processo;
- Projeto de trabalho e melhoria da produtividade;
- Identificação dos processos-chave e áreas estratégicas de decisão.

3.2.1.3 SIPOC

Simon (2001) descreve o diagrama de SIPOC como uma ferramenta usada por um time para identificar todos os elementos pertinentes de um projeto de melhoria de processo

antes de o trabalho começar. Os lembretes no nome da ferramenta mostram que o time deve considerar os Fornecedores (o 'S' em SIPOC) de seu processo, os Inputs (o 'I') para o processo, o Processo (o 'P') que seu time está melhorando os Outputs (o 'O') do processo, e os Clientes (o 'C'). Segundo ele, a ferramenta de SIPOC é particularmente útil quando não estiver claro: quem provê contribuições ao processo, que especificações são colocadas nas contribuições, quem são os verdadeiros clientes do processo, o que são as exigências dos clientes.

Fernandes (2006) reforça o SIPOC como uma das ferramentas mais adequadas a serem utilizadas para definir adequadamente o problema, que tem como objetivo a identificação das fronteiras do projeto, isto é, quais os fornecedores e clientes do processo em estudo, e também quais as principais “entradas” a serem processadas e a relação das características mais críticas aos clientes quanto às “saídas” geradas.

Simon (2001) aponta alguns passos para aplicar o diagrama SIPOC de forma fácil:

- Criar uma área que permitirá o time postar adições ao diagrama de SIPOC;
- Começar pelo processo;
- Identificar as produções deste processo;
- Identificar os Clientes que receberão o produto deste processo.
- Identificar as contribuições requeridas para o processo funcionar corretamente.
- Identificar os provedores das contribuições que são requeridas pelo processo.
- Opcional: Identificar as exigências preliminares dos clientes.
- Discutir com donos do projeto e outros envolvidos para verificação.

Segundo o autor (SIMON, 2001), em alguns casos, podem ser adicionadas as Exigências dos Clientes ao fim do SIPOC para detalhe adicional.

3.3 Produção enxuta

A Produção Enxuta tem como objetivo aperfeiçoar os processos através da redução contínua de desperdícios prezando a qualidade e a flexibilidade do processo e ampliando sua capacidade de produzir e competir.

Araújo (2004) coloca que a produção enxuta visa à redução do nível de recursos de entrada em um sistema produtivo, de acordo com um dado nível de saída para este sistema. Segundo ele, isto é obtido por meio da remoção de desperdícios do sistema, primeiramente aqueles na forma de recursos a serem transformados (exemplo: matéria-prima, estoque em processo), mas também incluem mudanças em recursos como pessoas, processo tecnológico e layout.

Segundo Paço (2006) a produção puxada racionaliza os recursos de manufatura onde o fluxo produtivo só deverá iniciar a produção de um determinado lote quando solicitado pelo cliente, que é o agente propulsor da cadeia produtiva. A produção puxada então, evita desperdícios e contribui para o modelo de produção enxuta.

Para Araújo (2004), o modelo de produção enxuta relaciona a vantagem do desempenho da manufatura à sua aderência com relação a três princípios:

- Melhorar o fluxo de material e informação no ambiente de negócios;
- Ênfase na “puxada” do consumidor, ao invés daquilo “empurrado” pela organização;
- Comprometimento com o melhoramento contínuo por meio do desenvolvimento das pessoas.

Filho e Fernandes (2004) analisaram vários trabalhos relacionados à manufatura enxuta e, de acordo com o estudo deles:

- A respeito dos capacitadores enxutos, tem-se que o trabalho em equipe, o kanban e a tecnologia de grupo são os capacitadores mais abordados pela literatura, enquanto a utilização de medidas de desempenho enxutas e de gráficos de controle visuais são os capacitadores menos trabalhados na literatura.
- Em relação aos princípios enxutos, os mais abordados pelos trabalhos são: produção puxada/*just in time*, trabalho em fluxo/simplificação do fluxo e desenvolvimento e capacitação de recursos humanos. Os menos estudados são gerenciamento visual e ordem, limpeza e segurança.

Portanto é importante conceituar *Just in time* que, segundo Slack *et al.* (2002), significa produzir bens e serviços exatamente no momento em que são necessários, não antes para que não formem estoques e, não depois para que não tenham que esperar. Os mesmos autores colocam que existem muitas frases e termos para descrever a abordagem JIT como, por exemplo:

- Manufatura enxuta;
- Manufatura de fluxo contínuo;
- Manufatura de alto valor agregado;
- Produção sem estoque;
- Guerra ao desperdício;
- Manufatura veloz;
- Manufatura de tempo de ciclo reduzido.

Segundo eles, a melhor maneira de compreender como a abordagem JIT difere da abordagem tradicional de manufatura é analisar o contraste entre elas. A tradicional que

produz estoque entre cada estágio e o JIT onde os componentes são produzidos e passados diretamente para o próximo estágio em que estão sendo processados.

Outro importante conceito está ligado à capacidade produtiva que os mesmos autores descrevem como o nível máximo de atividade de valor adicionado em determinado período de tempo, que o processo pode realizar em condições normais de operação.

3.3.1 Arranjo físico

Slack *et al.* (2002), coloca que o arranjo físico de uma operação produtiva preocupa-se com o posicionamento físico dos recursos de transformação. Para os autores, definir o arranjo físico é decidir onde colocar todas as instalações, equipamentos e pessoal de produção.

Duarte (2003) cita em seu trabalho que diversos autores conceituam arranjo físico ou *layout* da mesma forma variando apenas a nomenclatura.

Segundo Slack *et al.* (2002), na prática a maioria dos arranjos deriva de apenas quatro tipos básicos:

- Arranjo físico posicional: também conhecido por arranjo físico de posição fixa, é aquele que os recursos transformados não se movem entre os recursos transformadores, ou seja, em vez de materiais, informações ou clientes fluírem por uma operação, quem sofre o processamento fica estacionário, enquanto equipamento, instalações e pessoas movem-se na medida do necessário;
- Arranjo físico por processo: é assim chamado, pois as necessidades e conveniências dos recursos transformadores que constituem o processo na operação dominam a decisão sobre o arranjo físico.
- Arranjo físico por produto: envolve localizar os recursos produtivos transformadores inteiramente segundo a melhor conveniência do recurso que está sendo transformado;
- Arranjo físico celular: é aquele em que os recursos transformados, entrando na operação, são pré-selecionados para movimentar-se para uma parte específica da operação (ou célula) na qual todos os recursos transformadores necessários a atender a suas necessidades imediatas de processamento se encontram.

Para Rother e Harris (2002) célula é um arranjo de pessoas, métodos e materiais em que as etapas do processo estão próximas e ocorrem em ordem seqüencial, sendo que as partes são processadas em um fluxo contínuo ou, em alguns casos, de forma consistente com lotes pequenos mantidos em toda a seqüência das etapas do processo.

Dentro os benefícios alcançados com a manufatura celular estão a redução do *lead time*, redução do volume de material transportado dentro do sistema e diminuição do tempo de

setup; a idéia básica do arranjo celular é dividir o sistema de manufatura em diversas células, onde as peças similares são processadas em uma mesma célula para melhorar a produtividade (CHEN *et al apud* OLIVEIRA, 2003).

Um importante conceito que precisa ser abordado que influenciará na obtenção dos benefícios com a manufatura celular é o balanceamento de linha (ou célula) que irá definir o conteúdo de trabalho de cada célula. No tópico a seguir este conceito será melhor abordado.

3.3.2 Balanceamento de linha

Segundo Souza *et al.* (2003), em um sistema de linha de montagem, a matéria prima entra e progressivamente se move através de uma série de estações de trabalho enquanto está sendo transformada no produto desejado.

Para que a matéria prima possa ser transformada em produto, respeitando a demanda do cliente e evitando desperdícios em relação à má utilização de recursos, é necessário que as estações de trabalho sejam devidamente balanceadas.

O balanceamento de linha, de acordo com Duarte (2003), consiste em harmonizar todas as atividades ligadas ao processo produtivo, focando o processo de uma forma macro (matéria prima – produto acabado) ou de forma micro (células de manufatura, linha de montagem).

De acordo com Oliveira (2007), o objetivo do balanceamento de linha consiste em compatibilizar a produção com a demanda a fim de assegurar a entrega pontual e evitar o acúmulo de estoque indesejável. Tempo de ciclo do processo é o tempo necessário à conclusão de todo o processo sendo que sua análise é normalmente executada através do acompanhamento do trabalho das atividades exigidas no processo.

3.4 Simulação Computacional

Este capítulo tem como objetivo abordar uma revisão bibliográfica sobre a simulação computacional como ferramenta para previsão de problemas e tomada de decisão, com a construção de modelos de simulação para a análise de sistemas de manufatura em desenvolvimento.

3.4.1 Conceitos, vantagens e desvantagens de simulação.

Baines *et al* (2004) descreve simulação discreta como uma técnica de construção de modelos que demonstra o comportamento de um sistema real.

Para Harrel *et al* (2002) simulação é um processo de experimentação com um modelo detalhado de um sistema real para determinar como o sistema responderá a mudança em sua estrutura, ambiente ou condição de contorno.

Leal (2003) define simulação como a representação de um procedimento em um tempo menor do que levaria no cenário real e com menor custo, favorecendo a previsão do comportamento do sistema para que se possam tomar as devidas ações corretivas visando à redução de custos.

Carson (2004) descreve a simulação como sendo muito útil nas seguintes situações:

- Não há nenhum modelo analítico simples, planilha eletrônica, modelo ou cálculo que é suficientemente preciso para analisar a situação;
- O sistema real é regularizado; quer dizer, não é caótico e descontrolado. Componentes de sistemas podem ser definidos e caracterizados e suas interações definidas;
- O sistema real tem algum nível de complexidade, interação, ou interdependência entre vários componentes, ou puro tamanho que se faz difícil de agarrar em sua totalidade. Em particular, é difícil ou impossível predizer o efeito de mudanças propostas;
- Quando se está projetando um sistema novo, considerando grandes mudanças no *layout* físico ou regras operacionais em um sistema existente, ou enfrentado novas e diferentes demandas;
- Quando se está considerando um grande investimento em um novo ou existente sistema, e ele representa uma modificação de sistema de um tipo para o qual se tem pequeno ou nenhuma experiência e conseqüentemente tem um risco considerável;
- Quando precisa-se de uma ferramenta onde todas as pessoas envolvidas possam concordar, a partir de suposições, e então ver (estatisticamente e com animação) os resultados e efeitos dessas suposições;
- Simulação com animação é um excelente treinamento e dispositivo educacional, para gerentes, supervisores, engenheiros e operadores. De fato, em sistemas de larga escala física, a simulação animação pode ser o único modo de a maioria dos participantes visualizarem como o trabalho deles contribui ao sucesso do sistema ou cria problemas para outros.

Segundo SILVA (2005) a simulação computacional é uma ferramenta que vem apresentando constante evoluções devido, principalmente, aos avanços nas áreas de *hardware* e *software*.

Os benefícios ganhos com um estudo de simulação incluem (BELGE):

- Evita retrabalhos desnecessários por ser uma ferramenta que permite análise de, por exemplo, layout de uma linha antes de sua implementação;
- Aumento da produtividade, com menor tempo de movimentação dos recursos decorrente da reorganização física e/ou da alteração das tarefas.
- Aumento da satisfação do cliente devido a um menor tempo de espera para as ordens de produção no sistema;
- Melhores e maiores informações para a tomada de decisão; ao invés de apenas o tempo médio que as unidades gastam numa fila de estoque em processo (WIP), teremos o mínimo, o máximo, um histograma, um gráfico ao longo do tempo, e o intervalo de confiança;
- Economia no tempo de trabalho do(s) analista(s) comparado às técnicas manuais ou às técnicas que consomem mais tempo; mais dados de tempo e de custo podem ser desenvolvidos rapidamente com a simulação, comparado ao uso de planilhas várias vezes fazendo a variação das taxas de chegada de ordens de produção;
- A simulação requer uma real necessidade de conhecer profundamente o processo e/ou o problema que é objeto da simulação;
- Trabalho em grupo e comunicação. Devido ao aspecto gráfico e à habilidade de imitar a realidade, as pessoas tendem a ficar facilmente envolvidas no projeto, e tendem a compreender mais rapidamente os desdobramentos das mudanças propostas. O passo de validação do projeto requer uma coordenação de idéias.

Por outro lado, freqüentemente simulações consomem tempo, dados não estão disponíveis ou são caros de se obter, e o tempo disponível para as tomadas de decisões não são suficientes para um estudo seguro; em algumas situações, as animações e outras exibições visuais, combinadas com a pressão de tempo em todos os projetos, podem enganar os tomadores de decisão em conclusões prematuras baseado em evidência insuficientes (CARSON, 2004).

Bressan apud Pereira (2000) apresenta as seguintes desvantagens do uso da simulação:

- Cada execução da simulação estocástica produz apenas estimativas dos parâmetros analisados;
- O modelo de simulação em geral é caro e consome muito tempo para desenvolver;
- Os resultados da simulação quando apresentados em grandes volumes de dados e com efeitos de animações e gráficos, podem levar a uma confiança nos resultados

acima da justificada. Se o modelo não for uma representação válida do modelo em estudo, este não terá utilidade, mesmo que os resultados causem boa impressão;

- Alguns conceitos são bastante importantes de se conhecer ao se utilizar a simulação; dentre eles estão os tipos de sistema, modelo e de simulação.

Segundo PEREIRA (2000), em simulação é possível trabalhar com sistemas discretos, contínuos ou a combinação dos dois.

Harrel *et al* (2002) descreve os tipos de sistema e dois tipos de modelo, conforme abaixo:

- Sistema discreto e contínuo: Um evento discreto é uma ação instantânea que ocorre em um único momento. Na simulação de modelos de eventos discretos, o computador mantém um dispositivo temporal conhecido por “relógio de simulação” que avança à medida que cada evento acontece num determinado instante. Se um evento representa o início de uma atividade que será concluída no futuro, a simulação adicionará o tempo de conclusão a uma lista de futuros eventos e avançará o relógio para a próxima vez em que o evento ocorre. Já o evento contínuo é uma ação que não cessa. Ele continua ininterruptamente com relação ao tempo. A simulação contínua permite que variáveis do modelo mudem continuamente ao longo do tempo, com a taxa de mudança definida e amarrada ao relógio de simulação. Em decorrência do fato de que muitos processos contínuos podem sofrer aproximações através da divisão de grandes lotes em elementos menores, os métodos de modelagem de eventos discretos podem ser empregados em muitos estudos de simulação de processos contínuos.
- Modelos estáticos e dinâmicos: um modelo estático é aquele que não é influenciado pelo tempo não havendo relógio de simulação envolvido. Segundos, horas e dias não desempenham nenhum papel no modelo. O modelo dinâmico é uma representação que é influenciada pelo tempo. O estado do modelo é decorrente de segundos, horas, dias e meses simulados no relógio da simulação. A manufatura e muitos sistemas de serviços são geralmente modelados usando a abordagem dinâmica. Níveis de fila, taxas de entrada e grau de utilização de equipamentos são exemplos de variáveis dinâmicas.

Pereira (2000) descreve modelo determinístico e estocástico da seguinte forma:

O modelo é dito determinístico quando as variáveis que de entrada que representam o sistema assumem valores exatos, assim, os resultados desse tipo de simulação serão sempre os mesmos independentemente do número de replicações que se fizer para o modelo. O modelo

estocástico permite que se dê entrada com uma coleção de variáveis que podem assumir diversos valores dentro de uma distribuição de probabilidades, distribuição esta que pode ser definida pelo modelador. Os resultados gerados pelos modelos estocásticos são diferentes a cada replicação, em razão da natureza aleatória das variáveis que dão entrada no modelo;

Segundo Pereira (2000) a simulação pode ser determinante e não determinante; a simulação é dita terminante quando se está interessado em estudar o comportamento do sistema num dado intervalo de tempo de simulação. Quando se está interessado em estudar o sistema a partir do momento em que o mesmo atingir um estado estável (steady-state), a simulação é dita não terminante. O fato de a simulação ser dita não terminante, significa que a partir de um determinado momento a simulação poderia continuar indefinidamente sem que estatisticamente o sistema venha a ter mudanças significativas de comportamento.

Segundo o autor (PEREIRA, 2000), no caso de uma indústria de manufatura, que trabalha em três turnos, o tempo de simulação poderá obrigatoriamente ter que abranger todos esses turnos, se os mesmos tiverem comportamentos diferentes entre si, ou seja, se o primeiro turno rodar com todos os seus recursos, e se o segundo e terceiro turnos rodarem apenas as operações gargalos. O conceito importante das simulações não terminantes, que é o caso de uma linha de produção para fabricação em lotes, é de que não se podem colher resultados significativos dessas simulações antes que o sistema adquira estabilidade. A Tabela 2 descreve resumidamente os tipos de sistema, modelo e simulação descritos acima.

Tabela 2 – Resumo dos principais conceitos de simulação computacional

SISTEMA	MODELO		SIMULAÇÃO
DISCRETO: Variáveis envolvidas assumem valores finitos ou infinitos numeráveis.	DETERMINÍSTICO: Variáveis assumem valores determinados.	ESTÁTICO: Estuda o sistema sem levar em conta sua variabilidade com o tempo.	TERMINANTE: Há interesse em se estudar o sistema num dado intervalo de tempo
CONTÍNUO: Variáveis mudam constantemente com o tempo	ESTOCÁSTICO: Variáveis assumem valores diversos segundo uma determinada distribuição de probabilidades	DINÂMICO: Representa o sistema a qualquer tempo	NÃO TERMINANTE: Há interesse em estudar o sistema a partir de um determinado estado estável, podendo o estudo prolongar-se indefinidamente.

Fonte: PEREIRA (2000)

Segundo Silva (2005), sendo a simulação terminante, necessita-se definir o tempo necessário para se obter resultados aceitáveis na simulação e o número de replicações necessárias para se obter uma amostragem estatística confiável.

3.4.2 Quantidade de replicações

De acordo com Pereira (2000), a definição do número de replicações necessárias pode ser feita a partir da análise de intervalo de confiança, utilizando-se a distribuição *t* de *Student*. Essa distribuição é a mais apropriada para pequenas amostras ($N < 30$) e também porque o desvio padrão da população σ é desconhecido.

$$P \left[-t_{\alpha/2;n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \bar{X} - \mu \leq t_{\alpha/2;n-1} \frac{S}{\sqrt{n}} \right] = 1 - \alpha$$

Equação 1

O autor descreve que a equação 1 fornece o intervalo de confiança, onde $(\alpha - 1)100$ representa o intervalo de confiança (probabilidade) para a diferença entre a média encontrada X e a verdadeira média μ . A amostra considerada tem tamanho n , portanto com $n - 1$ graus de liberdade, e o desvio padrão dessa amostra é S .

O número de dados da amostra também pode ser entendido como o número de réplicas utilizado e o aumento da precisão pode ser obtido através do aumento do número de replicações.

A equação 2 abaixo fornece o número de replicações (n) que devem ser executadas para que se obtenha uma diferença desejada entre a média da amostra X e a verdadeira média μ .

$$n = \left(t_{\alpha/2;n-1} \frac{S}{\bar{X} - \mu} \right)^2$$

Equação 2

Para Chung (2004), a seleção do número inicial de replicações é arbitrária sendo que um pequeno número escolhido aumenta a probabilidade da necessidade de mais replicações, enquanto um número exagerado pode se mostrar inútil, acarretando maior tempo consumido. Um número comumente utilizado é de 10 replicações, segundo o autor.

3.4.3 Fases da simulação

Silva (2005) descreve que a maioria dos trabalhos de simulações mal sucedidos tem como principal causa à deficiência de um bom planejamento de seu estudo.

Segundo Carson (2004) em todo projeto de simulação existem fases e passos cuja meta é o sucesso do projeto; Ele apresenta alguns passos importantes que devem ser seguidos para o atendimento de tal meta:

- Iniciação do projeto: Fazer uma reunião de início de projeto, formulando o problema, definição de objetivos, determinação de mensurações de desempenho e detalhes critérios de dados, seguidos por um plano de projeto com custos estimados e linha do tempo do projeto.
- Trabalho do projeto: O projeto “trabalho” consiste em desenvolvimento modelo e coleta de dados. O modelo de funcionamento é sujeito a verificação e validação na próxima fase.
- Desenvolvimento do modelo: consiste, em duas atividades principais: (1) desenvolvimento de estruturas de dados para representar os dados necessários ao modelo, e (2) tradução de uma modelagem de suposições no idioma ou representação requerido pelo pacote de simulação. O analista de simulação tem que projetar estruturas que representem os dados e suas inter-relações.
- Verificação e validação do modelo: Nesta fase o analista de simulação verifica o modelo, e trabalhando com o cliente, valida o mesmo. Se forem encontrados problemas, o modelo e/ou os dados são corrigidos.
- Experimentar, analisar e reportar: o propósito é conhecer os objetivos de projeto iniciais, avaliando e comparando com o desempenho de sistema, identificando qualquer problema ou gargalos pela análise.

Law (2006) apresenta sete passos para conduzir um estudo de simulação com sucesso, construindo um modelo adequado, confiável e funcional, conforme abaixo:

- Passo 1 - Formular o problema: Torna-se necessário definir os objetivos gerais do estudo, as questões a serem respondidas, as medidas de desempenho, o escopo do modelo, as configurações que serão modeladas e os recursos necessários (tempo, pessoas, computadores etc.).
- Passo 2 - Coletar informações no layout do sistema e procedimentos operacionais, coletar dados para especificar o parâmetro do modelo e distribuições de probabilidade, etc. Se o sistema a ser simulado existe deve-se coletar dados de desempenho para o passo cinco.
- Passo 3 – Hipótese Válida?: Realizar a validação conceitual do modelo com os especialistas.
- Passo 4 - Programar o modelo: Verificar o programa de computador.
- Passo 5 - Modelo Válido?: Comparar os resultados do modelo com os obtidos pelo sistema real, caso este exista. Se o modelo representa um sistema ainda inexistente

pode-se validar face a face, ou seja, analisando a sua consistência com especialistas. É interessante usar análise de sensibilidade sempre que possível.

- Passo 6 – Para cada configuração é necessário decidir o tamanho da simulação, período de *warmup* e o número de replicações. Analisar os resultados e decidir se são necessários experimentos adicionais.
- Passo 7 – Documentar os Atuais resultados de simulação: documentar o modelo e realizar a apresentação final. Construir a animação para uma melhor visualização do modelo e possível verificação do mesmo.

Um importante aspecto associado ao processo de desenvolvimento de modelos de simulação é a validação. Depois de finalizado o modelo, deve-se garantir que ele traduz fielmente, dentro de um propósito definido, o sistema real.

3.4.4 Verificação e validação do modelo simulado

Segundo Law (2006), validação é um processo que determina se um modelo simulado é uma representação de um sistema atual, para objetivos particulares do estudo, onde algumas perspectivas sobre a validação podem ser apontadas a seguir:

- Um modelo validado pode ser usado para tomar decisões semelhantes às aquelas que seriam tomadas se fosse possível e com custo-efetivo experimentar o sistema na prática;
- A facilidade ou dificuldade do processo de validação depende da complexidade do sistema modelado e em se uma versão do sistema existe atualmente;
- Um modelo de simulação de um sistema complexo pode somente ser uma aproximação do sistema atual, não importa quanto tempo e dinheiro será gasto na construção do modelo;
- O modelo de simulação sempre deve ser desenvolvido para um conjunto particular de objetivos;
- Validação não é algo para ser tentado após o modelo de simulação já ter sido desenvolvido, e só se tiver tempo e dinheiro disponível.

Validação e verificação de modelos de simulação são etapas críticas no desenvolvimento desses modelos (SARGENT, 2004). O autor aponta quatro métodos para decidir se um modelo é válido ou não:

- A própria equipe de desenvolvimento do modelo toma a decisão sobre sua validação. Uma decisão subjetiva é tomada baseada em testes e avaliações conduzidas como parte do processo de desenvolvimento do modelo;
- O futuro usuário é envolvido juntamente com a equipe de desenvolvimento na determinação da validade do modelo, que ganha em credibilidade;
- A decisão sobre a validade ou não do modelo cabe a terceiros, no que é chamado verificação e validação independentes. Neste caso, esses terceiros devem possuir um completo entendimento a respeito do propósito da simulação, de forma a realizar a condução do IV&V, que pode ser realizada durante o desenvolvimento ou após o término do modelo;
- Uso de modelos de escores. São atribuídos escores a diversos aspectos de um modelo já validado (padrão). Se os escores do modelo em avaliação forem maiores do que os escores do modelo padrão, o modelo é considerado validado.

Harrel et al (2002) descreve a validação como um processo de se assegurar que o modelo reflete a operação do sistema real em estudo de tal forma que de encaminhamento ao problema definido.

Segundo Carson (2004) existem diversas técnicas que podem ser usadas durante a validação, incluindo:

- O uso da animação e outros displays visuais para comunicar suposições de modelos;
- Mensurações de desempenho de saída para uma configuração de modelo representando um sistema existente ou um projeto inicial, que membros do time possam julgar modelos razoáveis.

Sargent (2004) afirma existir diversas técnicas de validação, podendo ser objetivas (uso de algum tipo de teste estatístico ou procedimento matemático) ou subjetivas. Como exemplo, pode-se citar:

- A animação, na qual o comportamento operacional do modelo é graficamente mostrado conforme o modelo é simulado;
- A comparação com outros modelos, onde vários resultados do modelo de simulação a ser validado são comparados com resultados de outros modelos já validados; e
- Testes de degeneração: Exemplo: A fila continua a aumentar se a taxa de chegada for maior que a taxa de serviço?
- Validação de eventos: Os eventos ou ocorrências são comparados com o sistema real;

- Testes de condição extrema: A estrutura e as saídas devem ser razoáveis com condições extremas. Ex: Se o estoque em processo for zero, a produção deve ser zero.
- Validação presencial: Perguntar a pessoas especialistas;
- Validação por dados históricos: se houver dados, parte dos dados é usado para construir o modelo e o restante para validar;
- Métodos históricos: Racionalismo, Empirismo e economia positivista. Racionalismo assume que todos sabem se as proposições do modelo são verdadeiras. Deduções lógicas dessas proposições são usadas para desenvolver um modelo válido. Empirismo requer que cada suposição e saída seja validada empiricamente. Economia positivista requer somente que o modelo seja capaz de prever o futuro e não se preocupa com as suposições ou estruturas;
- Validação interna: Várias réplicas de um modelo estocástico são feitas para determinar a variabilidade estocástica existente no modelo. Muita variabilidade pode questionar os resultados;
- Validação multiestágio:
 1. Desenvolver as suposições na teoria, observação e conhecimentos gerais,
 2. Validar as suposições onde for possível testando empiricamente,
 3. Comparar as relações entre entrada e saída com o sistema real;
- Gráficos operacionais: Valores de desempenho mostradas ao longo da rodada do modelo, visualmente.
- Variabilidade dos parâmetros - Análise de sensibilidade: Mudar os valores para determinar os efeitos nas saídas. Os parâmetros sensíveis devem estar suficientemente precisos antes do uso do modelo;
- Validação preditiva: Modelo usado para previsão e o comportamento do sistema previsto é comparado;
- Rotas: Seguir o comportamento das entidades para ver se estão corretas;
- Testes Turing: especialistas são questionados se conseguem distinguir entre saídas do sistema real e do simulado;

3.4.5 Simulação aplicada ao sistema de manufatura

De acordo com O’Kane *et al* (2000), os modelos de simulação consistem em um dos métodos mais populares e acessíveis, financeiramente, para análise de sistemas industriais complexos, uma vez que métodos tradicionais, modelos matemáticos ou analíticos não são

adequados para o entendimento de sistemas de manufatura com diversas operações discretas que ocorrem aleatoriamente e com comportamento não-linear.

Baines *et al* (2004), aponta a simulação computacional como uma das técnicas mais utilizadas em projetos de sistemas de manufatura no setor automotivo.

Diversas razões são apresentadas por Banks *et al* (2005) para se utilizar simulação em ambientes de manufatura, até mais que em outras áreas. Tem-se a seguir:

- Aumento de produtividade e qualidade nas indústrias é resultado direto da automação de processos. Como sistemas automatizados se tornam mais complexos a cada dia, eles só poderão ser analisados utilizando simulação.
- Os custos com equipamentos e instalações são enormes.
- Os custos com computadores têm diminuído.
- A evolução dos softwares de simulação tem se dado de forma muito rápida no sentido de redução do tempo para se desenvolver um modelo.

A possibilidade de se ter uma representação visual prévia do sistema de manufatura tem sido bastante positiva aos gestores.

Algumas razões da utilização da simulação nos sistema de manufatura são enumeradas por Montevechi *et al.* (2007):

- O aumento em produtividade e qualidade na indústria é um resultado direto de automatização. Como sistemas de automatização fique mais complexo, eles só podem ser analisados simulação usando;
- Os custos com equipamento e instalações são enormes;
- O custo de computadores está ficando mais baixo e mais rapidamente;
- Melhorias em software de simulação reduziram o tempo desenvolvimento de modelos.
- A disponibilidade de animação resultou em compreensão mais alta uso de gerentes industriais.

4 ESTADO PRESENTE

A implementação de novos projetos de chicotes automotivos é um processo demorado e dispendioso que envolve diversos departamentos (*Figura 9*) e possui interfaces com todas as áreas da empresa.

O chicote tem como função a distribuição de energia elétrica nos automóveis, fazendo com que toda a parte elétrica do veículo e as funções que dela dependem, como a ignição, a injeção eletrônica de combustível, os freios ABS e *air bag*, funcionem perfeitamente.

Para uma empresa que vende chicotes automotivos, o projeto e desenvolvimento de processos produtivos é uma etapa muito importante que determina como, em quanto tempo e com qual qualidade a manufatura irá confeccionar os chicotes.

Atuar em processos de melhoria é essencial para que as empresas se mantenham flexíveis e inovadoras, sobrevivendo ao ambiente competitivo.

De acordo com Slack (1993), atingir uma vantagem competitiva significa fazer as coisas melhor do que os concorrentes. Fazer melhor significa:

- Fazer certo - a vantagem da qualidade;
- Fazer rápido - a vantagem da velocidade;
- Fazer pontualmente - a vantagem da confiabilidade;
- Estar apto a mudar *ou inovar* o que é feito - a vantagem da flexibilidade *e da inovação*;
- Fazer barato - a vantagem de custo.

Estes cinco objetivos de desempenho: qualidade, velocidade, confiabilidade, flexibilidade e custo aplicam-se ao processo de desenvolvimento de novos projetos para chicotes automotivos uma vez que as montadoras procuram estas características na hora de se escolher o fornecedor. Para que estes objetivos de desempenho possam ser atingidos, primeiramente é necessário conhecer de forma clara o processo em questão; com a utilização do Mapeamento, o processo poderá ser desenhado e as melhorias poderão ser identificadas.

O objeto de estudo será o centro de desenvolvimento de novos projetos de processos produtivos de uma empresa do setor automotivo que se caracteriza por implementar novos projetos para quatro plantas de manufatura, possuir seis departamentos e um total de 150 funcionários.

O departamento de aplicação é responsável por gerenciar todas as informações referentes ao novo projeto e difundir para os demais sendo responsável por todo o gerenciamento do projeto.

4.1 Aplicação do SSM no desenvolvimento de novos projetos

Como abordado no capítulo 2, a metodologia utilizada neste trabalho é a SSM que tem o propósito de estudar as situações problemáticas de uma maneira bem estruturada baseada em sete passos.

A análise foi feita na etapa de desenvolvimento de processo de chicotes automotivos e os sete passos foram devidamente aplicados.

A Tabela 3 a seguir foi elaborada descrevendo os resultados da análise desenvolvida em três ciclos:

Tabela 3 – SSM no desenvolvimento de novos projetos

1o Ciclo Preliminares	2o Ciclo Viabilidade do modelo	3o Ciclo Construção do modelo
Situação problema		
O desenvolvimento de projetos de processos produtivos precisa ser melhorado em seu lead time e qualidade para a manutenção da empresa no mercado.	Desconhecimento sobre o tempo de implementação dos projetos e quais são os processos críticos.	Falhas relacionadas ao sistema de manufatura desenvolvido identificadas apenas no momento da implementação do mesmo nas plantas produtivas.
“Figura Rica”		
Mapeamento dos processos através das técnicas SIPOC (para delimitação do escopo), Blueprinting (para mostrar as transações integrantes do processo do desenvolvimento de produto e relações clientes externos e internos).	Mapa de processo utilizando a técnica fluxograma para detalhar o fluxo presente e mensurar o lead time (tempo/homem) de cada processo.	Mapa de processo detalhado mostrando o caminho crítico e processos que definem o sistema de manufatura.
Definições de raiz		
C: externo: montadoras; interno: manufatura, plantas produtivas, logística. A: funcionários do departamento de engenharia de aplicação, processos, laboratório de métodos, ATBO, Laboratório de Validações. T: Conhecer o tempo de implementação do projeto. W: o tempo de implementação precisa ser conhecido para que o tamanho do problema seja mensurado;	C: externo: montadoras; interno: manufatura, plantas produtivas, logística. A: funcionários do departamento de engenharia de aplicação, processos, laboratório de métodos, ATBO, Laboratório de Validações. T: Determinar o caminho crítico e a conectividade entre os departamentos. W: O conhecimento do caminho críticos (restrição) determinará onde o time de trabalho deverá atuar.	C: externo: montadoras; interno: manufatura, plantas produtivas, logística. A: funcionários do departamento de laboratório de métodos. T: Utilizar a simulação como ferramenta de auxílio a construção do sistema de manufatura. W: A simulação ajudará a prever problema no desenvolvimento. O: supervisor de métodos, gerente de programa, diretor e gerente de engenharia.

<p>O: diretor e gerente de engenharia. E: Registros insuficientes para determinar o tempo de implementação de projetos.</p>	<p>O: diretor e gerente de engenharia. E: A não participação de membros importantes das áreas mapeadas, resultando em mapa que não condiz com a realidade.</p>	<p>E: Gerentes de planta, diretores e funcionários que podem não “comprar” a idéia da utilização da simulação e paralisar o projeto.</p>
Modelo conceitual		
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mapear a fase de projeto e desenvolvimento de processo de chicotes; automotivos; 2. Detalhar o mapeamento e mensurar o lead time de implementação de projetos; 3. Propor fluxo futuro. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mapear a fase de projeto e desenvolvimento de processo de chicotes automotivos; 2. Detalhar o mapeamento e mensurar o lead time de implementação de projetos 3. Determinar o caminho crítico e quais processos fazem parte dele utilizando como referência um projeto já implementado; 4. Propor fluxo futuro 5. Implementar fluxo futuro atuando em processos críticos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mapear a fase de projeto e desenvolvimento de processo de chicotes automotivos; 2. Detalhar o mapeamento e mensurar o lead time de implementação de projetos 3. Determinar o caminho crítico e quais processos fazem parte dele utilizando como referência um projeto já implementado; 4. Propor fluxo futuro 5. Implementar fluxo futuro atuando em processos críticos. 6. Utilizar a simulação como ferramenta auxiliar no desenvolvimento do sistema de manufatura.
Agenda		
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Time de trabalho para os mapeamentos e nível de envolvimento dos gestores; ✓ Como mensurar o lead time de cada processo; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Qual o departamento que utiliza mais tempo em uma implementação, considerando o caminho crítico; ✓ Quais processos críticos serão melhorados; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Time de trabalho para construção do modelo de simulação; ✓ Escolha do projeto piloto a ser estudado; ✓ Qual ferramenta de simulação será utilizada; ✓ O desenvolvimento do modelo simulado será interno ou externo.
Debate		
<p>Reunião com os gestores e funcionários chaves de cada departamento para definição do time de trabalho e como será mensurado o lead time.</p>	<p>Reunião com o time de trabalho para decidir quais processos serão melhorados utilizando a Teoria das Restrições e baseando-se no lead time/ importância dos processos.</p>	<p>Reunião para definição do time de trabalho que deverá conter responsáveis pelo sistema de manufatura, gerente de projeto, analista de simulação (interno ou externo), especialistas em sistema de manufatura que contribuirão para a validação do modelo conceitual e do modelo computacional.</p>

Ação		
Organização de workshops com a participação dos gestores e funcionários dos departamentos para mapeamento, validação e mensuração do lead time de desenvolvimento utilizando um projeto já implementado.	Atuar nos processos de definição do sistema de manufatura feitos pelo Laboratório de Métodos por representarem 45% do tempo de implementação e, portanto, restringem o desenvolvimento de projetos de processos produtivos.	Treinar funcionário em Promodel para que ele esteja capacitado a desenvolver junto aos demais membros do time uma metodologia utilizando a simulação durante a definição do sistema de manufatura de um projeto piloto com objetivo de identificar possíveis problemas durante seu desenvolvimento.

Pela tabela, verifica-se que no início da análise do problema a figura presente não estava visível, sendo necessária à utilização de técnicas de mapeamento que desenhasssem o estado atual. O objetivo traçado pelo alta diretoria de se melhorar o tempo de implementação não era mensurável, pois nem ao menos se conhecia em quanto tempo um projeto era implementado, sendo necessário o detalhamento do mapeamento e determinação do caminho crítico através da mensuração do tempo de implementação de um novo projeto. Com a figura presente previamente mapeada e o caminho crítico identificado então seria possível a proposição de um fluxo futuro utilizando a abordagem de TOC (Teoria das restrições).

A implementação do fluxo futuro proposto seria então concretizada com o auxílio da simulação aplicada no desenvolvimento do sistema de manufatura a ser desenhado.

Através da tabela acima (Tabela 3) foi então possível estabelecer o modelo conceitual composto por seis tópicos, que nortearão o desenvolvimento do trabalho:

- Mapear a fase de projeto e desenvolvimento de processo de chicotes automotivos: utilizar técnicas de mapeamento adequadas para delimitar o processo em estudo e verificar as interfaces entre os departamentos;
- Detalhar o mapeamento e mensurar o lead time de implementação de projetos: Utilizando a técnica fluxograma, detalhar a fase projeto e desenvolvimento de processo de modo a identificar os processos críticos através da mensuração de lead time;
- Determinar o caminho crítico e quais processos fazem parte dele utilizando como referência um projeto já implementado;
- Propor fluxo futuro;
- Implementar fluxo futuro atuando em processos críticos (utilizando TOC);
- Utilizar a simulação como ferramenta auxiliar no desenvolvimento do sistema de manufatura.

4.2 Mapeamento e análise do objeto de estudo

4.2.1 Mapeamento Atual – SIPOC

De acordo com Pande *et al* (2001, pág. 255), para descrição de um processo primário pode-se utilizar o diagrama SIPOC, sigla em inglês para fornecedor (*Supplier*), entrada (*Input*), processo (*Process*), saída (*Output*) e cliente (*Customer*), que fornece uma visão geral do processo.

A técnica de mapeamento SIPOC será utilizada neste trabalho para determinar o escopo do trabalho, os limites do Mapeamento, bem como uma visão geral que sua utilização oferece, conforme abaixo:

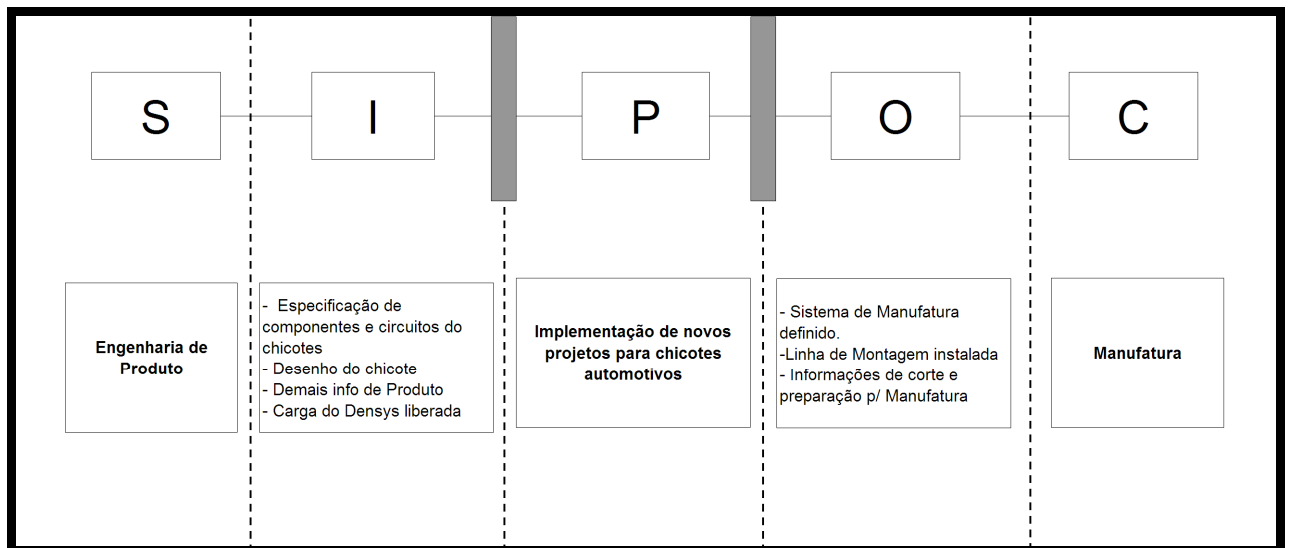


Figura 7: SIPOC do Estudo de Caso

O Mapeamento acima possibilita uma melhor visão sobre o escopo do processo bem como quais são seus fornecedores e clientes, mostrando os inputs necessários para o início do processo de implementação de novos projetos e quais são outputs esperados depois do processo finalizado.

Para o estudo em questão, o fornecedor do processo de implementação de novos projetos é a engenharia de produto responsável pelo início do desenvolvimento de produto e que fornece como entrada as especificações do cliente, BOM (*Bill of material*) do produto, desenho do chicote e demais informações essenciais ao início do desenvolvimento de processo.

Como saída após o desenvolvimento de processo temos o sistema de manufatura definido, a linha de montagem instalada e todas as informações importantes para o *start up* da linha que conduzem os trabalhos do cliente interno, a manufatura.

4.2.2 Dinâmica de Trabalho entre Departamentos

Nesta seção será abordado o processo de implementação de novos projetos de uma empresa que produz chicotes automotivos.

Uma descrição simples do processo de implementação de novos projetos para chicotes automotivos e departamentos envolvidos é mostrada a seguir:

A Engenharia de Produto, junto com os engenheiros do cliente, desenvolvem o projeto do chicote, utilizando famílias já existentes ou através de desenhos da matriz do cliente adaptados às condições brasileiras. Com o projeto já desenvolvido, o desenho é adaptado em uma linguagem entendida pela empresa, sendo enviado para a matriz do cliente, onde é plotado em um sistema que possui informações e desenhos de peças e componentes de todas as fábricas espalhadas pelo mundo.

Após o retorno dos desenhos plotados e acompanhados das tabelas dos circuitos e dos itens (materiais) utilizados na confecção do chicote, estes são enviados a Engenharia de Manufatura, responsável pela cotação e desenvolvimento do novo projeto em ferramental definitivo.

Com as tabelas e o desenho, o grupo de cotação então realiza a cotação de equipamentos e máquinas necessárias à implantação deste chicote na produção. Sendo esta cotação enviada para o setor de Vendas que entra em contato com o cliente para aprovação ou não do investimento para colocar o chicote em produção.

O Laboratório de protótipos é responsável nessa fase por confeccionar um chicote manualmente de acordo com o desenho. Este chicote é utilizado na confecção das mesas de montagem pelo departamento de dispositivos.

O Departamento de Dispositivos (ATBO) é responsável pela montagem das mesas. Este elabora o layout das mesas de montagem, em conjunto com a área de Métodos e demais áreas multifuncionais, visando uma melhor distribuição dos circuitos com economia de espaço na mesa e atendendo os requisitos dos clientes.

O chicote protótipo é utilizado para a liberação da 1ª mesa, validando a construção de outras mesas de montagem (*boards*).

Do chicote protótipo construído retira-se a lista de corte dos fios, que é passada à engenharia de aplicação, que elabora a planilha do chicote com todas as informações de montagem da fábrica. Desta planilha são geradas informações à Manufatura de onde saem às instruções de trabalho para a execução do processo.

A Engenharia de Aplicação, como dito anteriormente, também é responsável pelo gerenciamento do projeto durante toda a fase de desenvolvimento e implementação do processo produtivo na Manufatura.

Após a liberação da 1^o Mesa de Montagem pelo departamento de qualidade, o laboratório Métodos inicia o processo de desenvolvimento do sistema de manufatura, cronometrando os postos de trabalho, definindo a quantidade de mesas de montagem necessárias, o melhor método de trabalho, treinamento de operadores e desenvolvendo as ajudas visuais de processo necessárias à confecção dos chicotes automotivos.

A montagem do chicote é iniciada no *Lead Prep* (área de corte dos fios) onde são cortados os fios no comprimento indicado pela planilha de corte, decapados e recebem os terminais e/ou selos necessários.

Após o corte de todos os fios, tem-se o início da montagem dos chicotes nas mesas de montagem, etapa realizada de acordo com os estudos feitos no laboratório de métodos. Essas mesas são montadas em *conveyors* mecânicos para chicotes em alto volume de produção ou em células de fabricação chamadas de mesas estacionárias, ficando o operador fixo em seu posto de trabalho. Cada posto de trabalho possui uma ajuda visual preparada por métodos que auxilia o trabalhador a executar suas operações. Após a peça passar pelos postos de trabalho, o chicote completa uma volta no *conveyor*, finalizando assim sua montagem.

Nas linhas estacionárias as mesas são fixas e o operador monta o chicote inteiro, e não somente alguns circuitos e componentes como no *conveyors* mecânicos.

Após a montagem, o chicote pode ainda receber outros acabamentos e depois de confeccionado, cada chicote passa pela mesa de teste elétrico, para a verificação de continuidade dos circuitos, presença de componentes.

A engenharia de processos é responsável pela compra de ferramental e equipamentos necessários bem como os estudos referentes à capacidade e capacidade dos equipamentos.

Utilizando a técnica *blueprinting*, que permite mostrar as transações integrantes do processo, foi desenvolvido o Mapeamento a seguir, referente ao processo brevemente descrito acima:

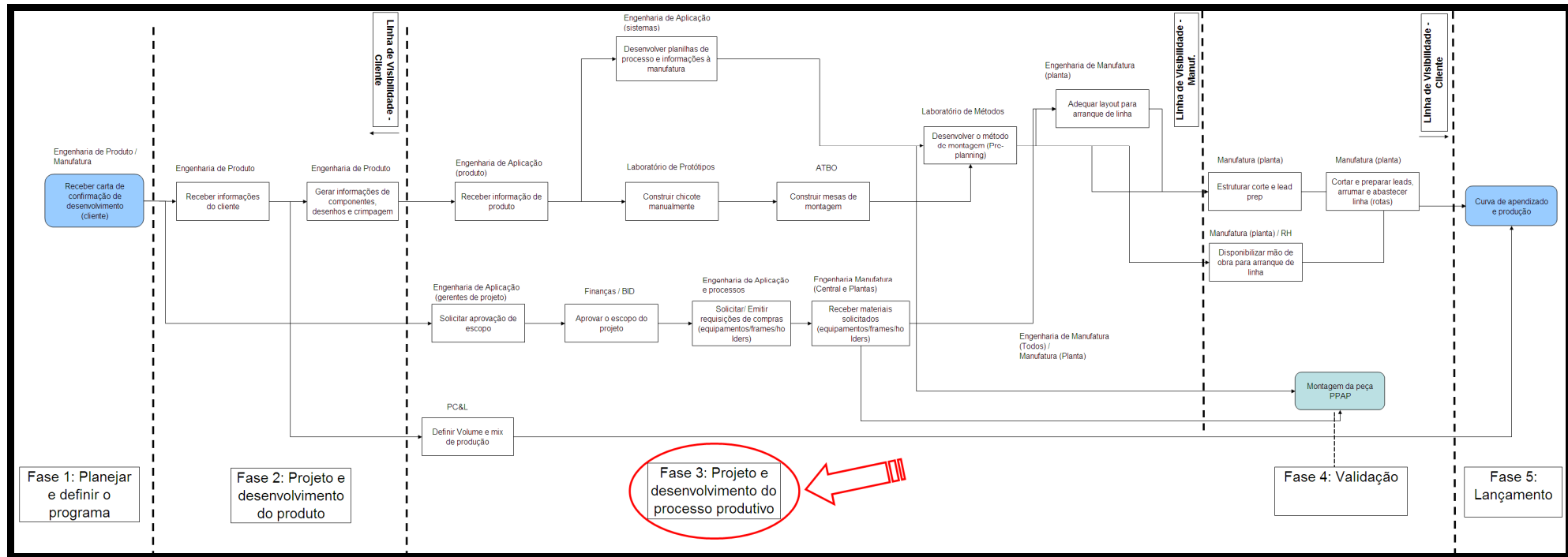


Figura 8: Mapeamento do estudo de caso usando a técnica blueprinting

De acordo com Fitzsimmons & Fitzsimmons (1998), o blueprinting é um mapa de todas as transações que constituem o processo de entrega do serviço. Esse mapa identifica tanto as atividades de linha de frente (que envolvem o cliente) como as atividades de retaguarda (que dão suporte utilizada no mapeamento acima (Figura 8) permitiu mostrar as transações integrantes do processo, bem como as relações com os clientes internos/ externos e a dinâmica de trabalho entre os departamentos.

4.2.3 Identificação dos processos críticos

Para a identificação dos processos críticos foi utilizada a técnica de mapeamento fluxograma por permitir registrar as ações de maneira simples e identificar os pontos de tomadas de decisão.

O mapeamento foi realizado seguindo os seguintes passos:

- Descrição dos processos que fazem parte do desenvolvimento de projetos de processos produtivos de chicotes automotivos pelos gestores de cada departamento;
- Identificação da conectividade entre os processos de todos os departamentos pelos gestores;
- Mensuração do Lead time (tempo/ homem) utilizando como referência um projeto já implementado;
- Validação do fluxograma pelos integrantes de cada processo;
- Identificação dos processos críticos a partir da mensuração do lead time.

A figura abaixo (Figura 9) representa os processos críticos que compõem o desenvolvimento de projetos de processos produtivos com a utilização da técnica de mapeamento fluxograma, técnica escolhida por permitir visualização dos pontos de conexão entre os processos, localização das deficiências e fácil visualização do todo.

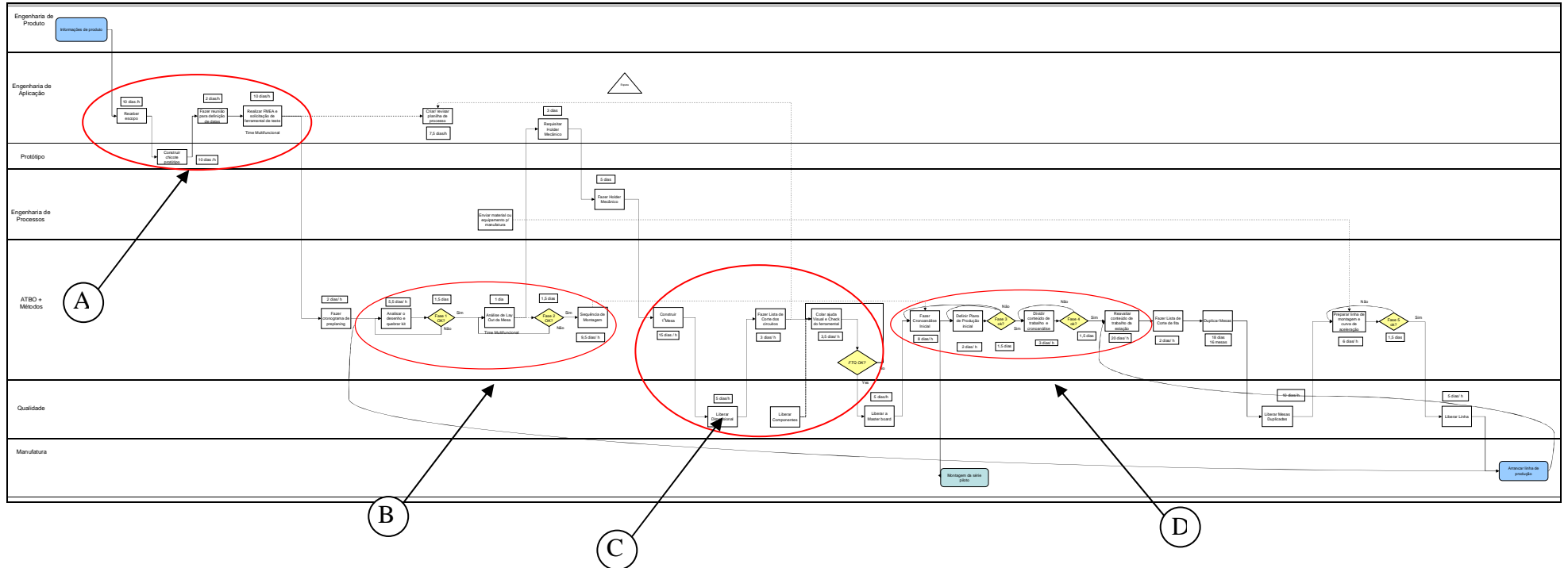
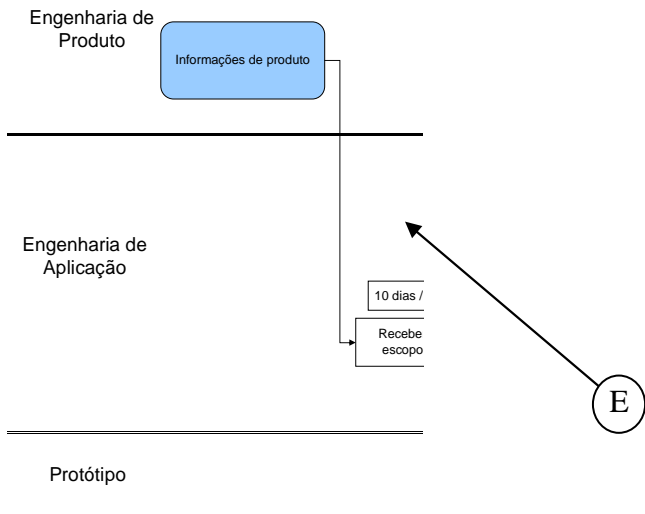


Figura 9: Caminho crítico – Fase projeto e desenvolvimento de processo



O detalhe E da Figura 9, mostra que os processos estão alocados de acordo com a área que os executa, tornando mais clara em que momento ocorre às conexões entre as áreas.

Já a Figura 10 mostra a conectividade entre a engenharia de aplicação e o laboratório de protótipos que constrói uma peça do chicote automotivo a ser desenvolvido e que é essencial ao desenvolvimento de todo o restante das atividades incluindo a análise de falhas e tomadas de ação durante o processo (PFMEA) e a solicitação de ferramental de teste baseada nos critérios do PFMEA.

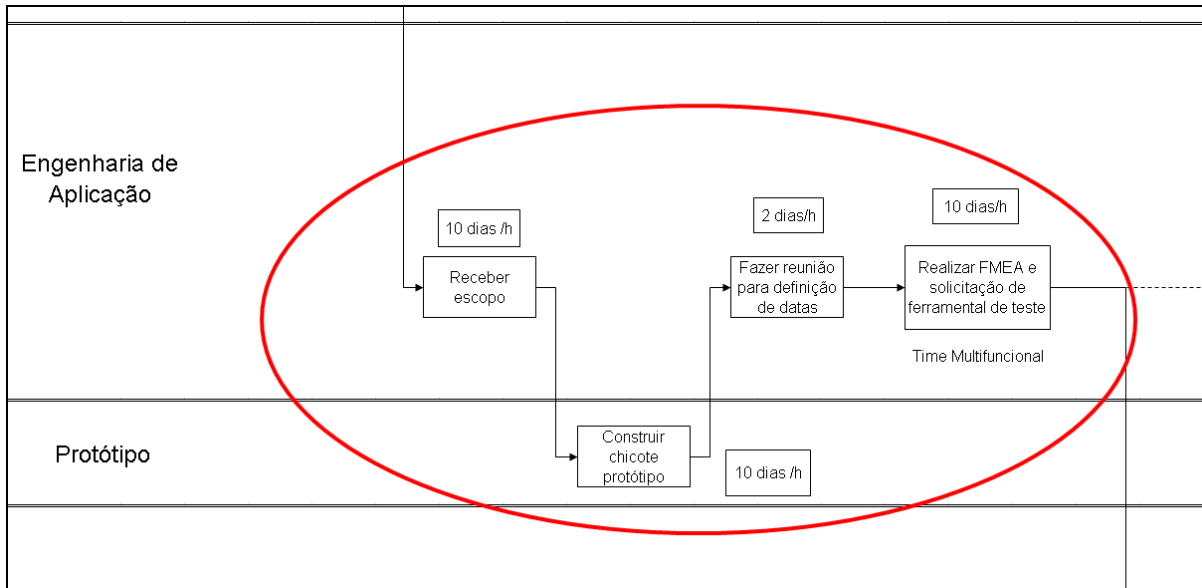


Figura 10: Detalhe A: Interface Aplicação e laboratório de protótipos

A Figura 11 (detalhe C da Figura 9) mostra a interface entre o departamento ATBO e a qualidade onde o primeiro confecciona as mesas de montagem e o segundo libera.

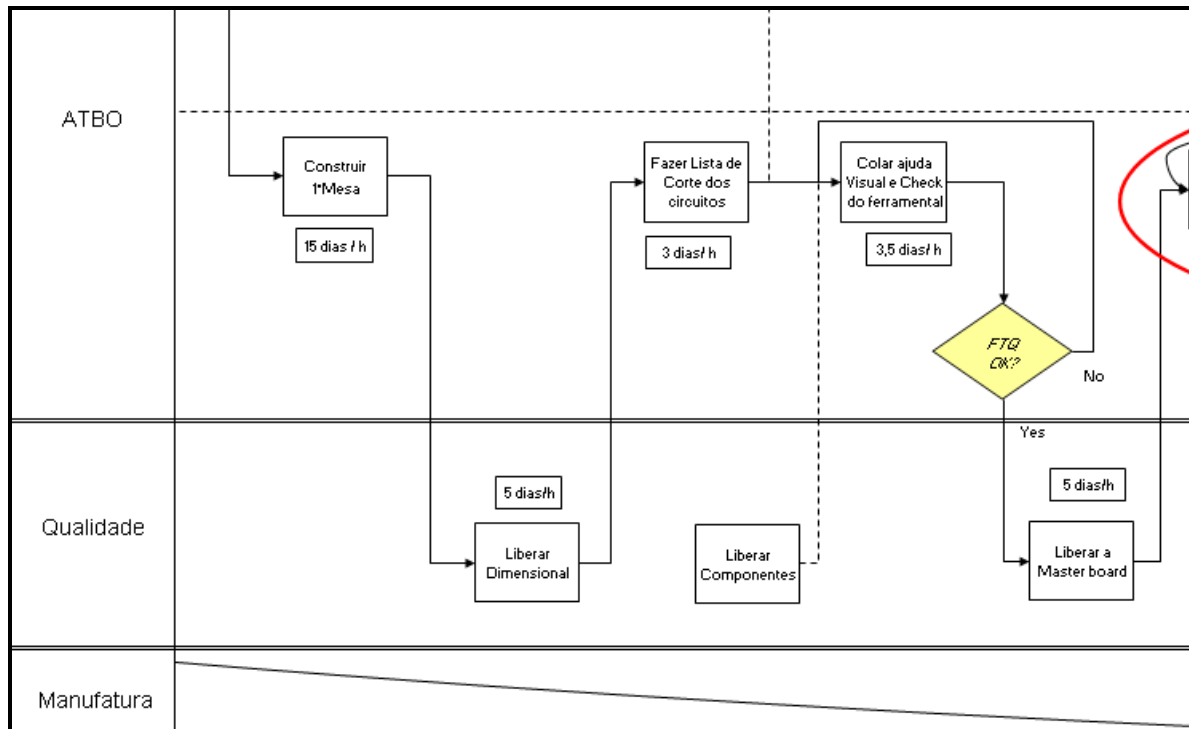


Figura 11: Detalhe C: Interface ATBO e Qualidade

Através da Figura 12 (detalhe B da Figura 9) pode-se visualizar o início do desenvolvimento do sistema de manufatura composto pela retirada de variação (quebra de kit), como exemplo o opcional de ar condicionado, da mesa de montagem final para que o *conveyor* rode em uma mesma velocidade independente do tipo de chicote a ser construído.

Logo após é feita uma verificação da primeira fase, o layout da mesa final e dos kits é fechado, finalizando a fase dois. Então, é feita uma seqüência de montagem que futuramente será utilizada para o estudo de tempos.

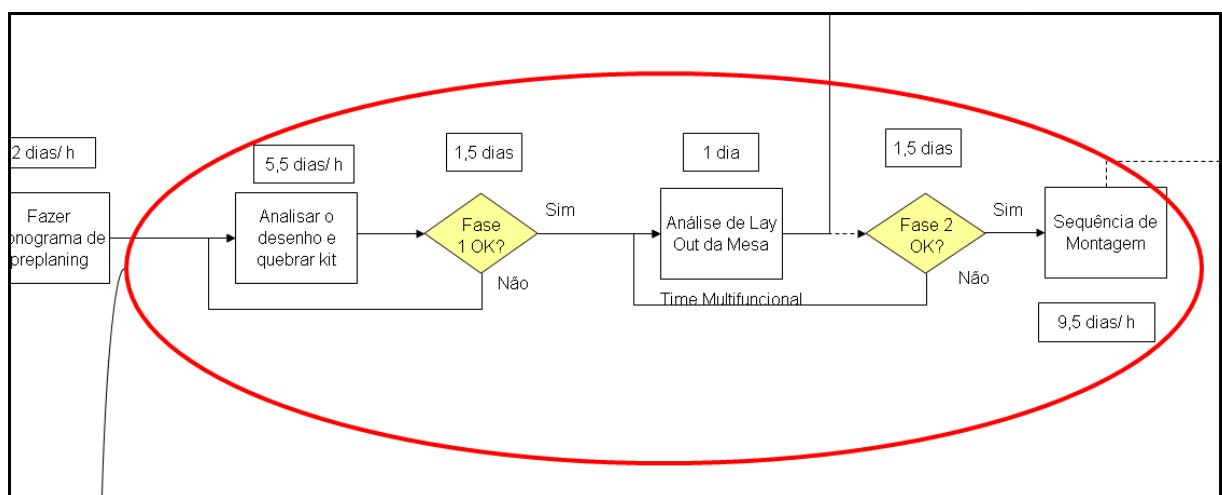


Figura 12: Detalhe B: Fluxo atual laboratório tempos e métodos

A Figura 13 (detalhe D da Figura 9) mostra todo o restante do desenvolvimento composto pela cronometragem inicial (cronoanálise), definição do plano de produção, análise

da fase 3, divisão do conteúdo de trabalho, análise da fase 4 e avaliação final da divisão do conteúdo de trabalho dos postos.

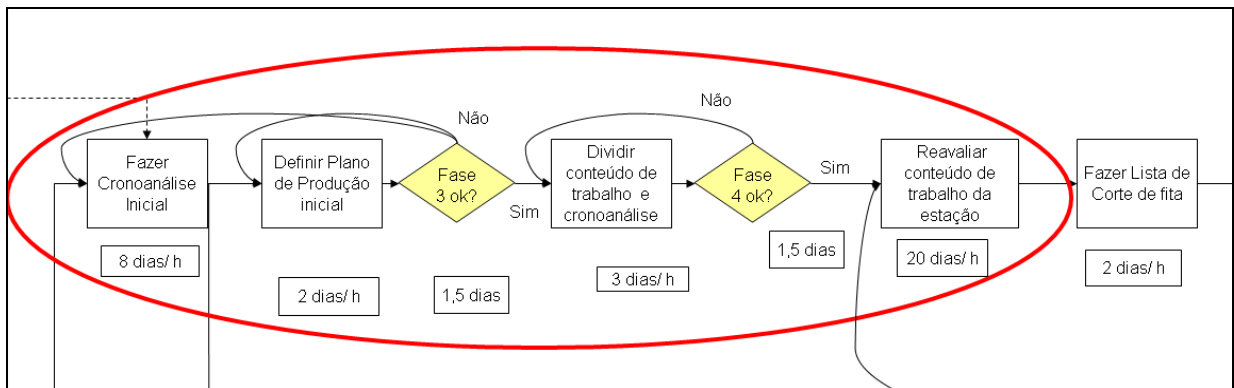


Figura 13: Detalhe D: Fluxo atual laboratório tempos e métodos

Depois de visualizado o mapa do processo, o time de trabalho somou os tempos dos processos pertencentes ao caminho crítico por departamento e um gráfico de barras foi confeccionado conforme mostrado na Figura 14. Este primeiro passo foi realizado com o objetivo de identificar a restrição que limita o desempenho do sistema em estudo

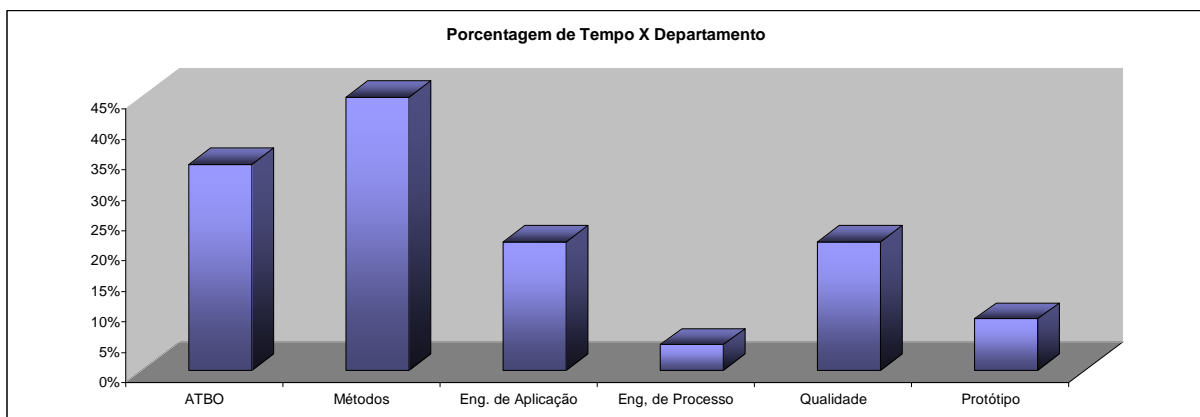


Figura 14: Parcela de Tempo do processo por Departamento

O Laboratório de Tempos e Métodos representa 45% do tempo do processo e também possui grande importância durante o desenvolvimento do projeto por desenhar o sistema de manufatura antes de sua transferência para as plantas produtivas, local em que ocorre a curva de aprendizagem (*start up*) da linha de montagem.

Baseando-se na teoria das restrições e nos argumentos acima relatados, o time de trabalho classificou os processos pertencentes ao departamento em questão como parte do elo mais fraco do desenvolvimento de processo, não sendo de grande valia melhorar as condições dos outros departamentos.

Portanto, os processos críticos do Laboratório de tempo e métodos serão estudados com a intenção de reforçar/ melhorar o elo mais fraco da corrente, aumentando a capacidade de processamento através da proposição de um modelo futuro, utilizando a simulação computacional.

5 PROPOSTA ESTADO FUTURO

Atualmente a maior parte dos problemas relacionados ao sistema de manufatura desenvolvido são identificados apenas no momento da implementação do mesmo nas plantas produtivas. Isto tem se dado em níveis tão altos que normalmente o tempo para a realização do trabalho de aprendizagem dos operadores até chegar à quantidade diária de peças contratadas pelo cliente é ultrapassado em um fator de até quatro vezes, em comparação ao planejado. Além do risco de não atendimento aos pedidos dos clientes finais, tal cenário traz conseqüências muito negativas ao custo do processo.

O objetivo do novo modelo proposto é utilizar a simulação computacional no laboratório de tempos e métodos da empresa para simular o modelo de manufatura desenhado, esperando-se que parte dos problemas possam ser previamente identificados na fase de desenvolvimento e conseqüentemente abordados de forma corretiva e preventiva, favorecendo o atendimento à curva de produção (*output* de peças) e reduzindo custos desnecessários.

Oliveira (2007) coloca que a simulação computacional é uma ferramenta extremamente eficaz para a previsão de resultados de um sistema de manufatura inexistente, onde ainda não é possível obter dados reais.

A figura abaixo (Figura 15) mostra a linha do tempo do Laboratório de tempos e métodos já considerando o novo cenário após a efetivação do modelo proposto.

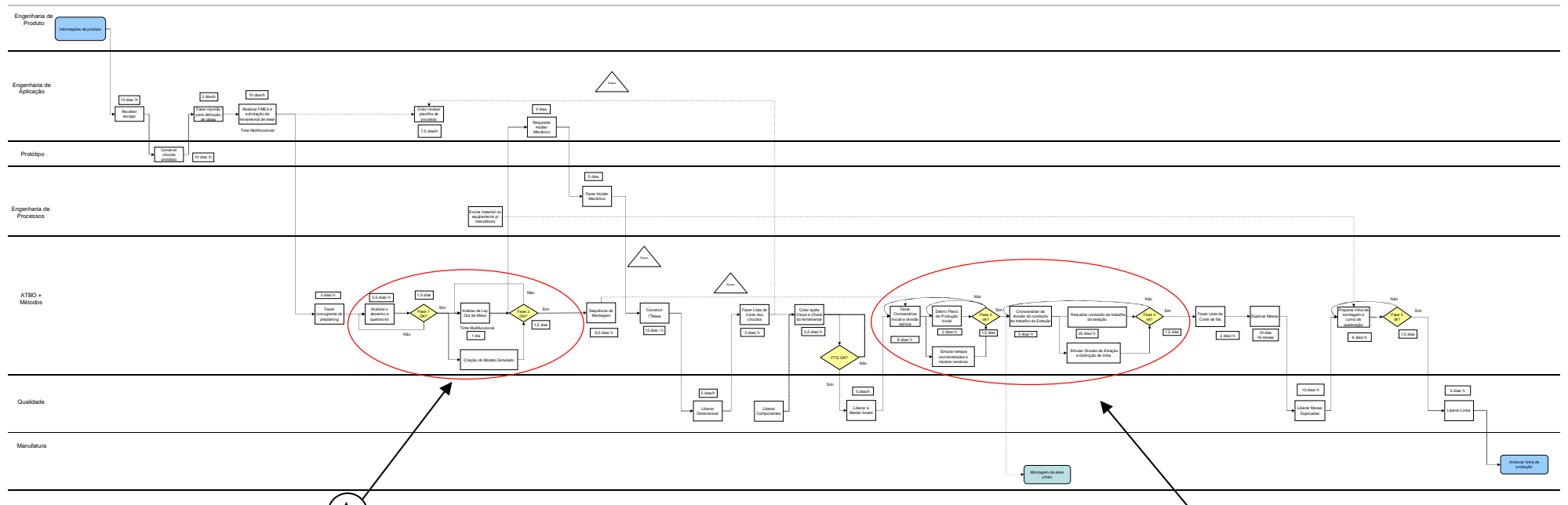
5 ANOS ATRÁS	ATUALMENTE	PROPOSTA
<p>Descrição:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Linhas maiores com grande variação de conteúdo. <p>Desvantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> •Dificuldade durante o treinamento dos operadores. •Postos diferentes a cada configuração e nada visual alertando o operador. 	<p>Descrição:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Foco nos Kits, fácil de treinar pois as variações estão nos kits. <p>Vantagens:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maior facilidade em identificar postos problemáticos. • A cada configuração, o operador tem visualmente a variação. 	<p>Descrição:</p> <p>Construir um modelo simulado da linha antes da curva de aprendizado com o objetivo prever problemas que ocorrem durante o evento como layout inadequado, postos desbalanceados, buffer, etc.</p>

Figura 15: Parcela de Tempo do processo por Departamento

Há cinco anos atrás, o sistema de manufatura era desenhado com todo o conteúdo de trabalho (chicote inteiro) presente em grandes mesas de montagem; estas linhas eram caracterizadas como de grande porte e alta variação de montagem, pois abrigava diferentes chicotes automotivos compostos por opcionais do carro, gerando grandes dificuldades aos operadores que tinham que montar em diversas configurações na mesa.

Atualmente as linhas de montagem são mais compactas, pois o desenho do sistema de manufatura leva em consideração a variação dos opcionais do carro, retirando das mesas de montagem finais e transferindo para células de kit, de tal forma que o *conveyor* (composto pelas mesas finais) tenha o mínimo de variação para movimentar em velocidade única. Desta forma, o especialista de métodos visualiza com maior facilidade os postos de trabalho problemáticos, que, por exemplo, podem estar mal balanceados e gerar o não atendimento de peças solicitadas pelo cliente. O grande problema é que esta visualização só é possível durante o evento da curva de aprendizado, onde todos os equipamentos, área e pessoas estão dispostos na planta produtiva.

O mapeamento futuro (Figura 16) traz a representação das etapas de construção do modelo simulado com o objetivo de primeiramente analisar a divisão de estação teórica e quantidade de pessoas necessárias para a confecção das peças solicitadas pelo cliente.



A

Figura 16: Estado Futuro Proposto – Laboratório de tempos e métodos

B

Com o auxílio do modelo, é feita a divisão de estação real e a tomada de tempos trazendo novos inputs ao modelo a ser simulado.

Após o refinamento dos tempos, o modelo é reavaliado e o plano de produção finalizado esperando que o sistema de manufatura esteja mais afinado que a maneira atualmente exposta no estado presente.

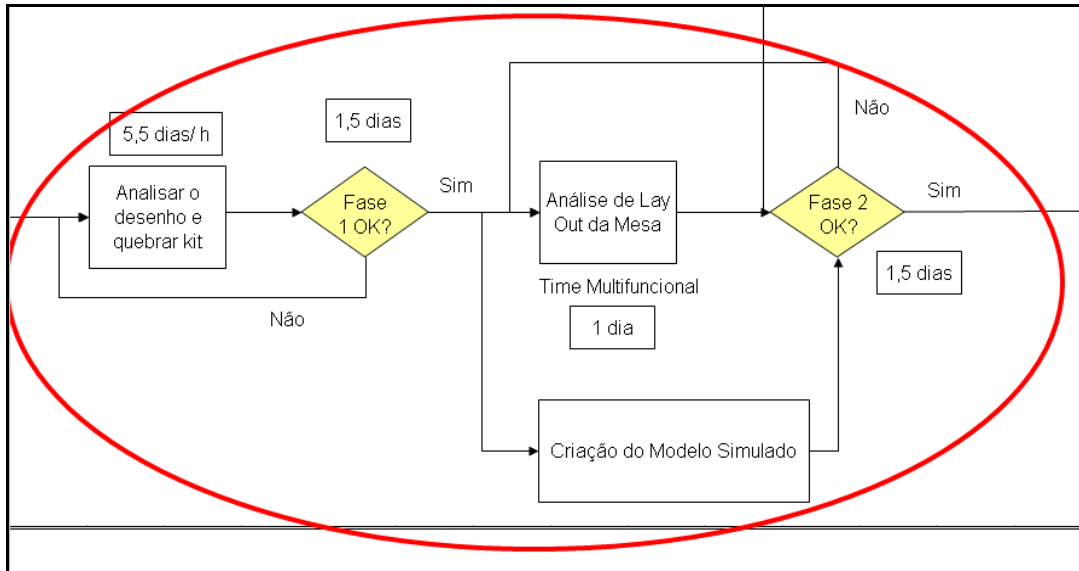


Figura 17: Detalhe A do estado futuro proposto – Fase 1 e 2

O detalhe A (Figura 16), mostra que após a checagem da fase 1, que analisa a quebra de kit (retirar a variação do chicote), inicia-se a criação do modelo simulado que terá como entrada os kits definidos e informações de cotação; estas informações serão o volume contratado, tempo de montagem e conseqüentemente o tempo de ciclo da linha. Informações de *layout* proposto e equipamentos cotados, também são essenciais à construção do modelo simulado.

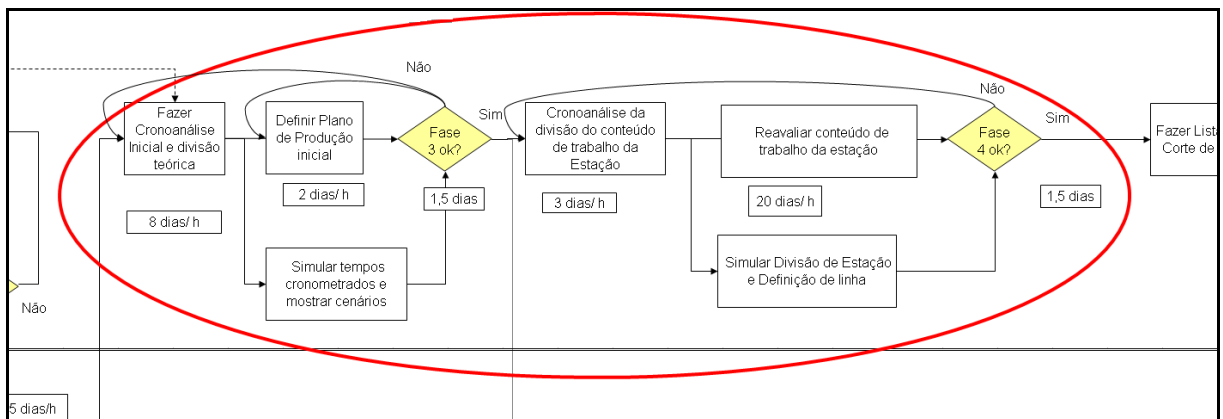


Figura 18: Detalhe B do estado futuro proposto – Fase 3 e 4

Já o detalhe B (Figura 18), mostra o desenvolvimento e análise do modelo computacional durante as fases do desenvolvimento de manufatura. Primeiramente, após a primeira cronometragem e divisão de estação teórica, de forma a auxiliar na tomada de decisão, fazer a análise dos conteúdos dos postos bem como o balanceamento; finalmente depois da tomada de tempo de cada estação definida utilizando o modelo, os especialistas poderão analisar os dados de saída e afinar o sistema de manufatura definido.

A implementação da simulação como estado futuro foi realizada seguindo quatro etapas, conforme exposto abaixo:

- Realizar trabalho envolvendo simulação: primeiramente para que a implementação fosse avaliada como viável e ferramenta auxiliar no desenvolvimento de manufatura, a pesquisadora fez o curso de simulação, escolheu o software e utilizou a simulação em um projeto já existente;
- Apresentar proposta ao gerente e diretor: esta etapa foi realizada com objetivo de convencer o gerente e diretor de engenharia sobre a implementação da simulação no desenvolvimento do sistema de manufatura e investimento na ferramenta de simulação Promodel, bem como um curso ao analista de simulação;
- Escolher o time de trabalho e projeto piloto: este item visou a escolha de um projeto piloto onde se aplicaria a ferramenta de simulação e quem seriam as pessoas que fariam parte da implementação;
- Treinar o especialista de simulação: nesta etapa realizou-se o treinamento do especialista que iria desenvolver todos os modelos computacionais do projeto piloto escolhido.

As fases serão detalhadas nos tópicos a seguir, visando um melhor conhecimento das mesmas.

5.1 Realizar trabalho envolvendo simulação

Como primeira etapa da implementação da simulação, foi necessário o conhecimento sobre as ferramentas de simulação disponíveis no mercado.

A tabela abaixo, demonstra alguns tipos de linguagens, conceitos e exemplos de software utilizados ao longo do tempo:

Tabela 4 – Quadro ilustrativo da evolução dos softwares de simulação

Tipo	Conceito	Exemplos
Linguagens de programação de propósito geral	Aplicáveis em qualquer contexto, porém exige conhecimento profundo na linguagem, muito tempo de desenvolvimento e não são reutilizáveis.	Fortran, Pascal e C
Linguagens de simulação	Comandos projetados p/ tratar lógica de filas e demais fenômenos comuns. Mais amigáveis que primeiro, mas ainda requerem programador especializado.	Simscrip, GPSS, Siman e Slam
Simuladores ou pacotes de simulação	Projetados para permitir modelagem rápida, dispõem de elementos específicos para representar filas, transportadores, etc. Restringem, porém, o uso p/ sistema de certos tipos e não complexos.	Simfactory e Xcell
Simuladores integrados com linguagens	Num só pacote, integram a flexibilidade das linguagens de simulação, com a facilidade de uso dos pacotes de simulação.	Witness e ProModelPC
Simuladores e linguagens integrados no ambiente Windows	Aprimoramento dos simuladores acima, que permite modelagem rápida, inclusive para sistemas complexos sem restrição de áreas de aplicação.	ProModel for Windows

Fonte: Adaptação Belge Simulação (http://www.belge.com.br/cases_outros_simulacao.html)

O Promodel está entre os simuladores integrados no ambiente Windows que possui características voltadas para a manufatura, permitindo considerar paradas baseadas em calendário, turno de trabalho e múltiplas replicações de simulação. Muito utilizado no meio acadêmico e empresarial por ser de fácil manuseio, apresenta também bons recursos de análise estatística e interface simples (*user-friendly*).

O software Promodel foi escolhido como mais adequado pela interface “amigável” (fácil programação), por possuir facilidades aplicadas à manufatura e permitir melhor visualização dos integrantes do sistema de manufatura.

Oliveira (2007) descreve a animação apresentada pelo software como um importante recurso que facilita a comunicação entre a supervisão e a mão de obra direta. Segundo o autor, o recurso possibilita transmitir facilmente de maneira clara e objetiva como se deseja que uma tarefa seja executada e qual o desempenho esperado, buscando o comprometimento e a participação do funcionário.

Após o software escolhido, partiu-se para o aprendizado da ferramenta, desenvolvendo um trabalho no ambiente de manufatura da empresa estudada, conforme ilustração 2.

O estudo de simulação foi conduzido pelo modelo de sete passos proposto por Law (2006), tornando possível nortear o desenvolvimento das atividades com uma linha lógica e

clara. Após a definição do processo a ser abordado e do problema a ser resolvido, pela equipe do trabalho, contatou-se outros profissionais, especialistas no sistema em estudo, para a formação final do time.

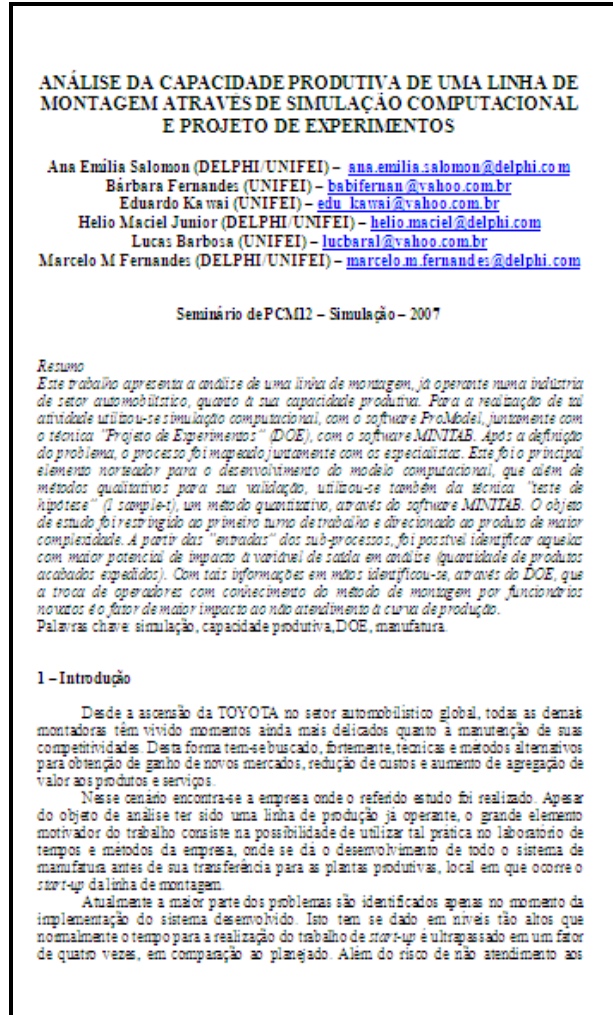


Ilustração 2 - Artigo sobre a implementação da simulação

Com a definição clara de que seria abordada uma linha de produção já existente, no que diz respeito aos fatores de maior influência em sua capacidade produtiva, partiu-se para o mapeamento do processo para definição do modelo conceitual. Sua validação ocorreu com o envolvimento de todo o time, incluindo os especialistas do processo.

O desenvolvimento do sistema computacional (figura 18) se deu em seguida, iniciando por uma representação bastante simples do sistema e posterior incremento de detalhes. Sua validação se deu não só com métodos qualitativos, utilizou-se teste de hipótese para concluir que o modelo computacional se assemelha ao sistema real, quanto à sua capacidade produtiva, dentro do escopo definido no início.

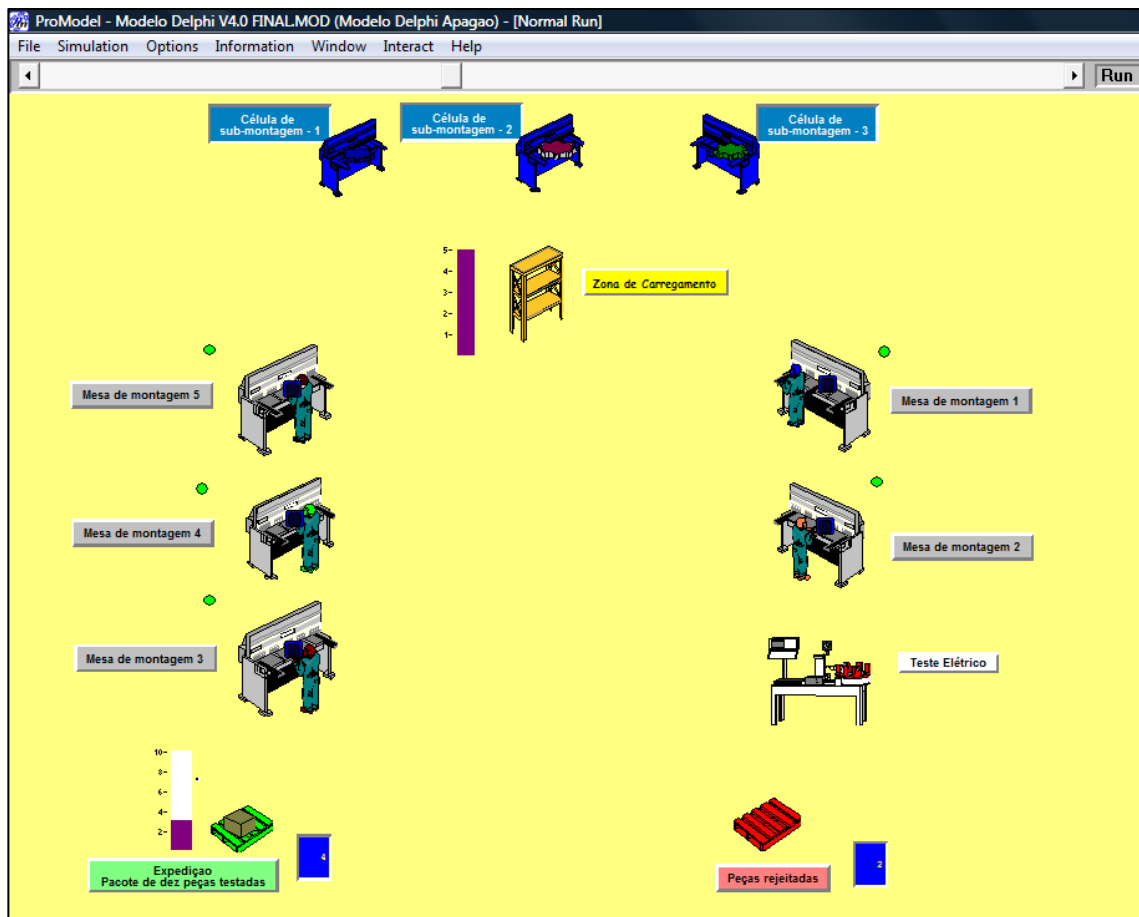


Figura 19: Modelo computacional do processo em estudo

Através da simulação computacional foi possível então, viabilizar a realização do estudo, essencial ao tópico a seguir.

5.2 Apresentar estudo ao gerente e diretor

O trabalho descrito acima foi oficialmente apresentado ao corpo executivo da empresa mostrando os resultados obtidos, principalmente relacionados à utilização da ferramenta como importante suporte à previsão de fragilidades em sistemas de manufatura a serem desenvolvidos.

Os relatórios e aspectos gráficos mostrados contribuíram para uma melhor visualização e após a finalização da apresentação foi sinalizado pelo gerente de engenharia, o interesse em investir nesta frente de simulação de processos.

Foi iniciada então a fase de criação do time de trabalho, descrito na seqüência.

5.3 Escolher o time de trabalho e projeto piloto

Carson (2004) descreve que simulações quase sempre são administradas por um time de simulação, não um indivíduo isolado. Os indivíduos assumem vários papéis que incluem:

- Os clientes executivos e gerentes donos do problema, os tomadores de decisões;
- Os clientes engenheiros, *staff*, gerentes de planta e linha, e outros que estão envolvidos no problema, sabem as porções fundamentais das operações do dia-a-dia e irão viver com soluções implementadas;
- Desenhistas de sistemas internos ou externos que projetam um novo sistema ou mudanças;
- O analista de simulação.

Para o trabalho em questão, todo o time está diretamente ligado ao desenvolvimento do sistema de manufatura e poderá assumir mais de um papel, conforme abaixo:

- Coordenador de melhorias no sistema operacional da empresa: cliente executivo dono do problema e responsável pela melhoria do sistema operacional da empresa. Este integrante do time é a pesquisadora que esteve envolvida de modo participativo no problema;
- Líder do projeto: engenheiro de aplicações responsável por liderar toda a fase de desenvolvimento do processo e implementação da linha piloto na planta produtiva. Responsável pelas tomadas de decisões relacionadas ao projeto.
- Desenhista do sistema de manufatura: Especialista de métodos responsável por desenvolver e desenhar a linha piloto; faz o papel também de cliente envolvido no problema conhecedor das operações do dia-a-dia e que irá vivenciar o modelo futuro proposto;
- Analista de simulação: Optou-se por desenvolver internamente um analista de simulação conhecedor do produto chicote automotivo e das fases do desenvolvimento do sistema de manufatura; este funcionário também é um especialista do laboratório de métodos e será parte integrante do modelo futuro proposto, sendo responsável por desenvolver todo novo modelo computacional.

A escolha da linha piloto foi feita pelo time de trabalho que baseou-se em sua alta complexidade para iniciar o estudo utilizando a ferramenta de simulação; ela é assim classificada por ter concepção *Just in Time*, possuir alto volume (1200 peças/ dia) e por consequência demandar uma grande quantidade de operadores sendo bastante adequada para o estudo pelo seu impacto, caso o desenvolvimento não fosse bem feito.

5.4 Treinar o analista de simulação

Como colocado no item anterior, optou-se por desenvolver um analista de simulação internamente que conhecesse o produto, o sistema e características do estudo de maneira a

simular a realidade da melhor forma possível. Caso o modelo computacional fosse terceirizado, haveria a necessidade de fazer um mapeamento muito apurado, que passaria por muitas fases de verificação do modelo conceitual antes de desenvolver o modelo computacional. Outro ponto que torna a decisão viável, é que seria vantajoso possuir um analista interno, pois depois de estabelecida a melhoria exposta no mapeamento futuro proposto, cada modelo teria que ser confeccionado novamente visto que um novo sistema de manufatura é diferente do outro.

Silva (2005) aponta que no desenvolvimento da simulação não basta ter os mais avançados recursos tecnológicos sem que hajam pessoas treinadas e preparadas, uma vez que todas estas ferramentas não substituem o homem na hora da decisão final.

Para que o modelo futuro fosse estabelecido na empresa, primeiramente o especialista em métodos passou por um treinamento básico do software Promodel com duração de três dias (carga horária: 24 horas) seguindo uma apostila da empresa de consultoria Belge com cinco etapas, conforme a seguir:

- Introdução à simulação: Metodologia, etapas de um projeto de simulação; pontos-chave para um projeto de simulação bem sucedido.
- Técnicas de modelagem e simulação: Criação dos elementos básicos: locais, entidades, processos e chegadas; Elementos auxiliares de modelagem: variáveis, atributos, etc.; Construtor de lógicas e linguagem de programação; Aspectos gráficos: importação de desenhos CAD e editor gráfico.
- Aspectos estatísticos: Software para ajuste de curvas, tratamento dos dados de entrada; Replicações, resultados, intervalos de confiança.
- Análise e otimização dos resultados: Interpretação dos relatórios e gráficos gerados; Utilização do otimizador acoplado ao simulador.
- Aplicações dos alunos: Estudo de caso específico da atividade profissional do aluno.

O treinamento iniciou com um modelo simples, com layout no fundo e foi evoluindo em cima do mesmo modelo, com adição dos recursos, *path network* e demais funções do software. O especialista possuía conhecimento em programação, o que facilitou a programação dos processos e a criação do modelo, por possuir algoritmos envolvidos.

No quarto dia, o analista participou de um congresso onde várias empresas que utilizavam o software apresentaram os modelos computacionais desenvolvidos. A participação no seminário foi muito importante, pois ajudou a ter o primeiro contato com pessoas que utilizavam o software.

Após o treinamento, foi iniciada a construção do modelo da mesma maneira que foi feito o treinamento, com um layout de fundo e sem adição de recursos. Como no sistema de manufatura em estudo as peças sofrem varias transformações durante seu movimento, o analista passou grande parte do tempo se dedicando ao estudo desta variável, lendo os comandos no manual do Promodel; Para cada atividade envolvida, foi feito um estudo de sequenciamento (tempos e métodos) para executá-la e um paralelo com os comandos do software foi realizado.

Carson (2004) descreve que para um analista de simulação, simulação é uma arte, uma ciência e, como qualquer arte, a pessoa aprende treinando e educando.

No segundo modelo o recurso foi adicionado, pois a analise seria feita na mão de obra e não no equipamento. A criação da biblioteca foi necessária devido ao grande retrabalho feito a cada modificação de *layout*, sendo que o conhecimento do analista em autocad facilitou a criação da mesma por criar um maior realismo para que fosse identificado por todos os usuários qual o equipamento utilizado.

6 APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO

A simulação computacional tem sido citada por diversos autores como uma técnica vantajosa para a representação de processos, pois, dentre outras razões, pode-se realizar análises de relações causais em tempo bastante curto e com baixo custo.

Para o desenvolvimento do estudo de simulação, será utilizada a abordagem de sete passos proposta por Law (2006), apresentado a seguir na Figura 20.

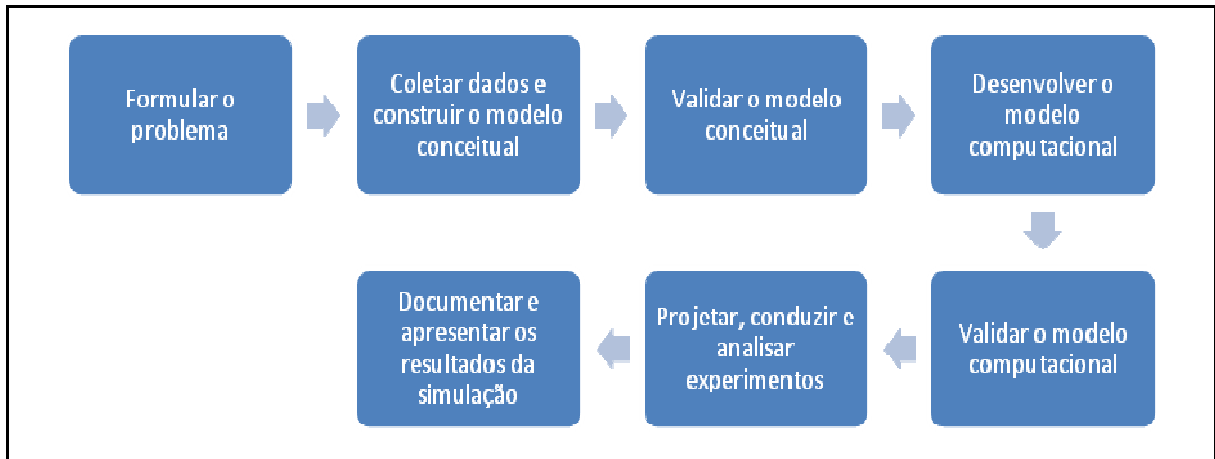


Figura 20: Sete passos para condução de um estudo de simulação
Fonte: adaptado de Law (2006)

6.1 Formular o problema

A linha produtiva escolhida para o estudo possui um output esperado de 1200 peças/dias com objetivo de FTQ de 35000 ppms e diversidade classificada em 3 grupos: pequeno, médio e grande.

A concepção da linha é Just in Time que tem como característica, a produção de peças atendendo o sequenciamento de produção do cliente.

O objetivo do estudo será o de simular o sistema de manufatura desenhado, verificando possíveis falhas no processo de desenvolvimento pela análise da capacidade produtiva de uma linha de montagem de uma empresa do setor automotivo.

A capacidade produtiva será utilizada como única variável de saída do processo, a ser estudado.

6.2 Coletar dados e construir o modelo conceitual

Para a etapa coleta de dados, primeiramente foi levantado os tempos de cotação do produto, o volume contratado e o mix de produção.

As informações foram inseridas no controle 17 (figura 21) que é uma planilha em Excel que auxilia no cálculo da quantidade de mão-de-obra necessária para um determinado projeto. Nesta planilha todas as informações essenciais do projeto, tais como, o nome do projeto e da linha, a descrição de cada produto a ser produzido por esta linha, o código do dispositivo utilizado (mesa de montagem) e o número do cliente de cada produto. Nesta planilha tem-se por entrada as seguintes informações:

- Volume: Demanda diária do produto.
- Mix de Produção: o percentual de participação de cada item no volume total.
- Tempo de Montagem: tempo total necessário para a montagem de todo o produto especificado pelo departamento de cotação.
- Quantidade de Linhas: número de linhas a produzir o produto.
- HRS/Turno: tempo total disponível por turno já desconsiderando as paradas programadas.
- QTD Turnos: a quantidade de turnos por dia.

Ao entrar com as informações acima as saídas são:

- *ForeCast* diário: a quantidade de cada tipo de peças requisitada diariamente calculada através do *mix* de produção.
- Operadores por Linha: a quantidade de operadores necessária para cada linha em cada turno.
- Tempo de Ciclo: tempo de ciclo de cada um dos itens.
- Capacidade por linha/turno: capacidade de produção de cada linha em cada turno.
- Capacidade Total: capacidade total diária do projeto.
- Capacidade de Produção: percentual da capacidade total diária do projeto em relação ao volume requisitado diariamente.
- Peças por hora: capacidade de produção por hora de cada linha.

Volume: 1200		DOWNTIME: 5%		DATA: 17/4/2007										
PROJETO: Volkswagen Gol NF		LINHA: Principal		HRS/TURNO: 8,11										
				MIN./TURNO: 486,6										
				QTD. TURNO: 2										
DESCR. CHICOTE	COD. DISPOS.	PIN	Nº CLIENTE	FORECAST DIARIO (Atual)	MIX (%) PROD.	QTD. DE LINHAS	OPERADORES POR LINHA	TEMPO DE MONTAGEM (min.)	TEMPO CICLO (min.)	TEMPO CICLO (seg.)	CAPAC. POR LINHA/TURNO	CAPAC. TOTAL	CAPAC. PRODUÇÃO	Peças por Hora
Veículo Básico				240	20,0%	6	38	130,13	3,16	190	154	1947	184%	19
Veículo Médio				720	60,0%		38	172,70	4,54	273	107	1285	100%	13
Veículo Completo				240	20,0%		38	218,05	5,74	344	85	1018	85%	10
				0			38		0,00	0	0	0	0%	0
				0			38		0,00	0	0	0	0%	0
RESUMO				1200	100%	6	38	171,26	4,51	270	108	1296	100%	13
											Peças/Hora:	13,31	#DIV/0!	

Figura 21: Controle 17

Foram feitas várias discussões sobre o sistema de manufatura com a presença de especialistas e pessoas que fazem parte do processo (time multifuncional). Estas discussões eram para determinar quais seriam as restrições a serem consideradas para determinar a quantidade de linhas, turnos e operadores para atender o volume contratado.

Como restrição de layout a linha não poderia ultrapassar 50 metros de comprimento, pois o galpão onde a mesma seria instalada possuía 53 metros.

Dados como o tempo disponível por turno já eram pré-estabelecidos pela planta de manufatura que receberia o projeto.

Considerando o tamanho da linha, tempo disponível por turno e dados de cotação (volume, mix e tempo de montagem) a linha foi desenhada da seguinte forma:

- Seis linhas com output de 100 peças/ turno;
- Turnos foram considerados;
- Tempo médio por turno de 8,11 horas (disponível/ turno, desconsiderando paradas);
- 3,5% de peças rejeitadas.

6.3 Validar o modelo conceitual

Segundo Harrel et al (2002), testar a validação deve ser um esforço cooperativo em equipe entre o programador, potenciais usuários e outras pessoas familiarizadas com a operação real do sistema.

Os especialistas do processo estavam presentes desde o início da atividade de desenvolvimento do modelo conceitual fazendo com que esta etapa fosse realizada sem grandes dificuldades.

Um dos membros do time de trabalho participou do projeto e desenvolvimento do sistema de manufatura em estudo. Após a conclusão do modelo conceitual, foi realizada também uma verificação detalhada envolvendo todos os membros do time de projeto e o engenheiro responsável pela linha de montagem em estudo.

6.4 Desenvolver o modelo computacional

Para construção de um modelo computacional, o software Promodel se utiliza de definições, onde as principais estão descritas a seguir:

- *Locations* (Locais): Representam postos físicos (máquinas, áreas de depósito, esteiras transportadoras) onde se realizam os processos, são usadas para representar elementos como: estações de trabalho, *buffers* e *conveyors*.
- *Resource* (Recursos): São elementos que auxiliam no transporte das entidades entre os diferentes locais, na execução dos processos, podendo ser: pessoas ou

equipamentos. Um sistema pode ter um ou mais recurso, sendo dotado de movimento ou não. Contudo, para cada recurso deve ter designado uma *path network*, ou seja, um percurso na qual a movimentação se dará.

- *Processing* (Processamento): operações realizadas no sistema (roteiros e procedimentos de fabricação) onde são definidas as operações de cada entidade em cada local e o recurso necessário para esta operação, e que define o destino e a movimentação de cada entidade, bem como o modo pelo qual se dá essa movimentação, e o recurso necessário.
- *Entities* (Entidades): elementos que transitam pelos locais e sofrem processamento; As *entities* são os itens a serem processados pelo sistema, podendo ser: produtos, matéria-prima, *pallets*, pessoas ou documentos. As entidades possuem velocidades definidas, além de nível estatístico como as *locations*. Elas podem ser agrupadas ou divididas ao longo do processo produtivo, se movimentando de uma *location* para outra utilizando uma rota definida ou uma rede de trabalho.
- *Arrivals* (Chegadas): Define a entrada das entidades dentro do modelo, podendo ser definidas as quantidades, frequência e períodos de chegada, bem com a lógica de chegada.

O desenvolvimento do modelo computacional será dividido em fases:

- Fase 1 - Confecção do modelo: Através das informações de cotação (volume, mix de produção dos 3 tipos de veículos, tempo de montagem de cada veículo, tempo disponível por turno e quantidade de turnos) que foram inseridas no Controle 17, foi criado um *layout* inicial da linha e o modelo inicial. Espera-se deste modelo inicial analisar como se comporta a linha (*output* de peças) verificando a porcentagem de utilização dos locais, balanceamento do conteúdo de montagem teórico em cada estação, auxiliando a divisão de estação real.
- Fase 2 - Similar Divisão de Estação e Definição de linha: Espera-se obter através da divisão de estação real e tomada de tempo de cada conteúdo qual a utilização dos recursos, número de peças produzidas (*output* de peças), bem como também a reavaliação do balanceamento.
- Fase 3 - Simular tempos finais e avaliação final da linha: cenários com um melhor sequenciamento e impacto diante do número de peças produzidas (*output* da linha).

6.4.1 Fase 1 - Confeção do modelo inicial.

Para a confecção do primeiro modelo, foram utilizadas as informações de cotação referente ao produto a ser produzido, tais como quantidade de modelos de veículo, tempo de montagem de cada modelo e a porcentagem de produção dentro do volume total. O volume diário considerado é de 1200 pçs/dia e os dados de cotação estão expostos na tabela 5 abaixo:

Tabela 5 – Informações iniciais

Modelos de veículos	Mix de produção dos modelos	Tempo de montagem
Básico	20%	130,80 minutos
Médio	60%	190,08 minutos
Completo	20%	229,48 minutos

Além das informações acima, foram definidos ainda o tempo total disponível por turno de trabalho bem como a quantidade de turnos, e o percentual de parada não programada (*Downtime*) aceitável para este projeto. Segue abaixo as informações:

- Tempo disponível por turno: 8,11 horas;
- Quantidade de turnos de trabalho por dia: dois turnos;
- Percentual de paradas não-programadas aceitável: 10% do tempo disponível por turno;

Com todas estas informações em mãos, foi iniciada a definição de quantidade de postos de trabalho necessária para atender a produção do volume contratado. Nesta etapa, utilizou-se uma ferramenta interna da empresa chamada “Controle 17” onde todas as informações acima foram inseridas e como saída o número de postos de trabalho.

Volume: 1200		DOWNTIME: 5%		DATA: 17/4/2007										
PROJETO: Volkswagen Gol NF		LINHA: Principal		HRS/TURNO: 8,11		MIN./TURNO: 486,6		QTD. TURNO: 2						
DESCR. CHICOTE	COD. DISPOS.	PIN	Nº CLIENTE	FORECAST DIARIO (Atual)	MIX (%) PROD.	QTD. DE LINHAS	OPERADORES POR LINHA	TEMPO DE MONTAGEM (min.)	TEMPO CICLO (min.)	TEMPO CICLO (seg.)	CAPAC. POR LINHA / TURNO	CAPAC. TOTAL	CAPAC. PRODUÇÃO	Peças por Hora
Veículo Básico				240	20,0%	6	41	130,80	3,19	191	153	1830	16,3%	19
Veículo Médio				720	60,0%		41	190,08	4,64	278	105	1260	108%	13
Veículo Completo				240	20,0%		41	229,48	5,60	336	87	1043	87%	11
				0			41		0,00	0	0	0	0%	0
				0			41		0,00	0	0	0	0%	0
RESUMO				1200	100%	6	41	186,10	4,54	272	107	1286	107,2%	13
												Pçs/Hora:	13,22	

Figura 22: Controle 17 - Montagem

Além do Controle 17 de montagem acima (Figura 22), foram criados mais dois Controles 17 para determinar à quantidade de postos de trabalho necessários para as atividades de teste elétrico do produto e Embalagem do mesmo. O processo de fabricação do produto em estudo é composto por uma fase inicial (pré-montagem) realizada por células de kits de montagem e posteriormente enviada para um *conveyor* (montagem) onde cada um destes kits de montagem é interligado formando o produto final. Após o produto final sair do

conveyor, ele é direcionado para o processo de Teste Elétrico e posteriormente para o processo de Embalagem. A Tabela 6 mostra um resumo da quantidade de células de kit, postos de montagem, teste elétrico e embalagem bem como a quantidade de linhas de produção.

Tabela 6 – Quantidade de postos de trabalho da linha em estudo

Classificação	Célula de kit	Montagem	Célula de teste	Célula de embalagem
Quantidade de operadores	16	27	3	3
Quantidade mesas	16	16	1	3

Tendo por base as informações acima, foi realizada a etapa de desenvolvimento de um *layout* inicial (Figura 23) das linhas de montagem e este mesmo *layout* foi inserido no Promodel para o desenvolvimento do primeiro modelo.

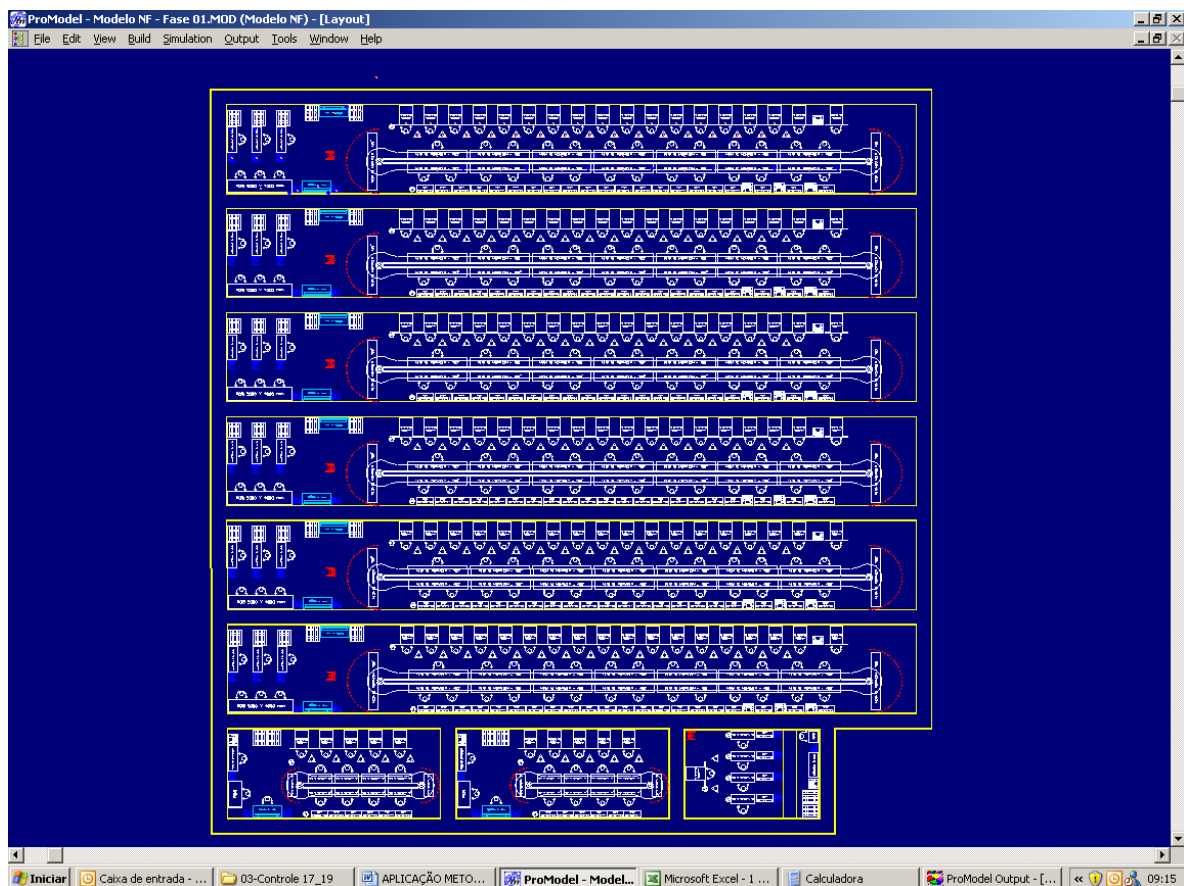


Figura 23: Layout inicial das linhas de produção

A primeira etapa da construção do modelo foi de inserir este mesmo *layout* no Promodel como figura com extensão *.wmf (Metafile) para o desenvolvimento do primeiro modelo e a configuração da escala do modelo utilizado para construção dos *Path Network*.

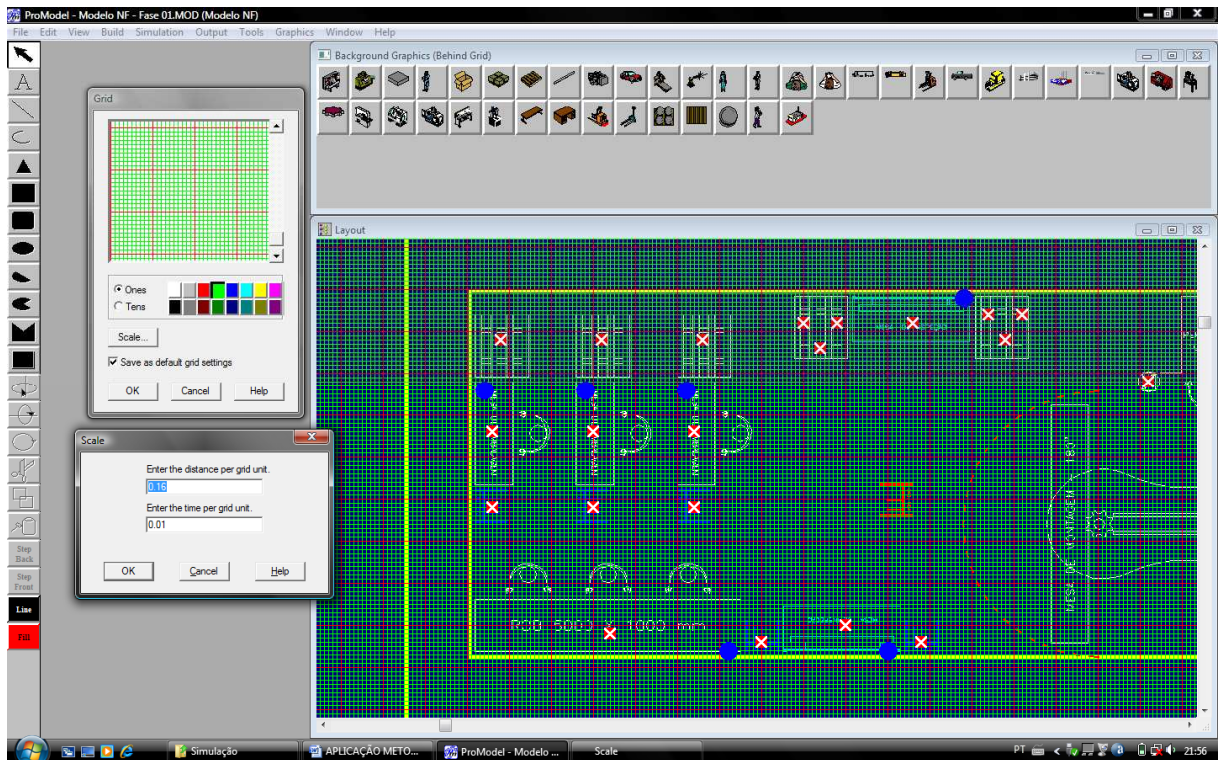


Figura 24: Layout inicial no Promodel

Após a inserção do *Layout* a partiu-se para a construção do modelo e a criação das *Locations* que representam cada um dos postos de trabalho. Neste modelo não foi utilizado a ferramenta *Resources* do Promodel e considerou-se os seguintes tempos de ciclo para cada posto de trabalho da área de montagem obtidos através do Controle 17:

- Veículo Básico: 3,19 minutos;
- Veículo Médio: 4,64 minutos;
- Veículo Completo: 5,60 minutos;

Como explicado anteriormente, o produto processado na linha em estudo passa por uma fase de pré-montagem nas células de kit e depois é encaminhado para o *conveyor* onde é realizado união de todos os kits de montagem (montagem final). O início da produção dá-se através da chegada das Ordens de Produção nas células de kits. Na tela *Entity* foram criadas três entidades básicas, a ordem de produção (Ent_Manifesto), os kits de montagem (Ent_Kit) e o produto final (Ent_Chicote), sendo que a descrição de cada uma delas é dada a seguir:

- Ent_Manifesto: entidade de chegada do sistema, representa a ordem de produção do produto em estudo;
- Ent_Kit: entidade que representa as pré-montagens do produto;
- Ent_Chicote: entidade que representa o produto na fase de montagem final.

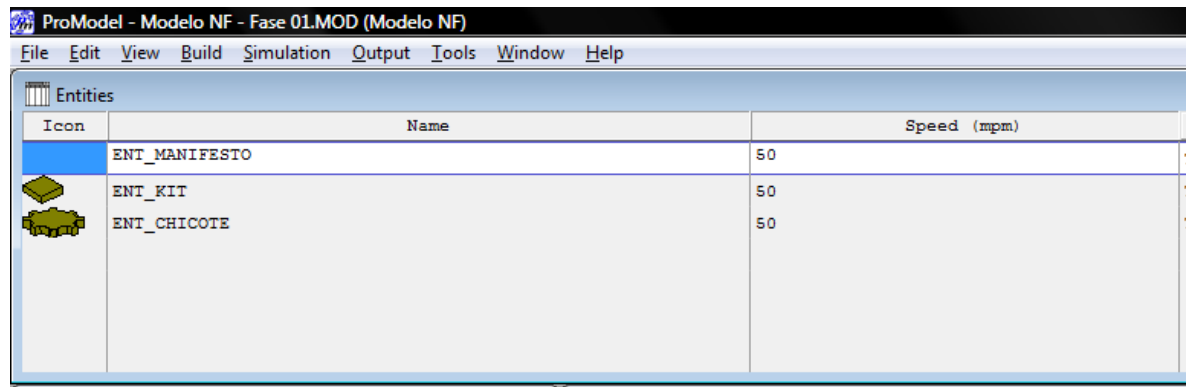


Figura 25: Tela de criação das entidades fase 1

A linha em estudo possui 16 mesas de montagem em um *conveyor* e, neste primeiro modelo esta sendo representado por um *Path Network* (Red_Conveyor_Princ1) que interliga os 16 locations, representando cada uma das mesas de montagem deste *conveyor*.

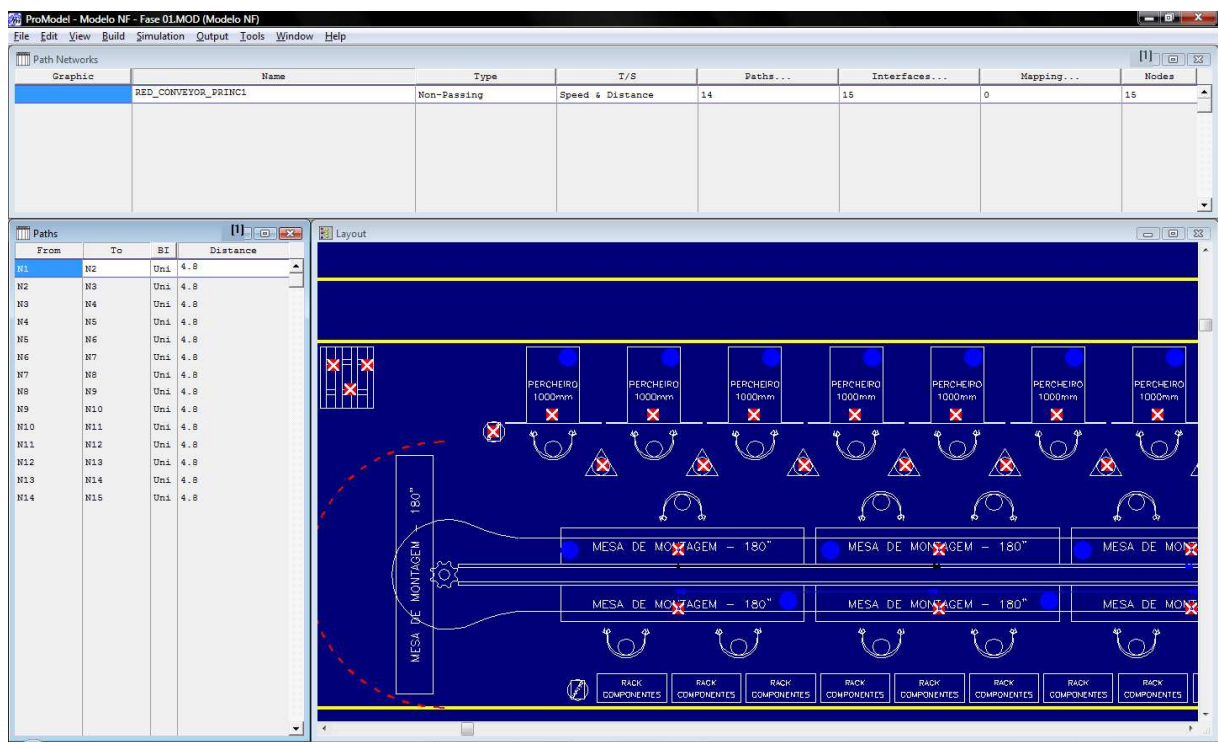


Figura 26: Modelo computacional fase 1

O modelo (Figura 26) foi replicado por 10 vezes e ao final das replicações foi gerado o relatório da linha. Neste relatório foi verificado o *Output* da linha e o percentual de utilização dos postos de trabalho. Pelo Controle 17, o *output* por turno de cada linha seria de 107 peças. Porém, como pode-se verificar no relatório abaixo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), o *output* de linha foi de 81 a 87 peças por turno.

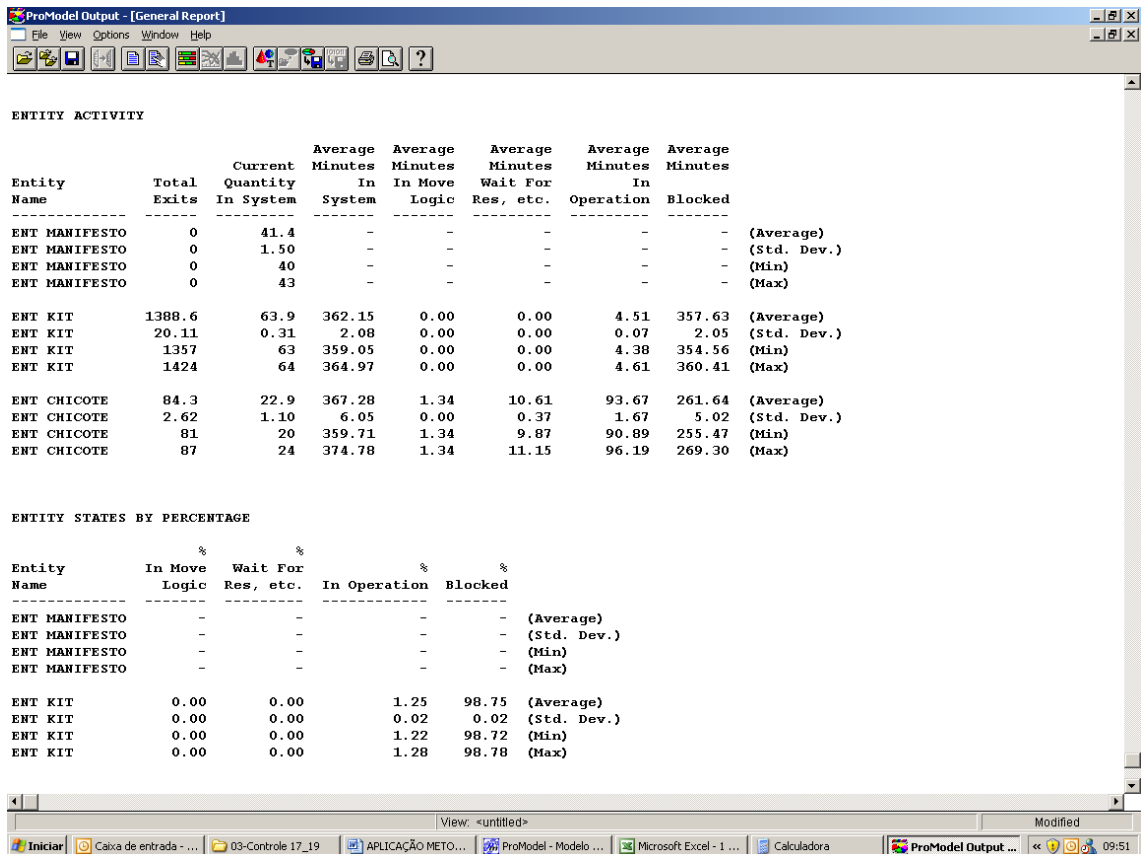
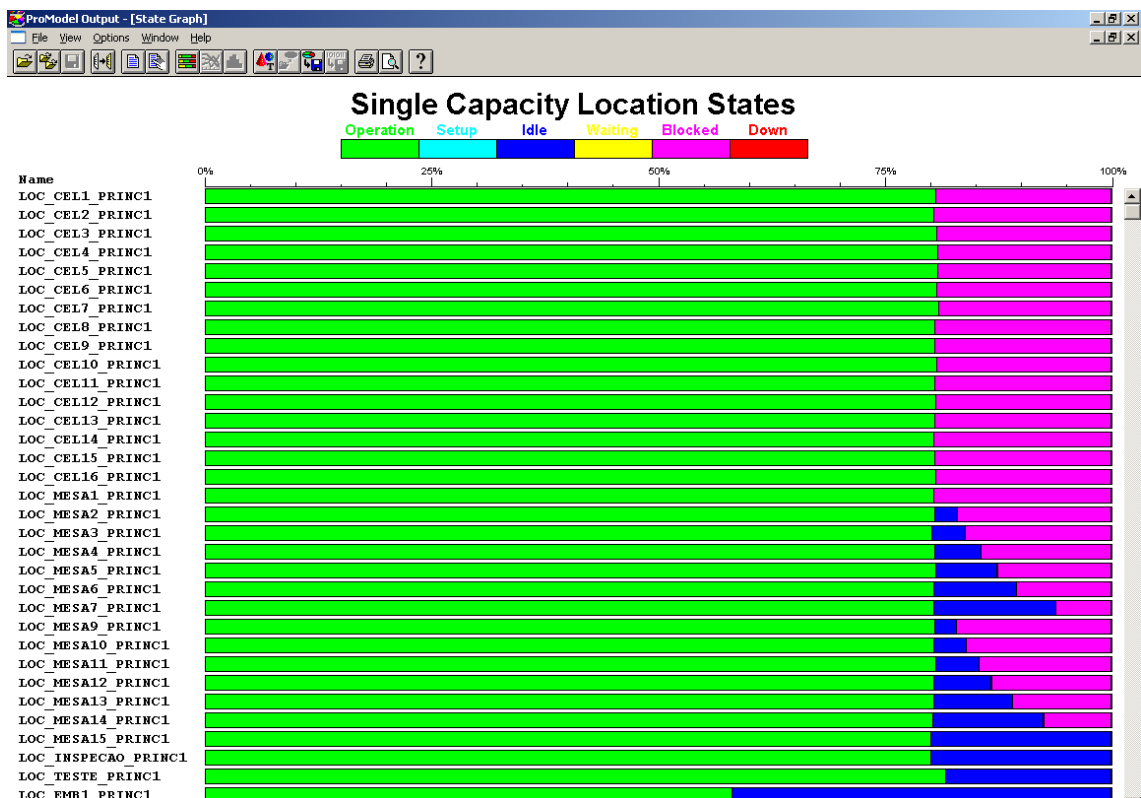


Figura 27: Relatório do Promodel

Quanto à utilização dos locais de trabalho, pode-se verificar que os postos de trabalho ficaram em média de 80% de utilização.



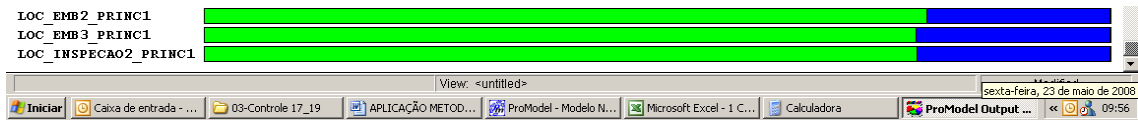


Figura 28: Gráfico de Utilização dos locais de trabalho

Após análise das informações geradas pelo relatório do Promodel e a comparação do *output* esperado com o real gerado pela simulação, foi possível verificar uma diferença de *output* entre o Controle 17 e a simulação que mostrou o quanto a ferramenta “Controle 17” é falha referente a *output* de linha, pois a mesma não considera a inter-relação dos postos, sendo assim, esta não é a melhor ferramenta para representar a real situação da linha projetada no que se refere ao *output* de linha.

6.4.2 Fase 2 – Simular divisão de estação e definição de linha

Para o desenvolvimento da fase dois, criou-se inicialmente uma seqüência de montagem dividida em elementos de trabalho e o estudo de tempos foi iniciado. Para cada elemento de trabalho foram considerados cinco tempos. Durante a cronometragem alguns elementos de trabalho foram reavaliados e alterados dentro da seqüência de montagem inicial a fim de determinar o melhor método de montagem do produto. Para a realização do estudo de tempos e métodos desta fase, utilizou-se uma bancada de trabalho preliminar, pois ainda estava-se em processo de desenvolvimento das bancadas definitivas.

Como se pode verificar abaixo, o tempo cronometrado final é menor do que o tempo de cotação inicial do produto.

Tabela 7 – Tempos de montagem (Cotação / Cronometragem)

Modelo de Veículo	Cotação	Cronometrado	Diferença
	Tempo de Montagem (minutos)	Tempo de Montagem (minutos)	
Básico	130,8	129,34	-1,46
Médio	190,08	173,33	-16,75
Completo	229,48	206,13	-23,35

Após finalizar toda a cronometragem, um novo Controle 17 foi criado, considerando agora o tempo total cronometrado e um novo valor percentual de paradas não-programadas (*Downtime*) de 5% do tempo total disponível. Um resumo das informações inseridas no Controle 17 para a fase 2 estão expostas na tabela 4 e abaixo estão as demais considerações:

- Volume diário: 1200 veículos;
- Quantidade de turnos: 2 turnos;
- Percentual de parada não programada aceitável: 5% do tempo total disponível;

Tabela 8 – Informações iniciais

Modelos de veículos	Mix de produção dos modelos	Tempo de montagem
Básico	20%	129,34 minutos
Médio	60%	173,33 minutos
Completo	20%	206,13 minutos

Os dados acima foram inseridos no Controle 17 (

Figura 29), obtendo como resultado um novo número de postos de trabalho, que antes era de 43 postos, passou para 38 postos de montagem, um novo número de *output* de 111 peças por linha por turno e os seguintes ciclos de montagem por modelo de veículo:

- Veículo Básico: 3,40 minutos;
- Veículo Médio: 4,56 minutos;
- Veículo Completo: 5,42 minutos;

Volume: 1200		DOWNTIME: 5%		DATA: 17/4/2007										
PROJETO: Volkswagen Gol NF		LINHA: Principal	HRS/TURNO: 8,11	MIN./TURNO: 486,6	QTD. TURNO: 2									
DESCR. CHICOTE	COD. DISPOS.	PIN	Nº CLIENTE	FORECAST DIÁRIO (Atual)	MIX (%) PROD.	QTD. DE LINHAS	OPERADORES POR LINHA	TEMPO DE MONTAGEM (min.)	TEMPO CICLO (min.)	TEMPO CICLO (seg.)	CAPAC. POR LINHA/TURNO	CAPAC. TOTAL	CAPAC. PRODUÇÃO	Peças por Hora
Veículo Básico				240	20,0%	6	38	129,34	3,40	204	143	1716	143%	18
Veículo Médio				720	60,0%		38	173,33	4,56	274	107	1280	107%	13
Veículo Completo				240	20,0%		38	206,13	5,42	325	90	1076	90%	11
				0			38		0,00	0	0	0	0%	0
				0			38		0,00	0	0	0	0%	0
RESUMO				1200	100%	6	38	171,09	4,50	270	108	1297	100,1%	13
Pças/Hora:													13,33	

Figura 29: Controle 17 – Montagem (tempos cronometrados)

Com isto, o *layout* inicial foi revisado (Figura 30) conforme a nova quantidade de postos de trabalho.

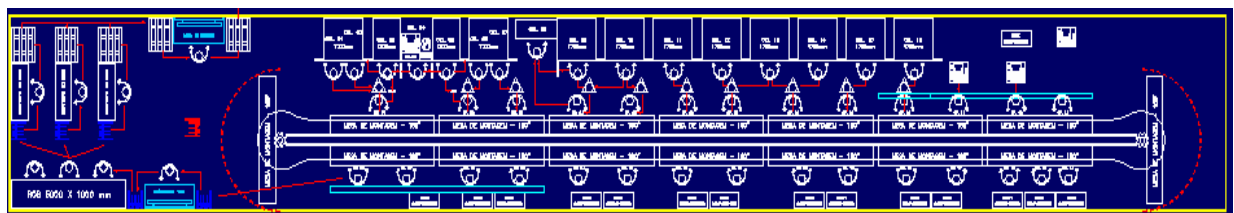


Figura 30: Layout da linha de montagem

Foi feita uma divisão de conteúdo de trabalho entre os 38 postos, buscando inserir o máximo de elementos de trabalho em cada posto, de tal forma que, o tempo total de elementos de trabalho em cada posto fosse o mais próximo do tempo de ciclo de cada modelo de veículo conforme o novo Controle 17.

CHICOTE PRINCIPAL NF (BALANCEAMENTO KIT)			BÁSICO	MÉDIO	GRANDE
Chicote			204	274	325
CEL 1	OP 1	KIT 1	222	222	222
CEL 1	OP 1	KIT 40		47	52
CEL 1	OP 1	KIT 260		47	47
CEL 1	OP 1	KIT 249			10
Tempo da célula			222	269	331
Tempo Ideal da célula			204	274	325
Diferença em %			8%	-2%	2%
Diferença em tempo			18	-5	6
CEL 1	OP 2	KIT 70	177	177	207
CEL 1	OP 2	KIT 11	5	5	5
CEL 1	OP 2	KIT 140		88	88
CEL 1	OP 2	KIT 85			31
Tempo da célula			182	270	331
Tempo Ideal da célula			204	274	325
Diferença em %			-12%	-1%	2%
Diferença em tempo			-22	-4	6
CEL 2	OP 3	SUB 3	151	151	151
CEL 2	OP 3	KIT 22	30	30	30
CEL 2	OP 3	KIT 267		91	82
CEL 2	OP 3	KIT 262		12	12
CEL 2	OP 3	KIT 250			55
Tempo da célula			181	284	330
Tempo Ideal da célula			204	274	325
Diferença em %			-12%	4%	2%
Diferença em tempo			-23	10	5
CEL 2	OP 4	KIT 2	60	60	60
CEL 2	OP 4	KIT 470	78	78	78

Figura 31: Tabela de tempos de cada elemento de trabalho

Foi criada também uma representação da linha indicando o local onde cada kit de montagem era produzido e o destino de cada um deles, para auxiliar o desenvolvimento do modelo.

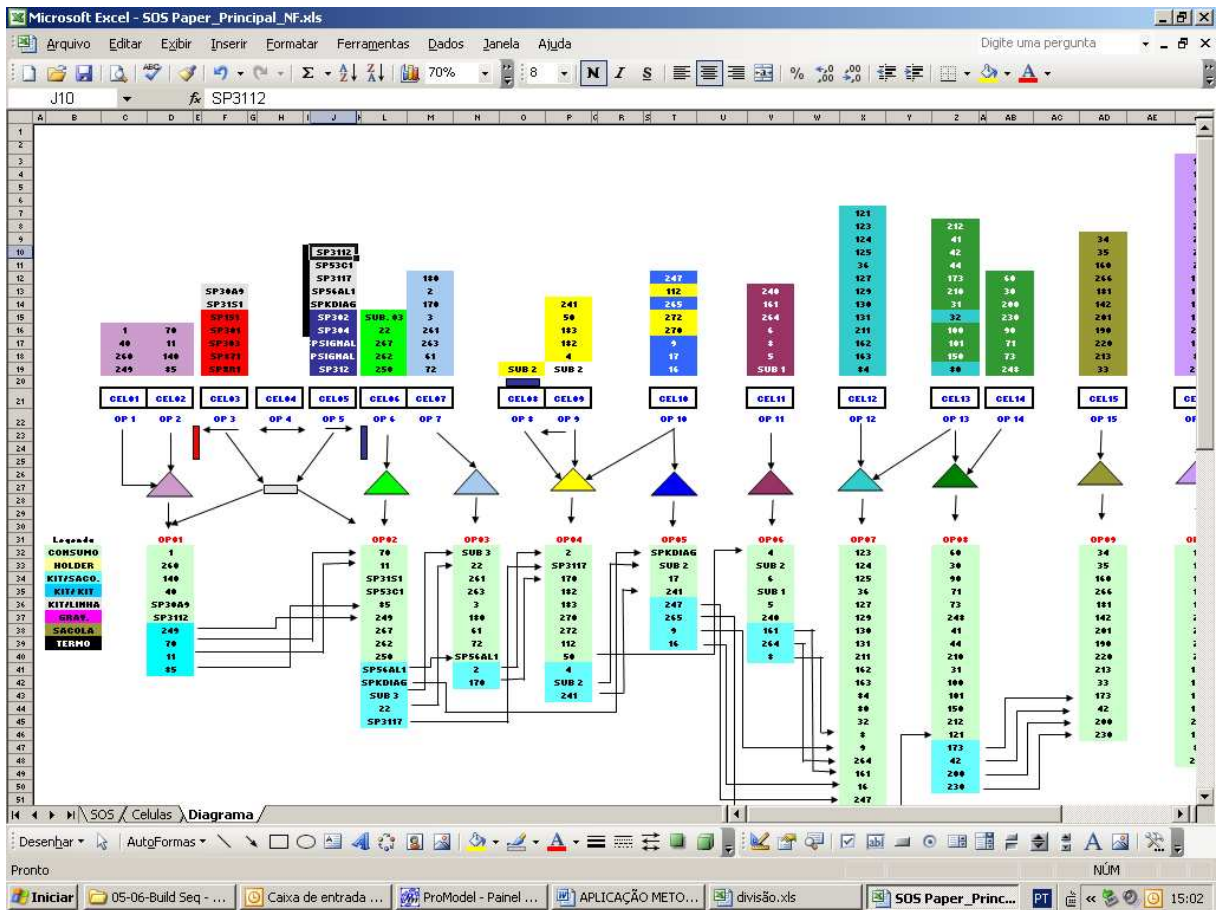


Figura 32: Representação da linha com indicações de produção

Com as informações acima (Figura 32) e de balanceamento, iniciou-se a construção do segundo modelo. Neste segundo modelo foi criado as entidades *Ent_Kit* para cada tipo de célula de kit deferente do modelo da primeira fase. Cada entidade de kit move-se para o seu respectivo ponto de montagem no *conveyor* através do comando *Join*.

Icon	Name	Speed (mpm)
	ENT_MANIFESTO	50
	ENT_KIT_CEL1	50
	ENT_KIT_CEL2	50
	ENT_KIT_CEL6	50
	ENT_KIT_CEL7	50
	ENT_KIT_CEL8	50
	ENT_KIT_CEL9	50

Figura 33: Tela de criação das entidades fase 2

Neste novo modelo foi adicionado os *Resources* “Operador” com o objetivo de verificar o percentual de utilização, caminhada e o tempo ocioso de cada operador. O número de operadores considerados segue conforme a Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 – Quantidade de operadores e mesas da linha em estudo

Classificação	Célula de kit	Montagem	Célula de teste	Células de Splice	Célula de embalagem
Quantidade de operadores	13	25	3	3	3
Quantidade mesas	11	16	1	2 máquinas	3

Neste segundo modelo, criou-se a “Entidade Caixa” que representará para nós o produto final e embalado, pronto para ser enviado à área de expedição. Será esta entidade que será utilizada como base para contabilizar a quantidade de peças que saíram do sistema.

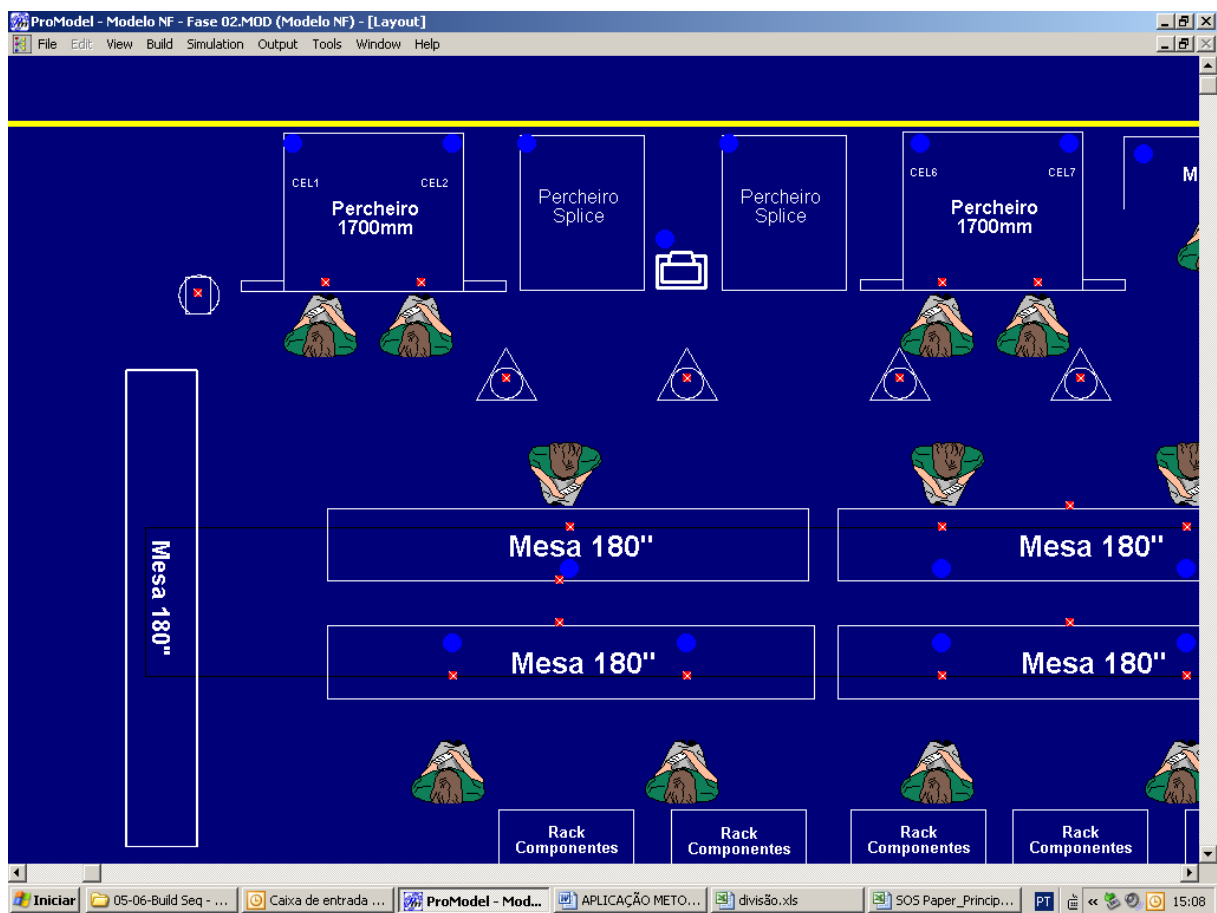


Figura 34: Modelo fase 2 composto por entidades

O modelo foi replicado 10 vezes conforme o modelo da fase anterior e ao final das replicações gerou-se o relatório para a análise de utilização dos recursos e de output do modelo para comparação com os resultados do Controle 17.

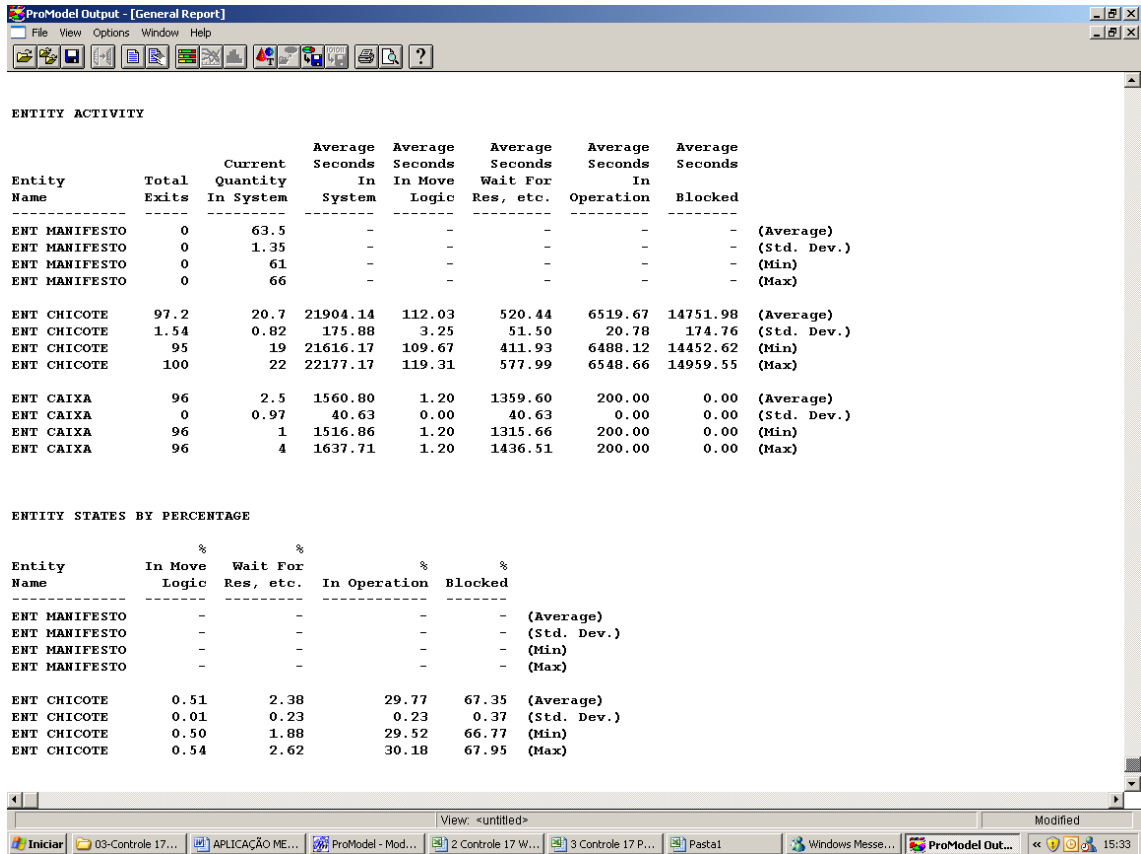


Figura 35: Relatório de Output – Modelo Fase 2

Pode-se verificar no relatório acima, que o *output* da linha em desenvolvimento melhorou em relação ao primeiro modelo. No primeiro modelo o *output* foi de 81 – 87 peças por turno e por linha, já neste segundo modelo foi de 96 peças por turno e por linha. Quanto ao balanceamento, pode-se verificar no gráfico abaixo (Figura 36) o percentual de utilização de cada um dos operadores, bem como o percentual de caminhada e de tempo ocioso. Além das informações acima, este gráfico mostra também como está à distribuição de trabalho pelos postos da linha.

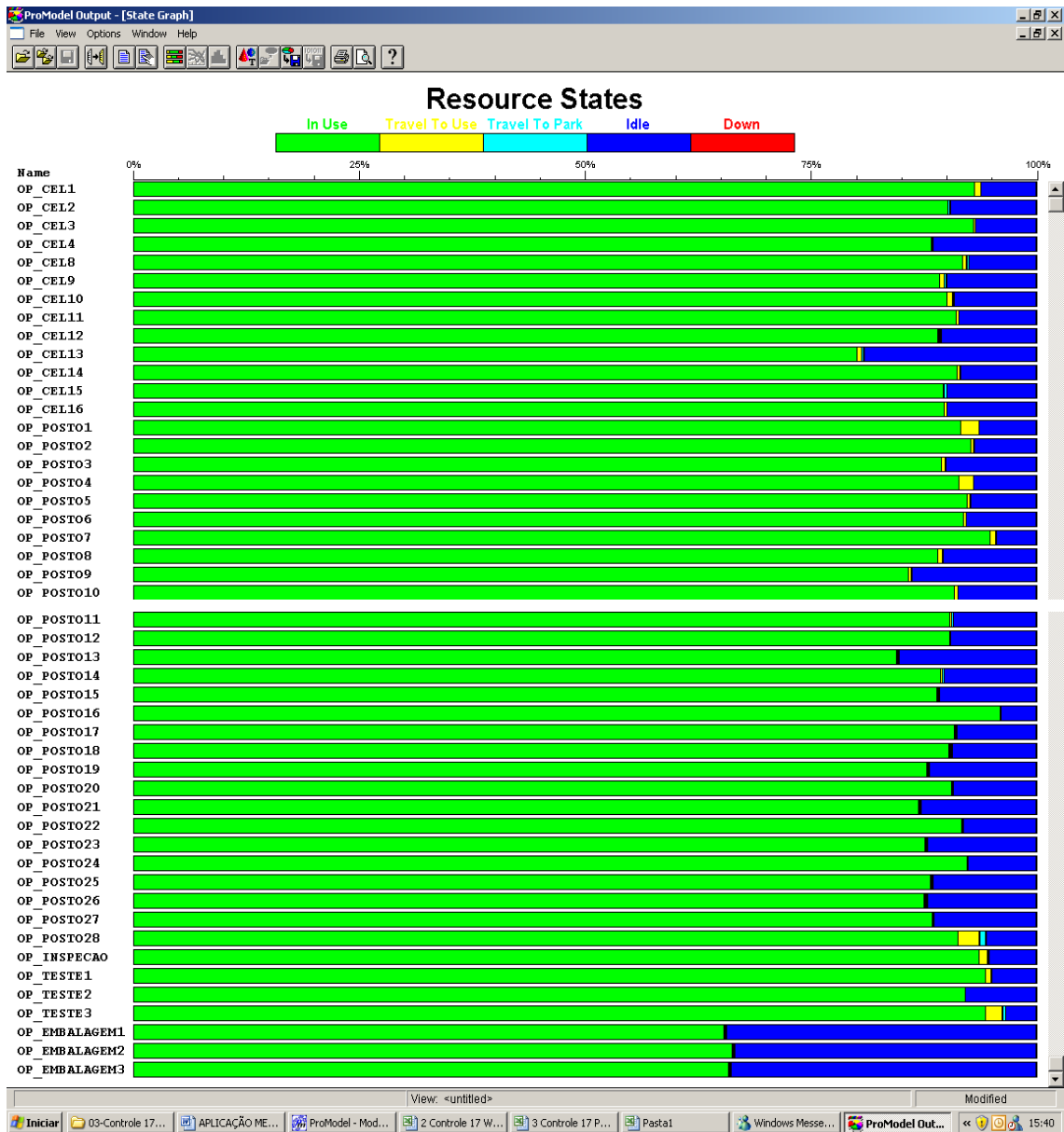


Figura 36: Relatório de Utilização dos Recursos – Modelo Fase 2

Novamente verifica-se uma diferença entre o valor de *output* gerado pelo Controle 17 (111 peças por linha e por turno) e pelo modelo simulado (96 peças por linha e por turno).

6.4.3 Fase 3 – Simular tempos finais e avaliação final da linha

Após o desenvolvimento dos modelos fase 1 e sua alteração para o modelo fase 2, pode-se verificar uma certa dificuldade no que se refere à atualização do *layout*, pois nestes dois primeiros modelos não utilizou-se a ferramenta de biblioteca do Promodel e sim, um *layout* desenvolvido em um software de Cad e inserido no Promodel como plano de fundo.

Com a ferramenta *Graphic Editor* do Promodel, uma biblioteca específica foi feita para ser utilizada na construção dos modelos.

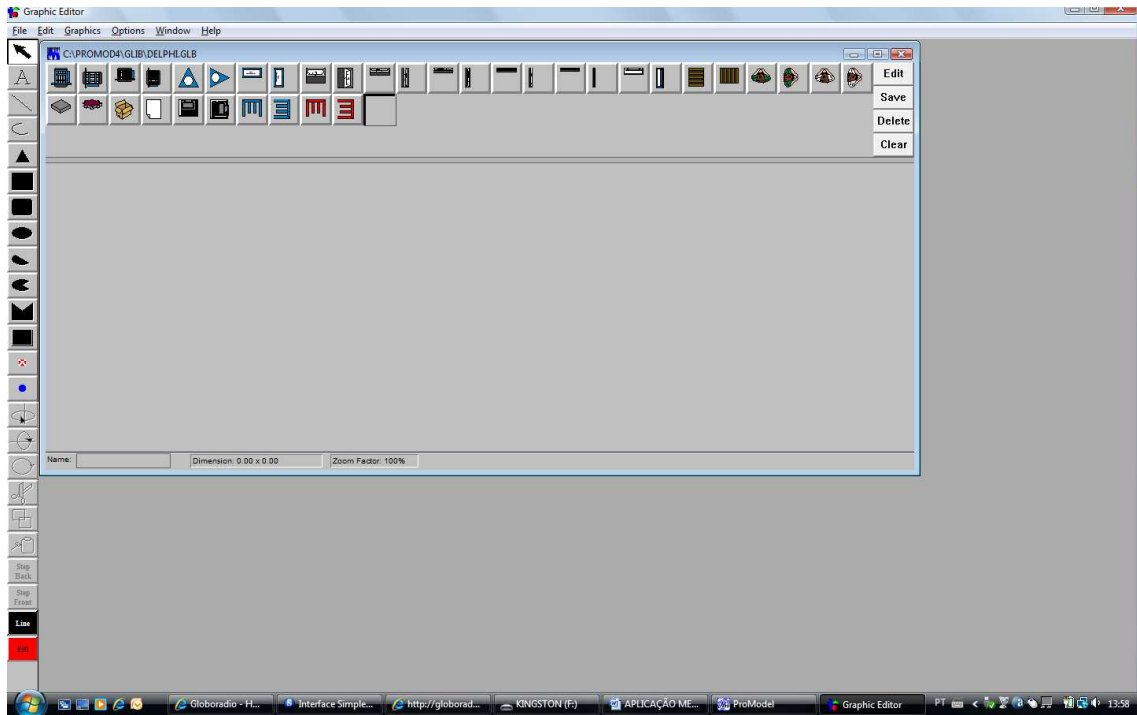


Figura 36: *Graphic Editor*, ferramenta para criação de bibliotecas.

Para o modelo em estudo foi necessária a criação dos seguintes elementos no *Graphic Editor*:

- **Percheiros**: bancadas utilizadas para construção de kits de montagem. Nos percheiros estão dispostos os cabos e conectores. Estes kits de montagem são pré-ligações destes cabos e conectores;
- **Triângulos**: equipamentos em formato de um triângulo com três lados sendo um lado para consumo, outro de espera e o terceiro de produção (abastecimento). Utilizado para fazer a conexão entre a bancada de percheiro e o posto de montagem final que irá utilizar o kit de montagem.
- **Shuttle**: ferramenta de conexão com a mesma finalidade do Triângulo, porém difere do anterior pelo fato de ser gravitacional e utilizar o conceito *First In First Out*.
- **Mesa de Montagem**: bancada utilizada para a montagem final do chicote elétrico. Possui tamanho padronizado variando somente o comprimento sempre em 36 polegadas (36, 72, 108, 144,...).
- **Rack de Componentes**: bancada utilizada para dispor os componentes (conectores, tubos, fitas de PVC, presilhas, etc) utilizados na mesa de montagem final.
- **Conveyor**: esteira (carrossel) utilizada para transporte de mesas de montagem.
- **Mesa de Teste Elétrico**: bancada utilizada para teste elétrico final do chicote.

- **Mesa de inspeção**: bancada utilizada para fazer a inspeção de qualidade e de dimensional do chicote.
- **Label Error**: bancada com um computador utilizada para conferência e direcionamento correto dos chicotes após o teste elétrico para o seu devido pallet de embalagem.
- **Cabide de Peças**: cabide utilizado para posicionar peças durante o processo.
- **Kit de montagem**: pré-montagem feita do chicote realizada nos percheiros.
- **Chicote**: produto final propriamente dito.

Em paralelo à criação desta biblioteca gráfica, foi iniciada a segunda análise de balanceamento para posteriormente iniciar a segunda fase de cronometragem dos postos de trabalho. Esta segunda cronometragem tem por finalidade refinar o balanceamento inicial da linha e buscar possíveis melhorias no tempo cronometrado, visto que nesta fase as atividades serão realizadas nas bancadas definitivas. As atividades de balanceamento e cronometragem dos elementos de trabalho seguem da mesma forma realizada na primeira etapa de cronometragem, ou seja, foram tomados novamente cinco tempos de cada elemento e após a tomada dos tempos foi feita uma redistribuição dos elementos em cada posto.

Abaixo segue a Tabela 1 com o comparativo dos tempos de cotação, primeira cronometragem e segunda cronometragem.

Tabela 10 – Quantidade de operadores e mesas da linha em estudo

Modelo de Veículo	Cotação	1ª Cronometragem	2ª Cronometragem
	Tempo de Montagem (minutos)	Tempo de Montagem (minutos)	Tempo de Montagem (minutos)
Básico	130,80	129,34	120,13
Médio	190,08	173,33	172,70
Completo	229,48	206,13	218,05

Após esta nova cronometragem, as informações deste novo tempo de montagem foram inseridas no Controle 17 para calcular novamente o novo número de postos de trabalho. Segue abaixo um resumo das informações inseridas no Controle 17 para a fase 3:

Tabela 11 – Informações iniciais

Modelos de veículos	Mix de produção dos modelos	Tempo de montagem (min)
Básico	20%	120,13
Médio	60%	172,70

Completo

20%

218,05

O tempo disponível por turno (8,11 horas) e quantidade de turnos (2 turnos) se mantiveram os mesmos bem como o percentual de parada não programada aceitável de 5% do tempo total disponível.

Volume: 1200		SET UP : 5%		DATA : 17/4/2007										
PROJETO: Volkswagen Gol NF		LINHA: Principal		HRS/TURNO: 8,11										
				MIN./TURNO: 486,6										
				QTD. TURNO: 2										
DESCR. CHICOTE	COD. DISPOS.	P/N	Nº CLIENTE	FORECAST DIARIO (Atual)	MIX (%) PROD.	QTD. DE LINHAS	OPERADORES POR LINHA	TEMPO DE MONTAGEM (min.)	TEMPO CICLO (min.)	TEMPO CICLO (seg.)	CAPAC. POR LINHA/TURNO	CAPAC. TOTAL	CAPAC. PRODUÇÃO	Peças por Hora
Veículo Básico				240	20,0%	6	38	120,13	3,16	190	154	1847	154%	19
Veículo Médio				720	60,0%		38	172,70	4,54	273	107	1285	107%	13
Veículo Completo				240	20,0%		38	218,05	5,74	344	86	1018	86%	10
				0			38		0,00	0	0	0	0%	0
RESUMO				1200	100%	6	38	171,26	4,51	270	108	1296	108,0%	13
												Pças/Hora:	13,31	#DIV/0!

Figura 37: Controle 17 fase 03

Como resultado do Controle 17, tivemos as seguintes informações:

- Tempo de ciclo por modelo em cada posto:
 - Veículo Básico: 3,16 minutos;
 - Veículo Médio: 4,54 minutos;
 - Veículo Completo: 5,74 minutos;
- 38 postos de trabalho para área de montagem;
- *Output* de 108 peças por linha e por turno;

Neste terceiro modelo, foi modificado o número de operadores na célula de embalagem, pois pelo modelo anterior verificou-se que com três operadores a utilização dos mesmos estava baixa. Foi rebalanceada a célula de embalagem utilizando apenas dois operadores.

Foi também adicionada uma mesa para testar os *clips* fora do *conveyor* para redução de custo de equipamento.

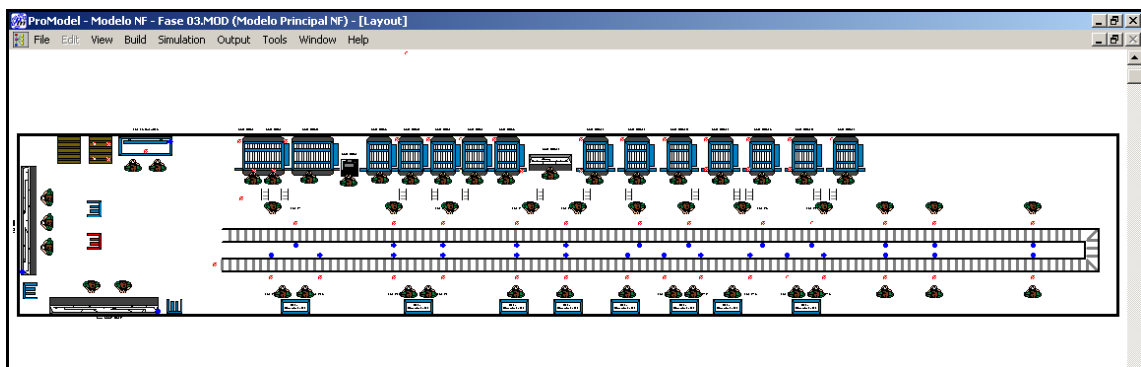


Figura 38: Layout da linha com a biblioteca.

As entidades processadas neste segundo modelo continuaram sendo as mesmas. Neste modelo, a principal alteração foi a utilização da *Location* Esteira do Promodel ao invés de um *Path Network* conforme modelos anteriores. A utilização deste recurso deve-se ao fato de ser mais fácil configurar a velocidade e comprimento total do *conveyor*. Porém, verificou-se uma dificuldade de simular a condição real do *conveyor* onde a entidade chicote é processada durante o seu movimento, pois o Promodel permite que as operações de processamento ocorram no início da esteira ou no final. Para resolver esta dificuldade foi necessária a criação de uma nova entidade sem aspecto gráfico (*Ent_Aux*). Esta nova entidade tem por função de caminhar por todos os postos de trabalho do *conveyor* em paralelo à movimentação da entidade chicote na esteira. Com isto, se a velocidade da esteira estiver configurada conforme o ciclo da linha, as duas entidades (*Ent_Aux* e *Ent_Chicote*) deverão chegar ao final do *conveyor* simultaneamente. Porém, para garantir que todos os postos de trabalho já processaram a entidade *Ent_Aux* foi utilizado o comando *Join* no final da esteira para juntar a entidade *Ent_Aux* à entidade *Chicote*.

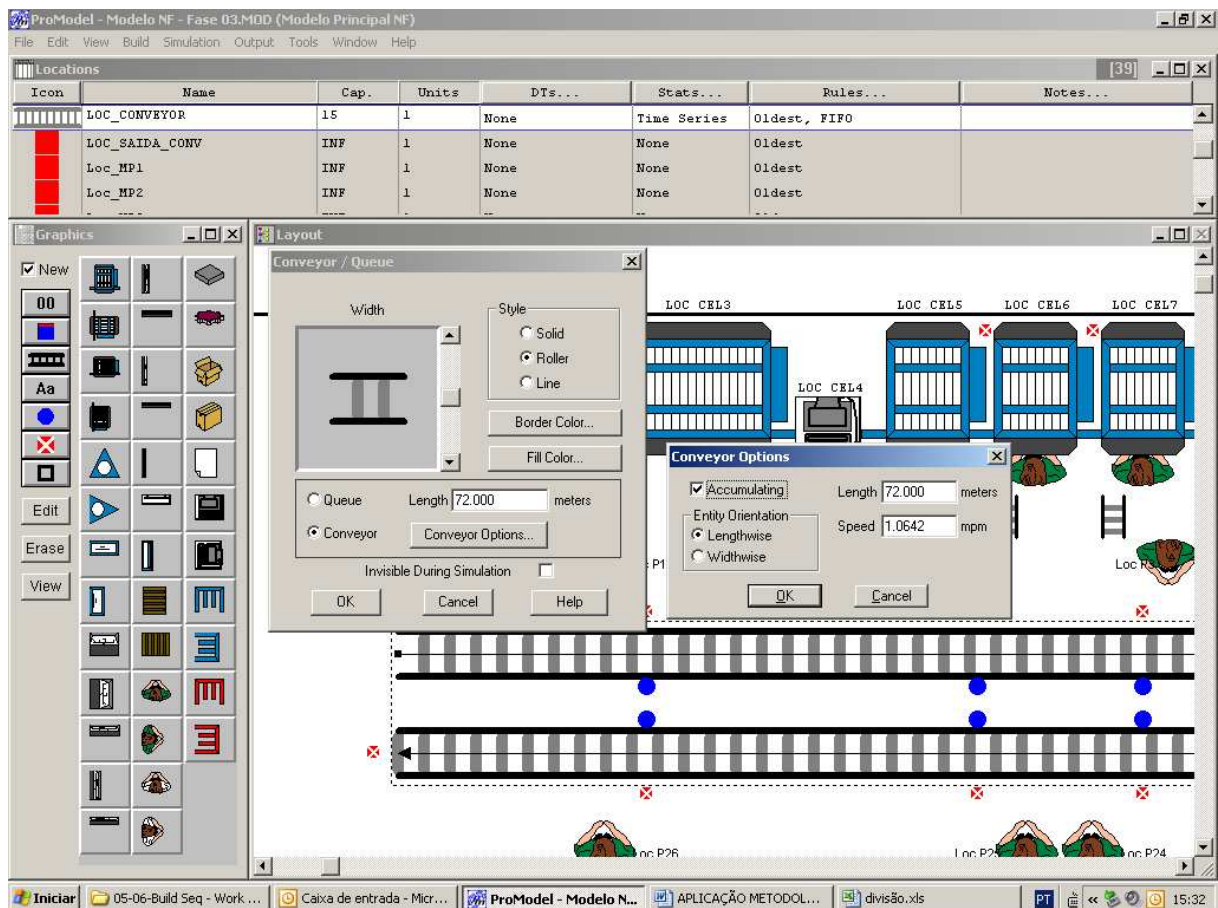
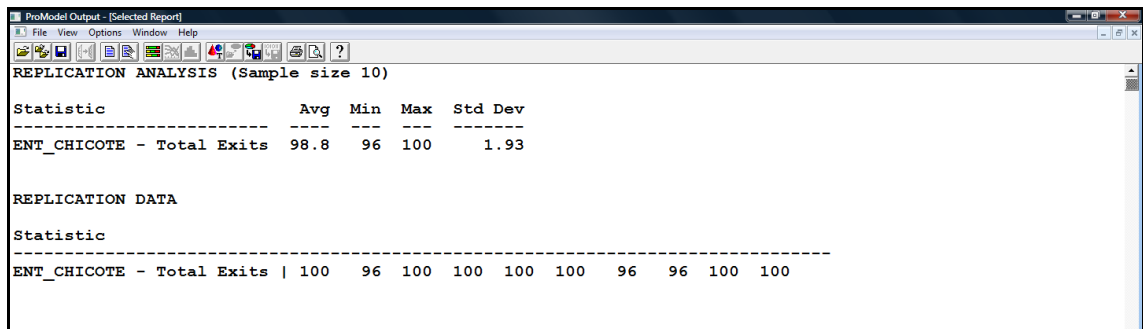


Figura 39: Representação *Join* no final da esteira

Primeiramente o modelo foi simulado com 10 replicações, considerando apenas o mix de 20% de veículos básicos, 60% de veículos médios e 20% de veículos completos e sem que o PPM de 35000 previsto pela qualidade fosse considerado.



```

ProModel Output - [Selected Report]
File View Options Window Help
REPLICATION ANALYSIS (Sample size 10)

Statistic          Avg  Min  Max  Std Dev
-----
ENT_CHICOTE - Total Exits  98.8  96  100   1.93

REPLICATION DATA

Statistic
-----
ENT_CHICOTE - Total Exits | 100  96  100  100  100  100  96  96  100  100

```

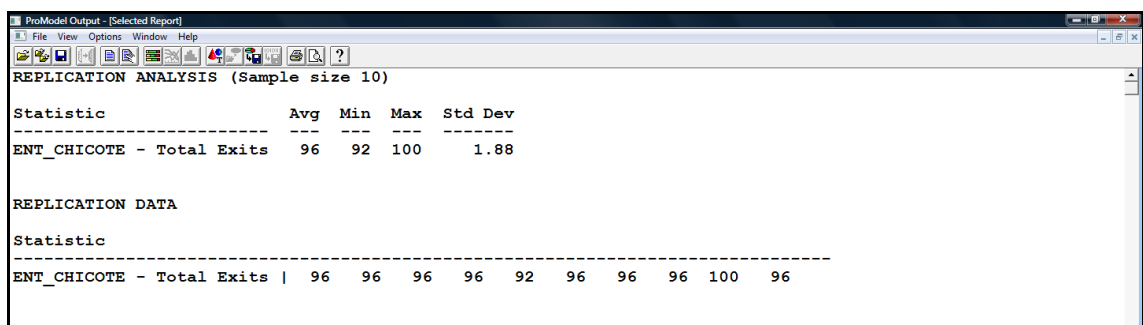
Figura 40: Relatório de output

Pela tabela acima, verificou-se que a quantidade de peças atende parcialmente ao objetivo.

Depois, adicionou-se o PPM de 35000 no modelo para avaliar o número de peças produzidas.

Para avaliação do PPM considerou-se que as peças rejeitadas no teste elétrico serão encaminhadas para o retrabalho e o mesmo é feito por outro operador. A peça é então encaminhada ao teste depois de passado um ciclo (4,86 min).

Com estas considerações percebe-se pela tabela abaixo que o output de peças é de 96, não atendendo o objetivo da linha.



```

ProModel Output - [Selected Report]
File View Options Window Help
REPLICATION ANALYSIS (Sample size 10)

Statistic          Avg  Min  Max  Std Dev
-----
ENT_CHICOTE - Total Exits   96  92  100   1.88

REPLICATION DATA

Statistic
-----
ENT_CHICOTE - Total Exits | 96  96  96  96  92  96  96  96  100  96

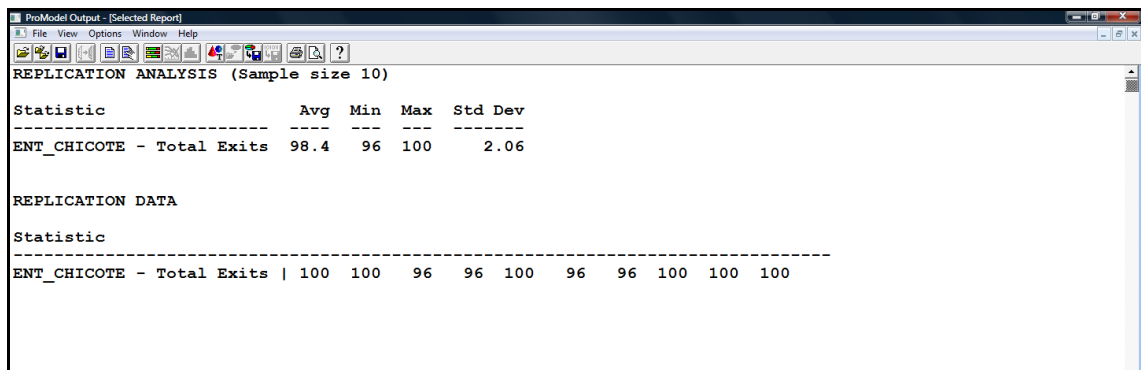
```

Figura 41: Relatório de output com PPM

A linha funciona em uma velocidade única, e para uma configuração de peça pequena, média e grande, em um determinado momento ganhamos peças (quando configuração pequena) e em outro momento perdemos peças (configuração grande).

Utilizando o mix acordado de 20% básico, 60% médio e 20% completo, procuramos encontrar o menor múltiplo de cada mix para obtermos a melhor seqüência de entrada de chicotes na linha. O número encontrado que deu o melhor resultado foi de 1 básico, 3 médios, 1 completo.

Com este sequenciamento verificou-se que era possível atender o volume contratado de peças que é de 100 peças/ turno e com o PPM de 35000.



```

ProModel Output - [Selected Report]
File View Options Window Help
REPLICATION ANALYSIS (Sample size 10)

Statistic          Avg  Min  Max  Std Dev
-----
ENT_CHICOTE - Total Exits  98.4  96  100   2.06

REPLICATION DATA

Statistic
-----
ENT_CHICOTE - Total Exits | 100 100 96 96 100 96 96 100 100 100

```

Figura 41: Relatório de output com PPM e sequenciamento

6.5 Validar o modelo computacional

Para a análise do processo de validação do modelo, dentre as técnicas de validação propostas por SARGENT (2004) destacam-se a validação por meio de comparação do modelo simulado com o modelo real, com outros modelos analíticos, validação pela animação do modelo e validação pelo histórico de produção do modelo real em relação ao modelo simulado.

Porém, como a aplicação deste trabalho é sobre a utilização da simulação para o desenvolvimento de novos sistemas de produção, não seria possível comparar os resultados do modelo simulado com resultados reais de modelos reais, existentes fisicamente. Com isto, após avaliação de várias técnicas de verificação e validação de modelos simulados, as seguintes técnicas foram selecionadas:

- Validação por animação: é a verificação se o modelo computacional está funcionando graficamente conforme o modelo pré-estabelecido pelo especialista de desenvolvimento do sistema. Esta validação é feita através da comparação com a representação do sistema desenhada pelo especialista do sistema em desenvolvimento com a animação do modelo. Nesta representação o especialista do sistema dispõe todas as informações importantes para o desenvolvimento do modelo computacional, por exemplo, tempo de ciclo de todas as peças, o layout da linha de produção (disposição dos equipamentos), o fluxo pelo quais as peças passaram, a forma como as peças transitaram pelo sistema (qual operador move a peça e para qual processo).

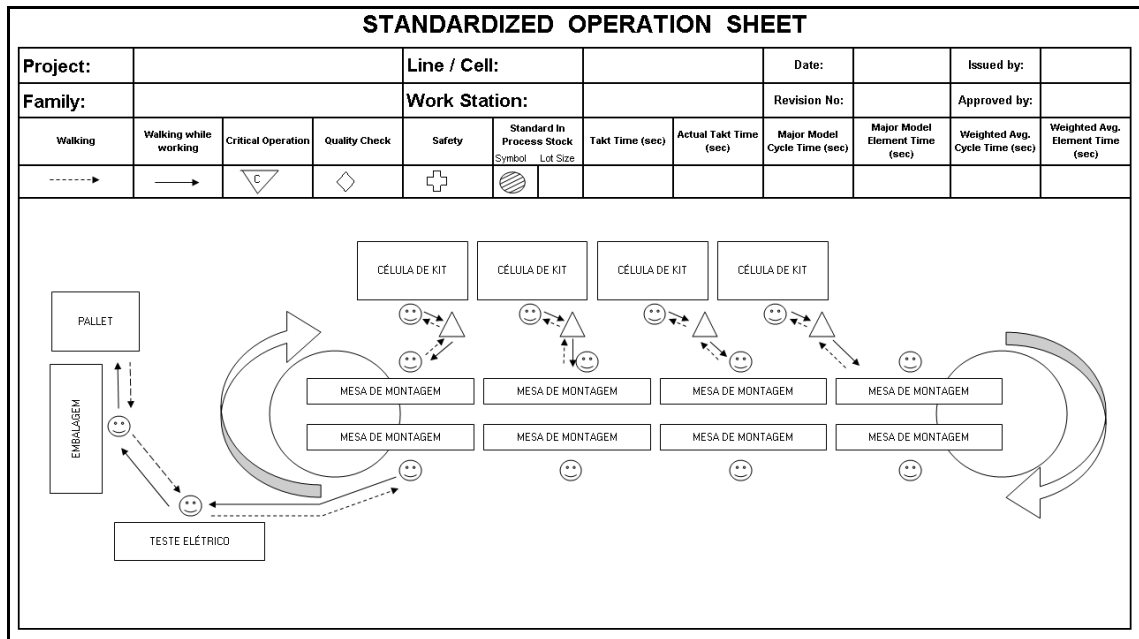


Figura 42: Exemplo de representação do sistema

- Validação por comparação com outros modelos analíticos: Este tipo de validação, no caso específico deste estudo, é realizada comparando o tempo de ciclo de cada posto de trabalho que é retirado do modelo computacional com a utilização dos comandos *Clock* e *Log* do ProModel e apresentado no relatório da simulação com a tabela de tempos de cada posto de trabalho (Balanceamento) realizada pelo especialista responsável pelo desenvolvimento do sistema. A idéia desta validação é a comparação do tempo inserido no modelo com o tempo gerado no simulador.
- Validação por face: este tipo de validação conta com a participação dos especialistas de desenvolvimento do sistema de manufatura, que verifica se o modelo computacional está funcionando refletindo a idéia planejada por eles para o sistema futuro. Este tipo de validação acaba também englobando os dois processos anteriores de validação.

Como todo o modelo computacional foi feito em três fases, a validação será abordada da mesma forma, como segue.

6.5.1 Validação Fase 01

Validação por animação: Nesta primeira fase os especialistas responsáveis pelo desenvolvimento do sistema de desenharam um layout inicial do projeto. Sobre este layout foram inseridas setas indicando o fluxo de montagem do produto.

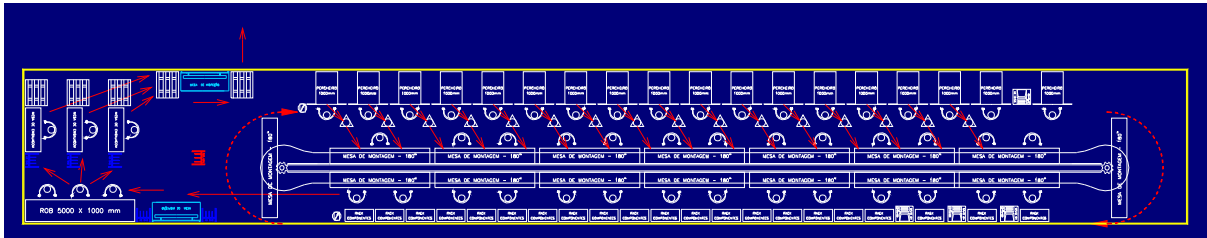


Figura 43: Layout inicial do modelo

Como este próprio layout foi utilizado para a construção do modelo como um plano de fundo conforme explicado anteriormente (vide item 6.4.1 Fase 1 - Confecção do modelo inicial) o processo de validação por animação se resumiu em verificar somente o fluxo de movimentação das entidades sobre este layout. Este tipo de validação foi possível ser realizada de duas formas, primeiro comparando o layout com a tela de *Processing* do Promodel onde cada linha processo possui uma seta indicando o fluxo da entidade e em segundo foi pela observação da animação do modelo durante a sua execução.

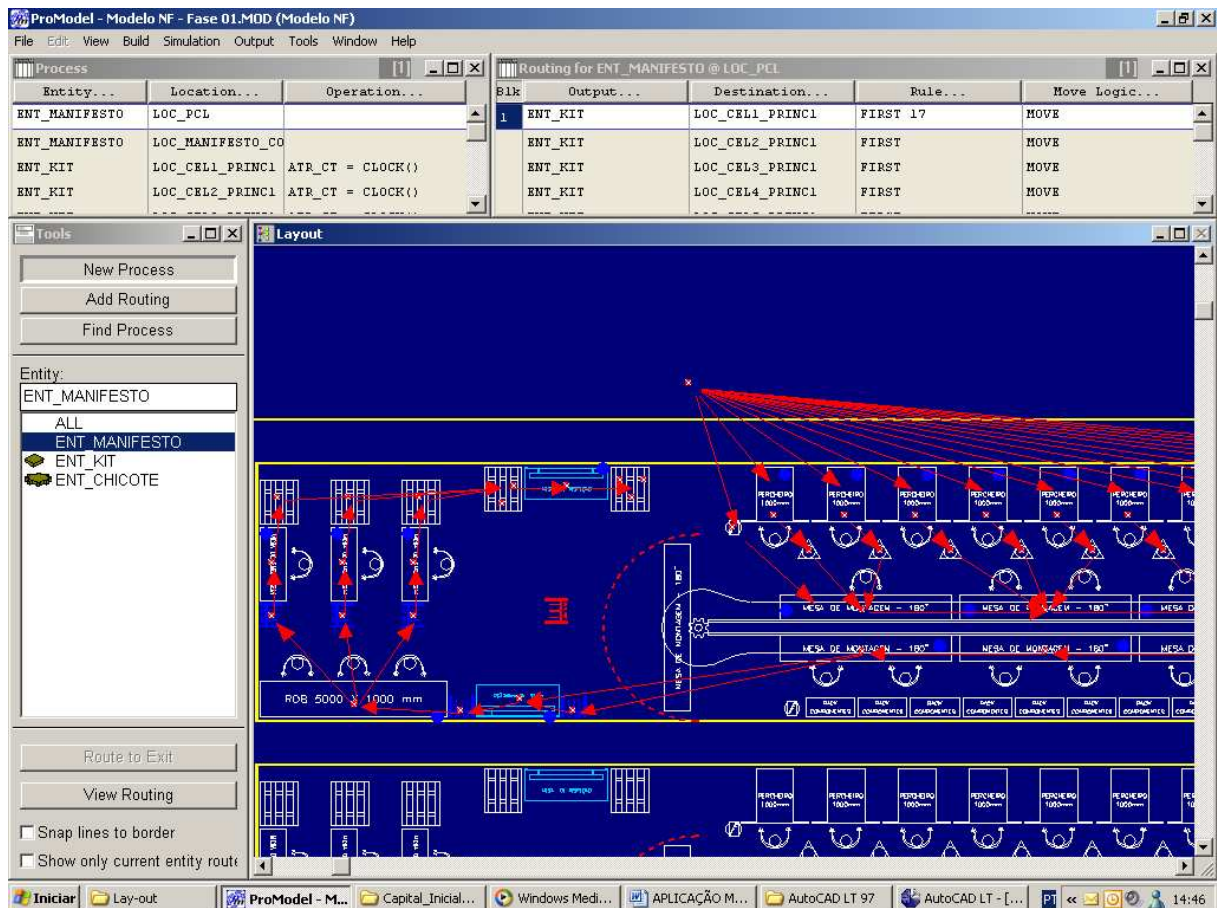


Figura 44: Layout do modelo no software Promodel

O Modelo Computacional foi aprovado pelo especialista nesta primeira validação.

Validação por comparação com outros modelos analíticos: neste primeiro modelo não foi possível realizar a comparação do tempo de ciclo de cada posto de trabalho com a tabela

de balanceamento desenvolvida pelo especialista da linha devido ao fato deste modelo estar utilizando o tempo de cotação e de não ter iniciado a fase de cronometragem dos postos de trabalho.

Validação por face: esta validação acabou ocorrendo junto com a validação por animação que aprovada.

6.5.2 Validação Fase 02

Validação por animação: O modelo fase 02 foi comparado com o layout desenvolvido para a fase 02 obtendo também a aprovação.

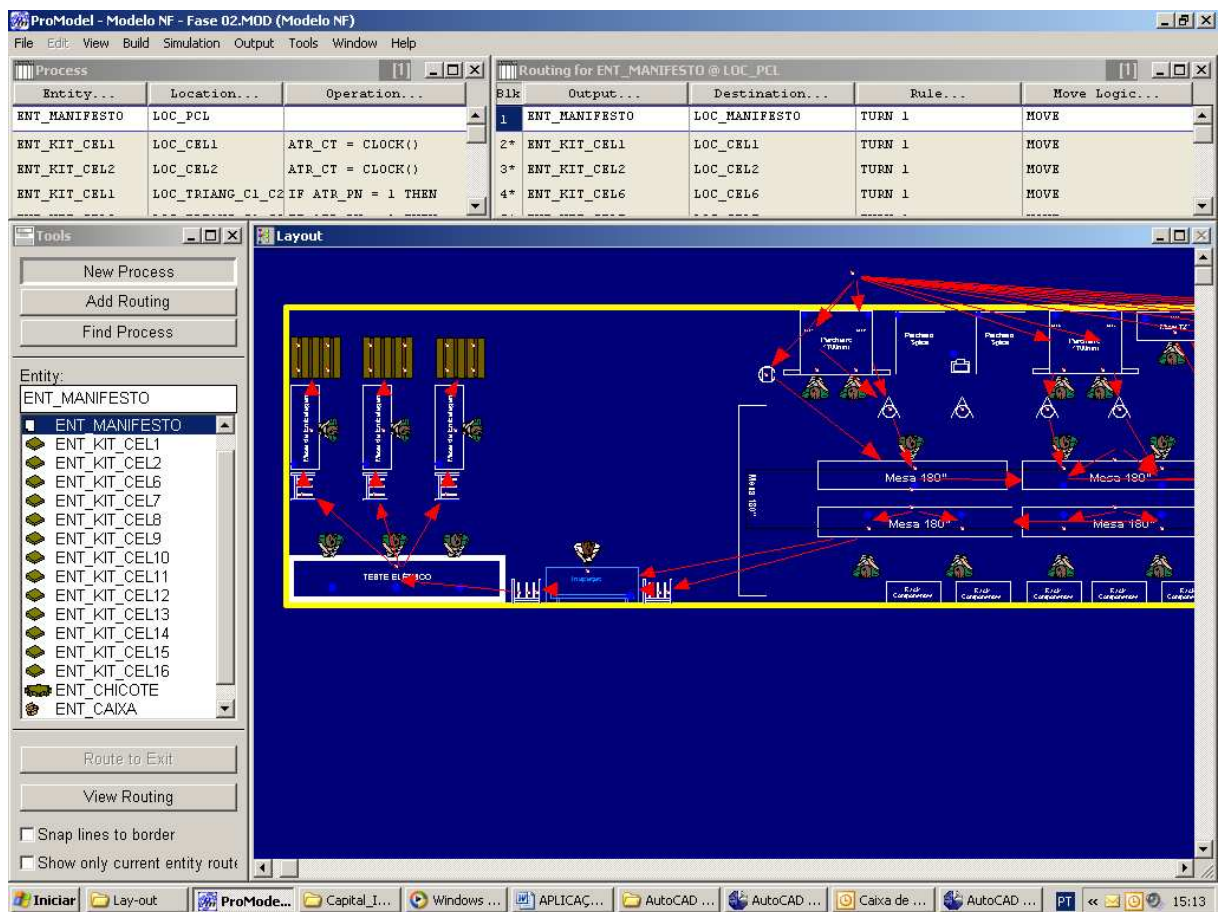


Figura 45: Layout do modelo fase 2 no software Promodel

Validação por comparação com outros modelos analíticos: Neste segundo modelo foi possível realizar a comparação dos tempos do modelo com os tempos de balanceamento (Tabela 12) devido ao fato deste modelo possuir os *Resources*. Abaixo segue uma tabela comparativa dos tempos de balanceamento e os tempos retirados do modelo através do comando *LOG*.

Tabela 12 - Comparação tempos de balanceamento fase 2 com o do modelo

PRÉ - PLANNING				MODELO SIMULADO				% DIFERENÇA		
MODELO FASE 2	CHICOTE			MODELO FASE 2	CHICOTE			CHICOTE		
	PEQ.	MED.	GRA.		PEQ.	MED.	GRA.	PEQ.	MED.	GRA.
CEL1	222	269	331	CEL1	226	277	335	2,0%	3,2%	1,3%
CEL2	182	270	331	CEL2	182	266	331	0,0%	-1,7%	-0,1%
CEL3	181	284	330	CEL3	182	275	331	0,5%	-3,1%	0,3%
CEL4	179	262	328	CEL4	179	261	329	0,0%	-0,4%	0,4%
CEL5	183	268	329	CEL5	173	268	325	-5,5%	0,0%	-1,1%
CEL6	183	268	329	CEL6	195	264	334	6,7%	-1,3%	1,7%
CEL7	178	268	329	CEL7	179	267	331	0,4%	-0,6%	0,9%
CEL8	185	273	328	CEL8	187	270	330	1,4%	-0,9%	0,7%
CEL9	176	269	319	CEL9	176	263	321	0,1%	-2,1%	0,7%
CEL10	151	235	303	CEL10	153	236	305	1,3%	0,4%	0,7%
CEL11	182	269	343	CEL11	182	271	345	0,3%	0,6%	0,8%
CEL12	174	264	344	CEL12	174	265	346	0,1%	0,3%	0,5%
CEL13	175	268	332	CEL13	177	267	334	0,7%	-0,6%	0,6%
POSTO1	179	264	341	POSTO1	183	269	345	2,5%	2,0%	1,3%
POSTO2	185	274	348	POSTO2	187	275	350	1,0%	0,5%	0,6%
POSTO3	186	265	325	POSTO3	189	266	328	1,6%	0,5%	0,9%
POSTO4	183	266	338	POSTO4	190	276	348	3,8%	3,6%	2,9%
POSTO5	170	279	341	POSTO5	172	275	343	1,3%	-1,6%	0,6%
POSTO6	182	275	338	POSTO6	184	273	340	1,1%	-0,7%	0,6%
POSTO7	151	285	373	POSTO7	155	283	377	2,5%	-0,8%	1,0%
POSTO8	169	263	338	POSTO8	172	265	341	2,0%	0,7%	1,0%
POSTO9	173	251	327	POSTO9	175	255	329	1,1%	1,5%	0,6%
POSTO10	185	274	319	POSTO10	188	270	322	1,5%	-1,4%	0,9%
POSTO11	261	258	286	POSTO11	258	265	287	-1,0%	2,9%	0,4%
POSTO12	241	262	289	POSTO12	241	265	290	-0,1%	1,1%	0,1%
POSTO13	262	283	310	POSTO13	262	285	311	-0,1%	0,9%	0,1%
POSTO14	247	267	295	POSTO14	247	270	296	0,1%	1,1%	0,3%
POSTO15	245	266	293	POSTO15	246	269	294	0,1%	1,1%	0,1%
POSTO16	238	258	285	POSTO16	238	261	286	0,2%	1,1%	0,1%
POSTO17	246	266	294	POSTO17	246	269	295	0,1%	1,0%	0,3%
POSTO18	235	256	283	POSTO18	235	258	284	-0,2%	1,1%	0,1%
POSTO19	249	269	297	POSTO19	249	272	298	0,1%	1,0%	0,3%
POSTO20	237	257	285	POSTO20	237	260	286	0,2%	1,2%	0,4%
POSTO21	251	271	299	POSTO21	251	274	300	0,0%	0,9%	0,2%
POSTO22	239	260	287	POSTO22	239	263	288	-0,1%	1,1%	0,1%
POSTO23	237	257	285	POSTO23	238	260	286	0,3%	1,1%	0,2%
POSTO24	240	261	288	POSTO24	240	263	289	-0,1%	1,1%	0,1%
POSTO25	240	260	288	POSTO25	258	277	289	7,5%	6,3%	0,2%
TOTAL (min.)	129,68	168,53	200,44	TOTAL (min.)	130,74	169,42	201,59	0,8%	0,5%	0,6%

A comparação dos tempos do modelo com os tempos de balanceamento tem por finalidade de verificar se ocorreu em algum dos postos do modelo algum tipo de anormalidade, por exemplo, um tempo do modelo muito maior do que o tempo de balanceamento pode significar algum tipo de falta de material neste posto, pois o comando *Clock* é executado no início da lógica de processo de cada posto e o comando *Log* na última linha de comando na programação. Outro dado importante desta tabela é a comparação do tempo total do produto que é a somatória dos tempos de todos os postos de trabalho. Neste caso se algum dos três produtos estivesse com um tempo muito menor em relação ao tempo total de balanceamento, poderia representar a falta de processamento do produto em algum posto de trabalho. Neste caso é necessário verificar no relatório do Promodel a quantidade de observações realizadas pelo modelo conforme tela abaixo.

ProModel Output - [General Report]

File View Options Window Help

LOGS

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
CT CEL 01	98.6	226.38	335.38	277.48	(Average)
CT CEL 02	98.7	182.00	331.00	265.85	(Average)
CT POSTO 01	98.7	183.40	345.40	269.16	(Average)
CT CEL 06	99.1	182.26	331.26	275.45	(Average)
CT CEL 07	99.1	179.00	329.26	260.68	(Average)
CT POSTO 02	98.6	186.92	349.92	275.49	(Average)
CT POSTO 03	98.6	188.92	327.92	266.31	(Average)
CT CEL 09	98.7	195.24	334.24	263.95	(Average)
CT CEL 08	98.9	173.00	325.00	267.61	(Average)
CT CEL 10	98.8	178.72	331.40	266.50	(Average)
CT POSTO 04	98.9	189.94	347.94	275.69	(Average)
CT POSTO 05	98.9	172.20	343.20	274.52	(Average)
CT CEL 11	98.8	187.20	330.20	270.34	(Average)
CT CEL 12	98.9	176.00	321.20	263.30	(Average)
CT POSTO 06	98.7	183.92	339.92	273.11	(Average)
CT POSTO 07	98.6	154.84	376.84	282.74	(Average)
CT CEL 13	98.8	152.53	304.92	235.95	(Average)
CT CEL 14	98.3	182.32	345.44	270.84	(Average)
CT CEL 15	98.5	174.00	345.98	264.89	(Average)
CT POSTO 08	98.8	172.32	341.32	264.95	(Average)
CT POSTO 09	98.9	174.92	328.92	254.77	(Average)
CT CEL 16	98.6	176.64	334.06	266.57	(Average)
CT POSTO 10	98.7	187.72	321.72	270.14	(Average)
CT POSTO 11	98.8	258.00	286.63	265.06	(Average)
CT POSTO 12	98.8	241.00	289.60	264.35	(Average)
CT POSTO 13	98.6	210.36	283.60	260.68	(Average)
CT POSTO 14	98.6	258.00	286.80	265.23	(Average)
CT POSTO 15	98.6	241.06	289.60	264.52	(Average)
CT POSTO 16	98.4	262.00	310.60	285.14	(Average)
CT POSTO 17	98.5	247.00	295.60	269.91	(Average)
CT POSTO 18	98.5	245.60	293.60	268.63	(Average)

View: <untitled> Modified

16:38

Figura 46: Relatório de números de observações

No caso deste estudo, o número de observações tem que ser igual ao número peça produzida. O modelo fase 2 atendeu todos os critérios acima, bem como a validação por face que foi aprovada pelos especialistas.

6.5.3 Validação Fase 03

Validação por animação: como no modelo fase três a biblioteca gráfica que foi criada já era utilizada, na validação por animação além da verificação do fluxo da linha de produção tivemos que comparar o layout do modelo com o layout criado pelo o especialista do projeto.

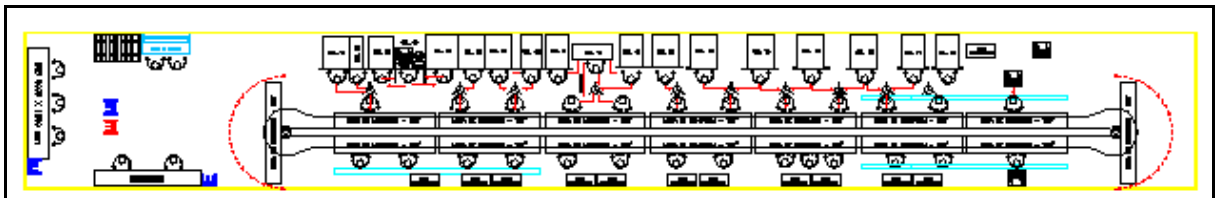


Figura 47: Representação layout fase 3

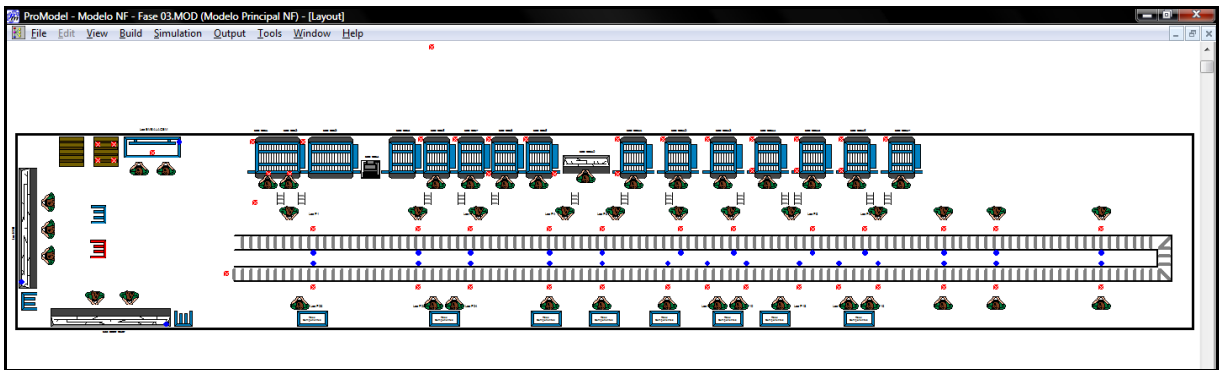


Figura 48: Representação modelo fase 3 com adição da biblioteca gráfica

A partir da comparação das duas figuras acima o modelo computacional foi aprovado em relação ao layout desenvolvido, possuindo apenas algumas pequenas diferenças que não interferem na análise em questão, segundo os especialistas. Quanto ao fluxo, o modelo foi comparado com o fluxo que estava representado no *layout* e também obteve aprovação.

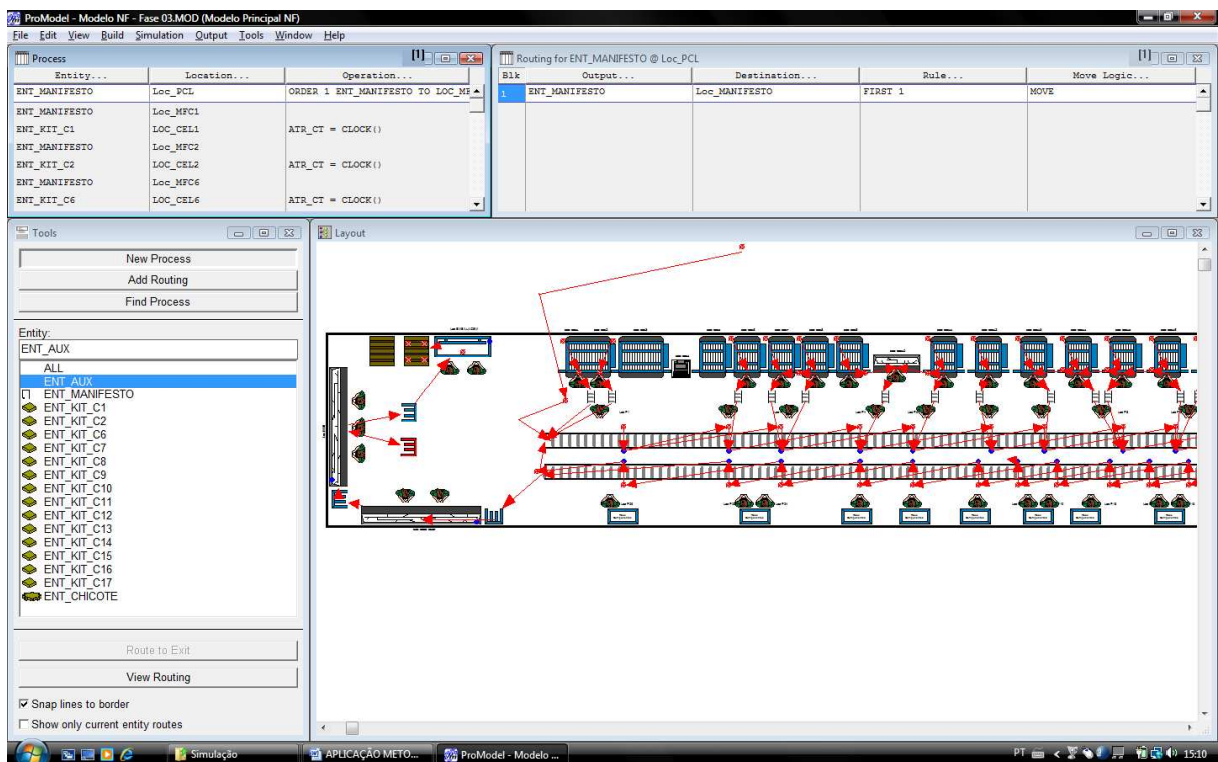


Figura 49: Fluxo de peças modelo fase 3

Validação por comparação com outro modelo analítico: na comparação com outro modelo analítico, foram realizadas comparações dos resultados gerados pelo relatório do Promodel através dos comandos *Clock* e *Log* com os tempos de balanceamento. A Tabela 13 abaixo apresenta os tempos de balanceamento e os tempos de modelo.

Tabela 13 – Comparação tempos de balanceamento fase 3 com o do modelo

PRÉ - PLANNING				MODELO SIMULADO				% DIFERENÇA		
MODELO FASE 3	CHICOTE			MODELO FASE 3	CHICOTE			CHICOTE		
	PEQ.	MED.	GRA.		PEQ.	MED.	GRA.	PEQ.	MED.	GRA.
CEL1	170	269	333	CEL1	173	269	336	2,0%	-0,2%	1,0%
CEL2	222	269	336	CEL2	225	278	339	1,5%	3,5%	1,0%
CEL3				CEL3						
CEL4				CEL4						
CEL5				CEL5						
CEL6	171	302	332	CEL6	174	288	335	1,8%	-4,7%	0,9%
CEL7	189	282	312	CEL7	192	275	315	1,6%	-2,6%	1,0%
CEL8	205	278	314	CEL8	209	276	318	1,8%	-0,6%	1,1%
CEL9	215	255	342	CEL9	219	270	346	1,7%	6,0%	1,1%
CEL10	193	269	351	CEL10	200	312	609	3,7%	16,2%	73,4%
CEL11	181	216	356	CEL11	185	245	360	2,0%	13,2%	1,0%
CEL12	162	240	323	CEL12	165	247	326	1,9%	2,8%	1,1%
CEL13	193	275	335	CEL13	204	320	687	5,3%	16,3%	104,8%
CEL14	193	282	336	CEL14	202	326	761	4,9%	15,8%	126,3%
CEL15	180	261	337	CEL15	191	322	679	5,9%	23,3%	101,7%
CEL16	191	277	334	CEL16	195	277	338	1,7%	-0,1%	1,0%
CEL17	198	258	330	CEL17	202	266	334	1,8%	3,2%	1,1%
POSTO1	161	246	322	POSTO1	164	249	325	1,9%	1,4%	0,9%
POSTO2	171	246	298	POSTO2	177	249	310	3,4%	1,3%	4,1%
POSTO3	172	260	316	POSTO3	185	269	329	7,8%	3,5%	4,3%
POSTO4	144	243	305	POSTO4	150	244	311	4,3%	0,4%	2,0%
POSTO5	170	245	298	POSTO5	176	248	304	3,6%	1,4%	2,0%
POSTO6	151	238	301	POSTO6	157	241	307	4,0%	1,1%	1,9%
POSTO7	175	225	328	POSTO7	181	251	455	3,4%	11,8%	38,7%
POSTO8	172	251	285	POSTO8	185	256	298	7,8%	2,0%	4,4%
POSTO9	173	250	320	POSTO9	186	262	333	7,5%	4,9%	3,9%
POSTO10	158	258	329	POSTO10	158	254	330	0,0%	-1,7%	0,3%
POSTO11	166	251	310	POSTO11	166	247	311	0,0%	-1,6%	0,3%
POSTO12	261	259	285	POSTO12	259	265	286	-0,6%	2,3%	0,2%
POSTO13	297	318	344	POSTO13	297	319	345	0,1%	0,3%	0,1%
POSTO14	262	284	310	POSTO14	262	285	311	-0,1%	0,5%	0,3%
POSTO15	247	268	294	POSTO15	248	270	295	0,5%	0,7%	0,1%
POSTO16	245	267	293	POSTO16	245	269	294	-0,1%	0,7%	0,3%
POSTO17	230	251	277	POSTO17	230	253	278	0,3%	0,8%	0,3%
POSTO18	193	214	240	POSTO18	194	217	241	0,8%	1,0%	0,3%
POSTO19	260	282	308	POSTO19	260	283	309	-0,1%	0,5%	0,3%
POSTO20	277	299	325	POSTO20	277	300	326	0,0%	0,5%	0,4%
POSTO21	237	258	284	POSTO21	237	260	285	0,2%	0,6%	0,2%
POSTO22	242	264	290	POSTO22	242	266	291	0,0%	0,7%	0,4%
POSTO23	219	241	267	POSTO23	219	243	268	0,0%	0,8%	0,4%
POSTO24	237	259	285	POSTO24	237	261	286	0,0%	0,8%	0,5%
POSTO25	240	262	288	POSTO25	240	264	289	-0,1%	0,6%	0,4%
POSTO26	240	262	288	POSTO26	240	273	293	0,0%	4,4%	1,7%
TOTAL (min.)	136,04	173,91	207,72	TOTAL (min.)	138,46	179,50	234,86	1,8%	3,2%	13,1%

Pela tabela acima, pode-se verificar alguns postos de trabalho que tiveram o tempo de simulação maior do que o tempo de balanceamento. Ao verificar melhor o modelo constatou-se que um dos postos que tiveram a maior diferença do tempo simulado com o tempo de balanceamento tiveram falta de material. A célula em questão (CEL15) produz kit de montagem que é direcionado para a célula CEL14 que por sua vez acrescenta submontagens neste kit e encaminha-o para a célula CEL13. A CEL13 por sua vez termina o processo de montagem deste kit e o encaminha para o ponto de consumo final, o posto 7 do *conveyor*.

Como a linha em estudo funciona com o fluxo de uma peça por vez, a diferença de tempo de cada produto acaba ocasionando um tempo de espera de material quando uma determinada célula está processando um veículo pequeno e a célula anterior um veículo grande. Apesar desta diferença de tempos, o modelo foi aprovado no que diz respeito a sua funcionalidade, ou seja, o modelo está funcionando conforme projetado pelo especialista, porém, apresenta problemas de reposição de material, problema este que foi reportado ao especialista do desenvolvimento para atuar.

6.6 Projetar, conduzir e analisar experimentos

Todos os experimentos de simulação foram realizados no software ProModel que apresenta relatórios que possibilitam obter informações sobre o percentual de utilização de cada operador e o balanceamento de postos de trabalho. Para cada uma das fases de confecção dos modelos computacionais, foram definidas variáveis de entrada que permitiram avaliar através do relatório de análise de replicação a capacidade máxima de produção. Além destas informações, estes relatórios trazem vários dados estatísticos que podem ser configurados conforme tela abaixo.

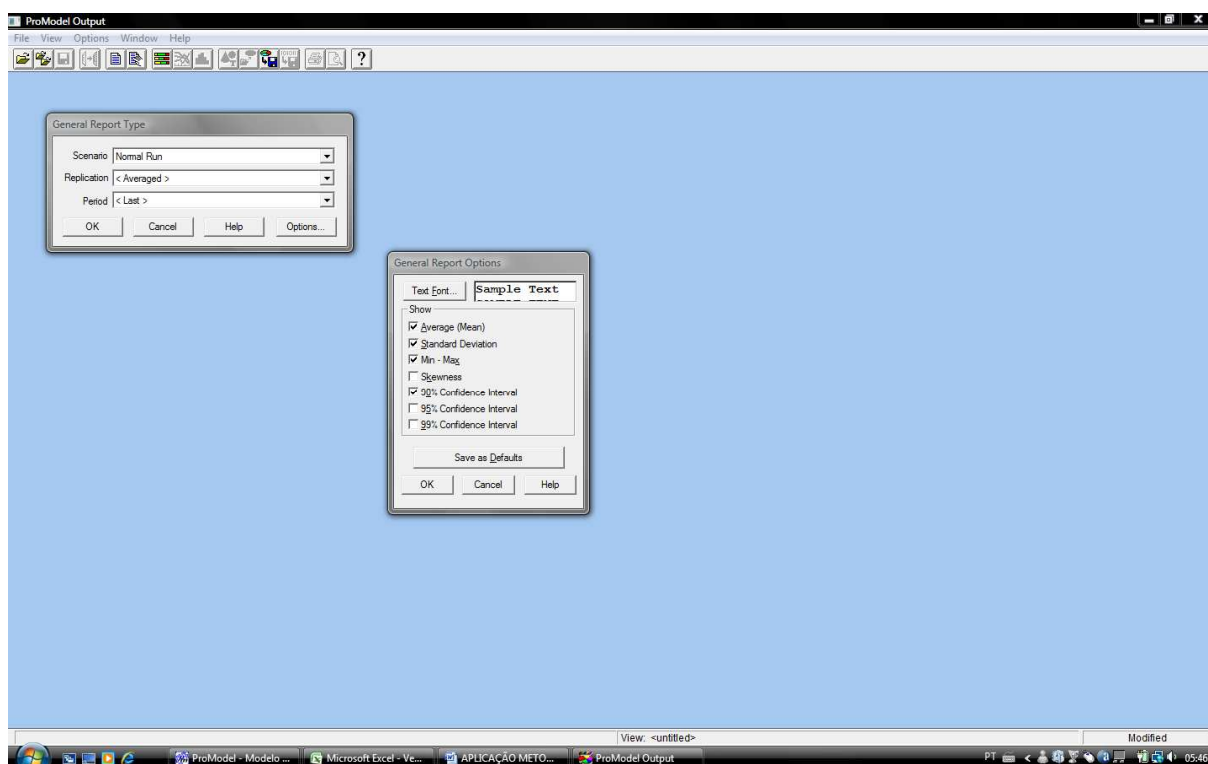


Figura 50: Tela do Promodel para dados estatísticos

Os principais relatórios gerados pelo Promodel que foram utilizados para a análise dos processos de fabricação foram os relatórios de capacidade produção, utilização dos recursos e

o tempo de ciclo de cada estação de trabalho, itens estes mais monitorados durante o desenvolvimento do processos de fabricação.

6.6.1 Relatório de Capacidade de Produção

O relatório de capacidade de produção mostra o número total de peças produzidas pelo sistema em desenvolvimento. Em cada fase de desenvolvimento foram comparados os resultados deste relatório com os resultados do formulário interno Controle 17 conforme explicado anteriormente. Pode-se verificar no decorrer do estudo que os valores de output do modelo simulado são sempre menores do que os valores do Controle 17. Esta diferença deve-se ao fato de que o Controle 17 não considera o fator balanceamento.

Volume: 1200		SET UP: 5%		DATA: 17/4/2007											
PROJETO: Volkswagen Gol NF		LINHA: Principal		HRS/TURNO: 8,11											
				MIN./TURNO: 486,6											
				QTD. TURNO: 2											
DESCR. CHICOTE	COD. DISPOS.	P/N	Nº CLIENTE	FORECAST DIARIO (Atual)	MIX (%) PROD.	QTD. DE LINHAS	OPERADORES POR LINHA	TEMPO DE MONTAGEM (min.)	TEMPO CICLO (min.)	TEMPO CICLO (seg.)	CAPAC. POR LINHA / TURNO	CAPAC. TOTAL	CAPAC. PRODUÇÃO	Peças por Hora	
Veículo Básico				240	20,0%	6	38	120,13	3,16	190	154	1947	154%	19	
Veículo Médio				720	60,0%		38	172,70	4,54	273	107	1285	107%	13	
Veículo Completo				240	20,0%		38	218,05	5,74	344	85	1018	85%	10	
				0			38		0,00	0	0	0	0%	0	
				0			38		0,00	0	0	0	0%	0	
RESUMO				1200	100%	6	38	171,26	4,51	270	108	1296	100,0%	13	
												0	Pças/Hora:	13,31	#DIV/0!

Figura 51: Controle 17

No controle 17 o especialista insere somente o tempo total do produto, e o formulário divide o tempo total pelo o número de operadores e partir daí calcula a capacidade da linha. Já o Promodel considera a inter-relação dos postos de trabalho bem como os tempos de cada posto de trabalho, dando um resultado muito mais real do que o Controle 17. Abaixo pode-se verificar que o Controle 17 (Figura 51) mostra o valor de 108 peças/turno por linha e o relatório do Promodel (Figura 52) um valor de 88 peças/turno por linha.

REPLICATION ANALYSIS (Sample size 10)							
Statistic	Avg	Median	Min	Max	Std Dev	Std Err	
ENT_CHICOTE - Total Exits	87.6	88	84	88	1.26	0.4	
REPLICATION DATA							
Statistic							
ENT_CHICOTE - Total Exits	88	88	88	88	88	88	84 88 88

Figura 52: Relatório de peças do Promodel

6.6.2 Relatório de Utilização dos Recursos

No relatório de utilização dos recursos gerado pelo Promodel, é possível verificar não somente a utilização de cada posto de trabalho como também o percentual de caminhada do recurso, seja este carregado ou livre, o percentual de ociosidade e o percentual de paradas por quebra de máquinas. Os percentuais de utilização, caminhada, ociosidade e paradas geradas por este relatório são referente ao tempo total de simulação. Antes da implementação do Promodel na empresa, o formulário utilizado para este tipo de análise era o Sigma ET/CT (Figura 53).

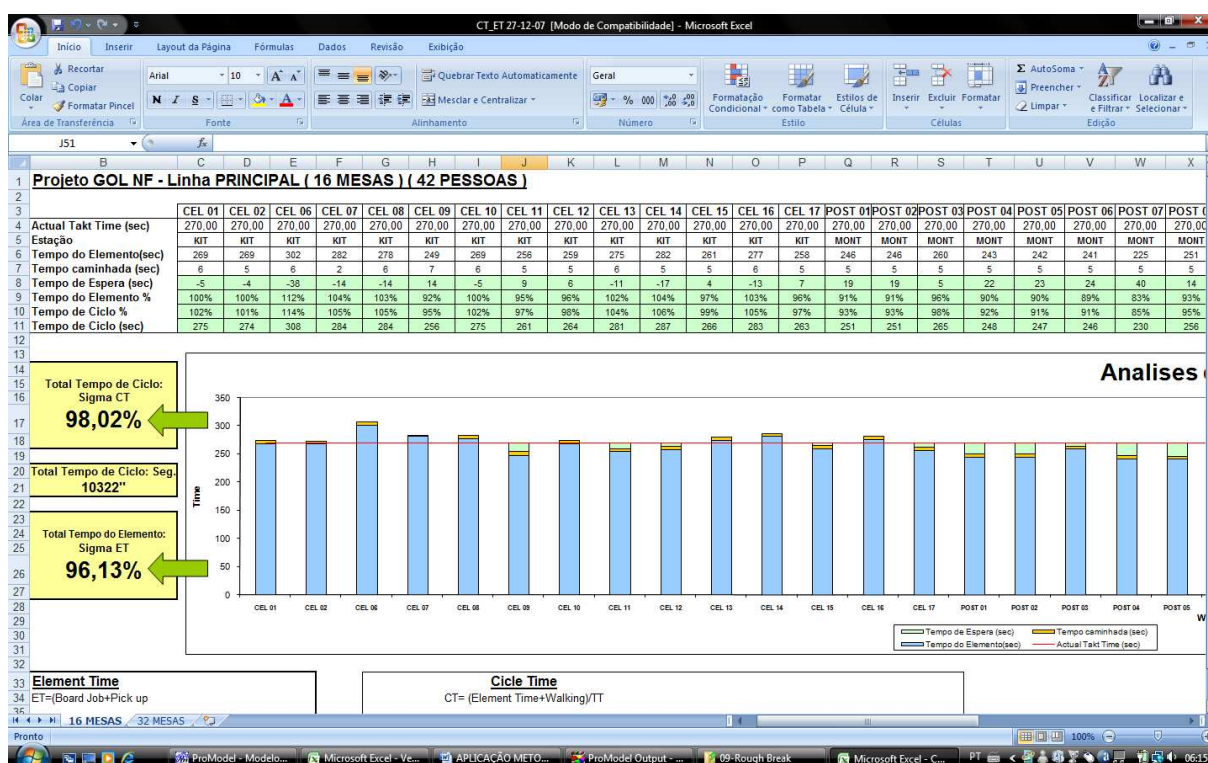


Figura 53: Relatório Sigma ET/CT

O Sigma ET representa para a empresa em estudo o percentual referente ao *Takt Time*, que cada posto está carregado de elemento de trabalho, não considerando qualquer tipo de caminhada para transporte do produto. Já o Sigma CT, representa o percentual, também referente ao *Takt Time*, que cada posto está carregando de elemento de trabalho mais a caminhada para transporte. Porém este formulário apresentava os resultados para cada tipo de produto, ou seja, não era possível fazer uma análise do Sigma ET/CT de um período de um turno inteiro de uma determinada linha se esta produzisse vários produtos durante este turno, pois para cada produto tinha um Sigma ET/CT diferente.

ProModel Output - (General Report)

RESOURCE STATES BY PERCENTAGE

Resource Name	Scheduled Hours	% In Use	% Travel To Use	% Travel To Park	% Idle	% Down	
OP_CEL1	8.11	83.02	0.20	0.00	16.77	0.00	(Average)
OP_CEL2	8.11	87.17	0.21	0.00	12.63	0.00	(Average)
OP_CEL3	8.11	0.00	-	-	100.00	0.00	(Average)
OP_CEL4	8.11	0.00	-	-	100.00	0.00	(Average)
OP_CEL5	8.11	0.00	-	-	100.00	0.00	(Average)
OP_CEL6	8.11	89.87	0.17	0.00	9.96	0.00	(Average)
OP_CEL7	8.11	84.85	0.17	0.00	14.98	0.00	(Average)
OP_CEL8	8.11	87.23	0.45	0.00	12.32	0.00	(Average)
OP_CEL9	8.11	99.71	0.29	0.00	0.00	0.00	(Average)
OP_CEL10	8.11	89.07	0.86	0.00	10.08	0.00	(Average)
OP_CEL11	8.11	75.02	0.40	0.00	24.58	0.00	(Average)
OP_CEL12	8.11	74.71	0.17	0.00	25.12	0.00	(Average)
OP_CEL13	8.11	86.21	0.35	0.14	13.30	0.00	(Average)
OP_CEL14	8.11	88.96	0.88	0.08	10.08	0.00	(Average)
OP_CEL15	8.11	84.24	0.79	0.13	14.84	0.00	(Average)
OP_CEL16	8.11	85.94	0.50	0.00	13.56	0.00	(Average)
OP_CEL17	8.11	81.07	0.23	0.00	18.70	0.00	(Average)
OP_POST01	8.11	79.42	2.08	0.83	17.67	0.00	(Average)
OP_POST02	8.11	74.34	0.21	0.20	25.25	0.00	(Average)
OP_POST03	8.11	79.73	0.80	0.20	19.28	0.00	(Average)
OP_POST04	8.11	72.82	0.27	0.24	26.67	0.00	(Average)
OP_POST05	8.11	74.19	0.25	0.23	25.33	0.00	(Average)
OP_POST06	8.11	72.09	0.24	0.17	27.50	0.00	(Average)
OP_POST07	8.11	73.32	0.23	0.18	26.28	0.00	(Average)
OP_POST08	8.11	76.19	0.71	0.20	22.90	0.00	(Average)
OP_POST09	8.11	78.72	0.70	0.15	20.44	0.00	(Average)
OP_POST10	8.11	76.27	0.12	0.13	23.48	0.00	(Average)
OP_POST11	8.11	74.80	0.13	0.13	24.93	0.00	(Average)
OP_POST12	8.11	80.14	0.11	0.11	19.65	0.00	(Average)
OP_POST13	8.11	98.13	0.01	0.01	1.84	0.00	(Average)
OP_POST14	8.11	86.86	0.07	0.07	13.00	0.00	(Average)
OP_POST15	8.11	82.81	0.25	0.25	16.68	0.00	(Average)
OP_POST16	8.11	81.74	0.22	0.22	17.82	0.00	(Average)
OP_POST17	8.11	76.93	0.31	0.31	22.45	0.00	(Average)
OP_POST18	8.11	66.14	0.40	0.40	33.06	0.00	(Average)
OP_POST19	8.11	86.39	0.10	0.10	13.41	0.00	(Average)
OP_POST20	8.11	91.92	0.05	0.05	7.97	0.00	(Average)

Figura 54: relatório de utilização de recursos descritivo

O relatório de utilização de recursos pode ser apresentado de duas formas, como um relatório descritivo (Figura 54) e como um gráfico de barras (Figura 55).



Figura 55: relatório de utilização de recursos gráfico de barras

6.6.3 Relatório de Tempo de Ciclo

O relatório de tempo de ciclo é gerado a partir da inserção dos comandos *Clock* e *Log* na programação do modelo. Estes comandos têm por finalidade de medir o tempo de ciclo de cada posto de trabalho. Neste relatório podem-se visualizar informações de número de observações, menor e máximo valor de ciclo e o valor médio de ciclo. Este relatório foi importante principalmente para as análises de comportamento de cada posto de trabalho durante a simulação. Como mencionado anteriormente, os resultados deste relatório são comparados com a tabela de tempos de cada posto de trabalho para verificar as maiores diferenças de tempos e posteriormente procurar observar melhor a animação do modelo tornando possível a detecção de problemas de balanceamento para conseqüente atuação.

Log Name	Number Of Observations	Minimum Value	Maximum Value	Average Value	
CT CEL 01	90.1	173.32	336.32	268.58	(Average)
CT CEL 02	91.3	225.32	339.32	278.35	(Average)
CT CEL 06	90.5	174.10	335.10	287.71	(Average)
CT CEL 07	89.9	192.10	315.10	274.70	(Average)
CT CEL 08	90.4	208.60	317.60	276.23	(Average)
CT CEL 09	107.2	218.60	345.60	270.24	(Average)
CT CEL 10	90.2	200.20	608.76	312.45	(Average)
CT CEL 11	87.5	184.60	359.60	244.59	(Average)
CT CEL 12	87.6	165.10	326.10	247.20	(Average)
CT CEL 14	88.8	203.52	686.88	320.38	(Average)
CT CEL 13	89	202.20	760.84	326.20	(Average)
CT CEL 15	88.5	190.52	679.41	321.64	(Average)
CT CEL 16	88.9	194.60	337.60	277.08	(Average)
CT CEL 17	88.6	201.54	333.54	266.09	(Average)
CT POSTO 01	87.3	164.02	325.02	249.44	(Average)
CT POSTO 02	87.4	176.73	310.21	249.11	(Average)
CT POSTO 03	87.5	185.46	329.46	269.00	(Average)
CT POSTO 04	87.6	150.17	311.17	243.93	(Average)
CT POSTO 05	87.6	176.19	304.08	248.44	(Average)
CT POSTO 06	87.5	157.02	306.78	240.71	(Average)
CT POSTO 07	88.3	180.99	454.87	251.44	(Average)
CT POSTO 08	87.8	185.49	297.65	255.93	(Average)
CT POSTO 09	88.2	185.97	332.50	262.35	(Average)
CT POSTO 10	87.8	158.00	329.93	253.53	(Average)
CT POSTO 11	88.6	166.00	310.93	246.88	(Average)
CT POSTO 12	88.2	259.00	285.93	265.20	(Average)
CT POSTO 13	89.6	297.00	344.83	319.36	(Average)
CT POSTO 14	89	262.00	310.93	285.31	(Average)
CT POSTO 15	89.3	247.83	294.83	270.12	(Average)
CT POSTO 16	89	245.00	294.01	268.80	(Average)
CT POSTO 17	89	230.10	278.06	253.30	(Average)
CT POSTO 18	89.9	194.30	241.30	216.53	(Average)
CT POSTO 19	89	260.00	309.01	283.42	(Average)
CT POSTO 20	89.6	277.00	326.18	300.18	(Average)
CT POSTO 21	89.8	237.00	284.93	259.89	(Average)
CT POSTO 22	89	242.00	290.93	265.55	(Average)
CT POSTO 23	89.8	219.00	267.93	242.63	(Average)
CT POSTO 24	89.3	237.00	286.22	260.64	(Average)

Figura 56: Relatório de tempos do Promodel

7 ANÁLISE COMPARATIVA

O presente tópico aborda a comparação entre o estado atual mapeado e o estado futuro proposto com a atualização da simulação.

A Tabela 14 demonstra de uma forma simples as melhorias obtidas com o Estado Futuro mostrando, quais foram os benefícios para cada uma das utilizações da simulação nas fases de criação do sistema de manufatura, como segue.

Fases	Antes	Depois	Melhorias alcançadas
<p>Tempos de cotação (construção do modelo)</p>	<p>Os tempos eram inseridos no controle 17 e dados como número de operadores, tempo de ciclo da linha e número de mesas de montagem eram analisados e um layout inicial era confeccionado.</p>	<p>Os tempos ainda são inseridos no controle 17 para obter o dado de tempo de ciclo; Logo após é feito o layout inicial dentro do Promodel e são colocados todos os parâmetros exigidos pela corporação como: consideração de variação entre postos, análise de mix (diferentes produtos na mesma linha), balanceamento de linha, etc.</p>	<p>É possível enxergar um desenho inicial do sistema de manufatura. Vários cenários são construídos tentando encontrar uma direção que permita atender a demanda contratada já considerando os parâmetros exigidos pela corporação. A partir desses cenários, o time de trabalho juntamente com a planta produtiva decide por um deles para que possa dar seqüência aos trabalhos de desenvolvimento do sistema de manufatura.</p>
<p>Primeira tomada de tempo (cronoanálise inicial) e divisão teórica das estações</p>	<p>Os tempos dos elementos divididos durante a seqüência de montagem são inseridos nos postos de trabalho até que cada um deles atingia o tempo de ciclo da linha ou chegue o mais próximo possível.</p>	<p>A divisão teórica é inserida no Promodel juntamente com os tempos de cada elemento. A divisão de postos é simulada e relatórios de caminhada, output de peças, utilização de recursos são analisados para verificar a divisão é adequada e se a conectividade entre eles está acontecendo. A partir dessas análises, a divisão teórica é refeita.</p>	<p>Analisar a conectividade entre os postos e células de kit. É possível visualizar já nesta fase como a linha funciona, onde estão os gargalos, se o layout está adequado e se é possível melhorá-lo. São consideradas as caminhadas dos operadores e durante a análise dos postos é possível considerar apenas o tempo em que o operador executa o processo de montagem, permitindo analisar se os postos estão balanceados e se a linha atinge a demanda contratada. Esta visualização só era possível na fase de <i>start up</i> da linha na planta produtiva.</p>

Divisão de estação e tomada de tempos por estação	A divisão teórica é feita na prática e os tempos de cada estação são tomados considerando caminhada, movimentação dos operadores, seguindo a seqüência estabelecida na fase anterior.	A divisão de estação já afinada é cronometrada com foco nos gargalos e problemas de conectividade já identificados e o novo desenho da linha e tempos cronometrados são novamente inseridos no promodel para finalizar e validar o sistema de manufatura. Caso haja algum outro afinamento, o mesmo é feito e simulado preparando a linha para o <i>start up</i> .	Foco nos pontos críticos da linha e tomada de ação de forma antecipada antes do start up da linha. Visão de todo o sistema de manufatura com tempos reais permitindo verificar e tomar ações em possíveis problemas como linha desbalanceada, recursos mal utilizados e layout inadequado que contribuem para o não atendimento da demanda do cliente.
Refinamento da Divisão de estação	Após a tomada de tempos da cada estação, são analisados os postos de trabalho e o balanceamento é revisto. Uma nova tomada de tempo com o ferramental definitivo é realizada já considerando a nova divisão.	Esta fase já não é mais necessária, pois os postos já foram afinados, os gargalos identificados, bem como problemas de conectividade.	Redução de tempo de desenvolvimento e ganho em qualidade do trabalho. O desenvolvimento é feito de forma preventiva.
Plano de produção (capacitação fabril)	Análise dos postos e tomada de tempos verificando a conectividade e funcionamento da linha já na planta produtiva. Aqui são verificados os gargalos, se o layout está adequado e se alinha atinge a demanda acordada.	Simulação de cenários mostrando a capacidade máxima de peças em variações de <i>mix</i> de produção.	Antes da linha iniciar sua produção, já é possível passar ao cliente e para a planta produtiva (cliente interno) como será o sistema de manufatura desenvolvido, mostrando o desempenho da linha, seu funcionamento, capacidade máxima, pontos que limitam a linha em vários cenários de diferentes <i>mix</i> (flexibilidade).

Tabela 14 – Estado Atual X Estado Futuro Proposto

Pela análise da tabela acima, é possível observar pontos importantes de melhoria como a eliminação da fase de refinamento da divisão de estação, foco nos pontos críticos da linha e tomada de ação de forma antecipada e visualização previa dos clientes em relação ao sistema de manufatura desenvolvido antes do início da curva de aprendizado.

A análise de problemas de forma antecipada esta entre os benefícios da implementação da simulação e contribui muito para uma melhoria de qualidade nos trabalhos de desenvolvimento do sistema de manufatura.

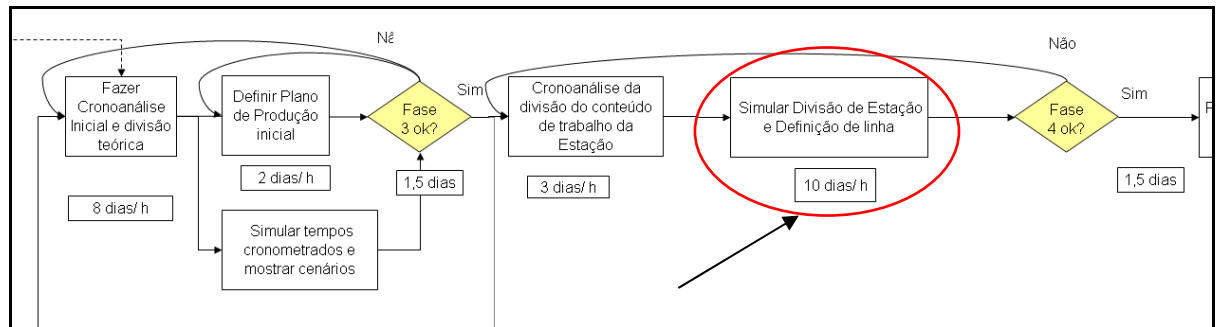


Figura 57: Detalhe do fluxo futuro implementado

O ganho em tempo também pode ser considerado na ordem de 10 dias, já que a fase refinamento da divisão de estação que antes ocorria em 20 dias agora é feita com o modelo simulado que permite visualizar o desbalanceamento na divisão teórica feita na fase anterior, como pode ser visualizado na Figura 57.

8 CONCLUSÃO

A ferramenta Mapeamento forneceu uma linguagem comum para tratar os processos, unificando conceitos, técnicas enxutas e evitando a implementação isolada de técnicas.

A utilização do Mapeamento durante a primeira etapa do modelo de melhoria foi de extrema importância, pois permitiu verificar como se conectam e se relacionam os componentes do sistema, facilitando a análise de sua eficácia e proporcionando o entendimento de qualquer alteração que se proponha no sistema existente pela clara visualização das modificações propostas.

O mapeamento do estado atual possibilitou o conhecimento das atividades que fazem parte do processo em estudo bem como quais atividades deveriam ser atacadas primeiramente, tornando possível a análise dos problemas pelos gestores de cada área e um melhor conhecimento por parte dos funcionários, estimulando o trabalho padronizado.

Foram utilizadas as técnicas de mapeamento SIPOC, *blueprint* e fluxograma de processo durante a primeira fase, por serem consideradas adequadas para descrever a fase de projeto e desenvolvimento do processo produtivo de chicotes automotivos em seu estado presente.

O SIPOC foi utilizado para determinar o escopo do trabalho e os limites do mapeamento. Já a técnica *blueprint* foi utilizada para mostrar as transações integrantes do processo, bem como as relações com os clientes internos/ externos e a dinâmica de trabalho entre os departamentos.

Para a identificação dos processos críticos foi utilizada a técnica de mapeamento fluxograma que permitiu registrar as ações de maneira simples e identificar os pontos de tomadas de decisão.

Depois de visualizado o mapeamento atual, o time de trabalho utilizou a teoria das restrições para determinar o departamento crítico (elo mais fraco) somando os tempos dos processos pertencentes ao caminho crítico por departamento e confeccionando um gráfico de barras onde foi identificado o laboratório de tempos e métodos como o departamento que utiliza 45% do tempo de processo.

Com a utilização da técnica fluxograma, foi desenhado o estado futuro que propôs a utilização da simulação computacional como ferramenta auxiliadora durante o desenvolvimento do sistema de manufatura.

Através da abordagem de sete passos proposta por Law (2006), o estudo de simulação foi desenvolvido mostrando que a ferramenta certamente auxilia durante o desenvolvimento

do sistema de manufatura, permitindo tomar decisões antecipadas a partir da visualização de problemas no software Promodel.

Dentre as vantagens em se utilizar a simulação nesta etapa estão à visualização do sistema de manufatura ainda não implementado identificando os postos gargalos, utilização indevida de operadores de produção, *output* de peças avaliando o atendimento à demanda do cliente e possibilidade de construir cenários contemplando possíveis contratempos que ocorrem durante o início da curva de aprendizado e confecção de plano de ação caso eles ocorram.

O trabalho de pesquisa realizado para a elaboração da dissertação mostrou que os objetivos iniciais foram alcançados com êxito permitindo que as perguntas que norteiam o trabalho fossem respondidas.

Quais são os processos críticos do desenvolvimento de projetos?

O fluxograma desenvolvido no estado presente permite responder a esta pergunta. Dentre os processos críticos identificados estão à construção de peças protótipos necessários ao início dos trabalhos (Laboratório de protótipos), a realização de PFMEA e solicitação de ferramental para testes de componentes que fazem parte do chicote automotivo (departamento de aplicação), construção e liberação de mesas de montagem (departamento de ATBO e Qualidade) e o desenvolvimento do sistema de manufatura (Laboratório de tempos e métodos).

Qual departamento despense maior lead time em uma implementação?

O Laboratório de tempos e métodos que é responsável por 45% do tempo do processo.

Com este modelo, podemos obter informações como: *output* de peças, quantidade de operadores necessários, bem com sua utilização?

Sim, o modelo desenvolvido permite obter informações de *output* de peças, quantidade de operadores necessários e sua utilização podendo propor mudanças durante a fase de desenvolvimento com auxílio dos relatórios de capacidade produção, utilização dos recursos e o tempo de ciclo de cada estação de trabalho.

Com a utilização da simulação discreta podemos prever problemas relacionados ao sistema de manufatura que são identificados apenas no momento da implementação do mesmo nas plantas produtivas?

Sim, através das análises dos relatórios de capacidade produção, utilização dos recursos e o tempo de ciclo de cada estação de trabalho é possível evitar muitos problemas durante a implementação do projeto na planta produtiva como: não atendimento do número de

peças contratados pelo cliente, utilização inadequada de recursos (operadores), gargalos na linha que impedem o *output* esperado, problemas de conectividade, etc.

8.1 Contribuições deste trabalho

Pode-se dizer que as contribuições esperadas também foram atendidas, conforme abaixo:

Criar um modelo com etapas a serem seguidas para mostrar de maneira clara o funcionamento, inter-relações e restrições do processo em estudo: com o auxílio da metodologia *Soft Systems Methodology* (SSM) foi possível estabelecer o modelo conceitual composto por seis tópicos, que foram essenciais ao desenvolvimento do trabalho:

- Mapear a fase de projeto e desenvolvimento de processo de chicotes automotivos;
- Detalhar o mapeamento e mensurar o lead time de implementação de projetos;
- Determinar o caminho crítico e quais processos fazem parte dele utilizando como referência um projeto já implementado;
- Propor fluxo futuro;
- Implementar fluxo futuro atuando em processos críticos;
- Utilizar a simulação como ferramenta auxiliar no desenvolvimento do sistema de manufatura.

Utilizar o TOC para identificar qual é a restrição do processo mapeado, permitindo tomar decisões de como o mesmo será explorado:

Pela ordem de restrição, os processos pertencentes ao Laboratório de tempos e métodos foram considerados a maior restrição, não só por representar o maior tempo gasto durante a implementação, mas também por possuir grande importância durante o desenvolvimento do projeto por desenhar o sistema de manufatura antes de sua transferência para as plantas produtivas, local em que ocorre a curva de aprendizagem (*start up*) da linha de montagem.

Mostrar a simulação como ferramenta de análise durante a fase de desenvolvimento do sistema de manufatura no setor automotivo, contribuindo com a construção do mapeamento de processo futuro:

A implementação da simulação durante a fase desenvolvimento de manufatura esta descrita no tópico seis da dissertação e hoje fazem parte do fluxo atual da empresa estudada que conta com as vantagens que a simulação oferece. Como vantagem adicional é importante ressaltar que a simulação mostrou-se bastante efetiva durante as reuniões com o cliente do projeto piloto, pois permitiu a visualização do mesmo durante a fase de análise de capacidade,

permitindo a visualização de diferentes cenários de *mix* de produção e mostrando ao cliente quais seriam as possibilidades e restrições para determinada demanda.

8.2 Proposta para trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros seria interessante estudar:

- O desenvolvimento de métricas de desempenho nos processos que fazem parte do caminho crítico;
- Estudo da quantidade de replicações ideal e a influência do uso de tempos com desvio padrão na quantidade de peças produzidas;
- Análise de peças produzidas durante a curva de aprendizado considerando a inexperiência do operador e o FTQ;
- Estudo do comportamento humano no desenvolvimento do sistema de manufatura;
- Desenvolvimento de um modelo de mapeamento otimizado para facilitar a construção do modelo computacional;
- Estudo de métodos de validação para sistemas de manufatura do setor automotivo em desenvolvimento.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APQP - Advanced Process Quality Planning and Control Plan Manual, Chrysler, Ford and General Motors, 1995.
- ARAUJO, César Augusto Campos de, Desenvolvimento e aplicação de um método para implementação de sistemas de produção enxuta utilizando os processos de raciocínio da teoria das restrições e o mapeamento do fluxo de valor, Dissertação de Mestrado Universidade Federal de São Carlos, 2004.
- BACAUI, André; QUELHAS, Osvaldo, Corrente Crítica: Uma alternativa a gerencia de projetos tradicional. Revista Pesquisa e desenvolvimento engenharia de produção, p. 1-21, n. 2, 2004.
- BAINES, T.; MASON, S.; SIEBERS, O.P; LADBROOK, J; Humans: the missing link in manufacturing simulation? Simulation Modeling Practice and Theory, v.12, 2004.
- BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D.M. Discrete-event Simulation, Quarta edição, Prentice- Hall, Upper Saddle River, NJ, 2005.
- BARNES, R. M., Estudos de Movimentos e Tempos, São Paulo, editora Edgard Blucher, 1982.
- BELGE, Simulação; [on line <http://www.belge.com.br/cases_outros_justificando.html>; capturado em <22/06/08>].
- CARSON, John; Introduction to modeling and simulation. Winter Simulation Conference, 2004.
- CLARK, Kim; FUJIMOTO, Takahiro; Product Development Performance: Strategy, Organization and Management in the World Auto Industry. Boston-Mass.: Harvard Business School Press, 1991.
- CHECKLAND, Pete; SCHOLLES, J; Soft Systems Methodology in Action, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, UK, 2004.
- CHUNG, C.A. Simulation Modeling Handbook: a practical approach. Washington D.C: CRC press, 2004. 608p.
- COUGHLAN, Paul; COUGHLAN, David. "Action research for Operations Management", International Journal of Operations and Production Management, v. 22 No. 2, pp. 220-240.
- DUARTE, Roberto Nunes, Simulação Computacional: Análise de uma Célula de Manufatura em Lotes do Setor de Autopeças. Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá, MG, UNIFEI, 2003.

- FERNADES, Marcelo Machado. Análise do processo de seleção de projetos seis sigma em empresas de manufatura no Brasil. Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá, MG, UNIFEI, 2006.
- FILHO, Moacir Godinho; FERNANDES, Flavio César Faria, Manufatura enxuta: uma revisão que classifica e analisa os trabalhos apontando perspectivas de pesquisas futuras. *Revista Gestão & Produção*, v.1, p. 1-19, n. 1, 2004.
- FITZSIMMONS, James; FITZSIMMONS, Mona. *Service management: operations, strategy, and information technology*. 2. ed. USA: Irwin/McGraw-Hill, p. 613, 1998.
- HARREL Charles R.; MOTT, Jack R. A.; BATEMAN, Robert E.; BOWDEN, Royce G.; GOOG, Thomas J. *Simulação: Otimizando os Sistemas*. Belge Engenharia e Sistemas Ltda, IMAM, 2 editora. São Paulo, SP, 2002.
- HUNT, Daniel. *Process mapping: how to reengineer your business processes*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- KLEINALTTENKAMP, Michael, FLIEB, Sabine. *Journal of Business Research* 57, p. 392-404, (2004).
- GABRIEL, Eric. The lean approach to project management. *International Journal of Project Management*, Vol. 15, No. 4, pp. 205-209, 1997.
- GOLDRATT, Eliyahu. *A síndrome do palheiro: Garimpando informação num oceano de dados*, Editora Educator, SP, 1991.
- GOLDRATT, Eliyahu, COX, Jonah, *A Meta: um processo de aprimoramento contínuo*. Editora Educator, SP, 1995.
- LAW, Averill; *How to build valid and credible simulation model*. Winter Simulation Conference, 2006.
- LEAL, Fabiano, *Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de Mapeamento de processos e simulação computacional*. Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá, MG, UNIFEI, 2003.
- MEREDITH, J. R. Automating the Factory: theory versus practice. *International Journal of Production Research*, v. 25, p.1493-1509, 1987.
- MONTEVECHI, José Arnaldo; PINHO, Alexandre; LEAL, Fabiano; MARINS, F.A.S.; *Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry*. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, 2007.
- NASCIMENTO, Verônica de Menezes, *Método para Mapeamento do Fluxo de Informações do Processo de Suprimento na Indústria de Construção Civil: Um estudo de Caso Múltiplo em*

Empresas do Subsetor Edificações. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

O'KANE, J.F., J.R. Spenceley, R. Taylor, Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. *Journal of Materials Processing Technology* 107 (2000).

OLIVEIRA, José Benedito de Simulação computacional: Análise de um sistema de manufatura em fase de desenvolvimento. Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá, MG, UNIFEI, 2007.

OLIVEIRA, Francisco Alexandre de; A Gestão baseada em atividades (ABM) aplicada em ambientes celulares: uma abordagem metodológica. Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá, MG, UNIFEI, 2003.

PANDE, P. S., NEUMAN, R.P.; CAVANAGH, R.R. Estratégia Seis Sigma, Como a G.E., a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seus desempenho; Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PAÇO, Tatiany da Rocha; Avaliação do uso da simulação como ferramenta complementar no desenvolvimento do mapeamento do fluxo de valor futuro. Dissertação de Mestrado Universidade de São Carlos, 2006.

PAULA, Magda Rodrigues de, Metodologia prática para criação de sistema de indicadores de desempenho. Dissertação de mestrado Universidade Estadual de Campinas, p 20-23, 2004.

PEREIRA, Ivan Costa. Proposta de Sistematização da Simulação para Fabricação em Lotes. Dissertação (Mestrado em Eng. de Produção) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2000.

ROTHER, Mike; Shook, John (2000), "Learning to See", The Lean Enterprise Institute, MA, USA.

ROTHER, M. HARRIS, R (2002). Criando Fluxo Contínuo – um guia de ação para gerentes, engenheiros e associados da produção. São Paulo, SP. Lean Institute Brasil.

ROZENFELD, Henrique; Mundim, Ana Paula Freitas; Amaral, Daniel Capaldo; Silva, Sergio Luis da; Vander, Horta, Lucas Cley da, Aplicando o cenário de desenvolvimento de produtos em um caso prático de capacitação profissional. *Revista Gestão da Produção*, v. 9, n. 1, 2002.

ROZENFELD, Henrique; Forcellini, Fernando Antônio; Toledo, José Carlos de; Silva, Sergio Luis da; Alliprandini, Dário Henrique; Scalice, Régis, Kovacs, Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo. Editora: Saraiva, SP, 2006.

SANTOS, Luciano Costa; Varvakis, Gregorio; SERVPRO: uma técnica para a gestão de operações de serviços, *Revista Gestão da Produção*, v. 12, n. 1, 2002.

SARGENT, Robert, Validation and verification of simulation models, Winter Simulation Conference, 2004.

SIMON, Kerri, artigo “SIPOC DIAGRAM”. [on line <<http://www.isixsigma.com/library/content/c010429a.asp>>; capturado em <3/12/06>].

SILVA, Wesley Alves da, Otimização de parâmetros da gestão baseada em atividades aplicada em uma célula de manufatura Dissertação Mestrado em Engenharia de Produção, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Itajubá, MG, UNIFEI, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert; Administração da Produção. São Paulo: Editora Atlas, 1997.

SONGKHLA, Agapol Na, A soft system approach in introducing information technology, Information Technology & People, vol. 10, No 4, 1997, pp 275-286.

SOUZA, Mariella Consoni Florienzano; Yamada, Mamoru Carlos; Porto, Arthur Jose Vieira; Filho, Eduardo Vila Gonçalves; Analise da alocação de mão-de-obra em linhas de multimodelos de produtos com demanda variável através do uso da simulação: um estudo de caso. Revista Produção v. 13 n. 3, 2003.

WASTOWSKI, Ricardo, A Utilização Conjugada do Mapeamento da Cadeia de Valor e do Mecanismo da função Produção para Avaliação de Sistemas de Produção. Dissertação de mestrado Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 51-52, 2001.

ZAYKO, Matt, Uma visão sistemática dos princípios lean: Reflexão após 16 anos de Pensamento & Aprendizagem Lean [on line <<http://www.lean.org.br/bases>>; capturado em <30/03/08>].

ANEXO 1: ARTIGO PUBLICADO

SAE TECHNICAL

2008-36-0018

PAPER SERIES

E

**Discrete Event Simulation (DES) and Design of Experiments (DOE) in
Manufacturing Systems Development: an Application in Automotive Sector**

Marcelo Machado Fernandes
Delphi Corporation, UNIFEI

Jose Arnaldo Barra Montevechi
UNIFEI

Ana Emilia Salomon
Antonio Cesar Rosati
Helio Maciel Jr

Leandro Elias
Delphi Corporation, Delphi Packard Electrical / Electronic Architecture

SAE BRASIL
Sociedade de Engenheiros da Mobilidade

FILIA DA
SAE International

Congresso 2008
SAE BRASIL

XVII Congresso e Exposição Internacional
da Tecnologia da Mobilidade
São Paulo, Brasil
07 a 09 de outubro de 2008