USP

Campus de São Carlos

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS APLICADAS AO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO PRODUTO: Estudo de caso em empresa fornecedora de bancos de automóveis.

PEDRO MARCELO PROVAZZI

Prof. Dr. Glauco A. de Paula Caurin

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Pedro Marcelo Provazzi

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS APLICADAS AO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO PRODUTO: Estudo de caso em empresa fornecedora de bancos de automóveis.

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço 18/01/05

Ass.: Cesar

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica

DEDALUS - Acervo - EESC

31100050094

ORIENTADOR: Prof. Dr. Glauco A. de Paula Caurin

EESC-USP Biblioteca CAMPUS DE S. CARLOS

São Carlos

2004

Class. TESE EESC
Cutt. 4602m
Tombo T022/05
Sysno 1422466

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

P969m

Provazzi, Pedro Marcelo
Modelagem e simulação de sistemas aplicadas ao desenvolvimento do projeto do produto : estudo de caso em empresa fornecedora de bancos de automóveis / Pedro Marcelo Provazzi. -- São Carlos, 2004.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 2004.
Área: Engenharia Mecânica.
Orientador: Prof. Dr. Glauco A de Paula Caurin.

1. Simulação. 2. Desenvolvimento de produto. 3. Sistemas multicorpos. 4. ADAMS. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **PEDRO MARCELO PROVAZZI**

Dissertação defendida e julgada em 16-11-2004 perante a Comissão Julgadora:

aprovado

Prof. Dr. **GLAUCO AUGUSTO DE PAULA CAURIN (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovado

Prof. Dr. **JOSÉ GUILHERME SABE**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovado

Prof. Dr. **MARCO ANTONIO FUMAGALLI**
(Universidade de Mogi das Cruzes/ UMC)

Prof. Associado **JONAS DE CARVALHO**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica

Profa. Titular **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

A todos que buscam através do uso da tecnologia a melhoria do mundo em que vivemos.

AGRADECIMENTOS

À DEUS.

Ao Prof. Glauco, meu orientador, pela oportunidade, orientação, amizade e principalmente dedicação e paciência, fatores fundamentais para realização deste trabalho.

Aos meus pais, Pedro e Verônica e aos meus irmãos Cláudia e Maurício por acreditarem em mim e entenderem os momentos de ausência.

À Talita minha esposa, companheira de todos os dias, que me incentiva sem limites.

Aos pais de minha esposa Pedro & Alayde e ao meu cunhado Pedro pelo carinho e atenção.

À Universidade de São Paulo, seus funcionário e docentes que colaboram de forma expressiva e eficiente com o desenvolvimento de pesquisas e de novas tecnologias no país.

A Johnson Controls do Brasil e a memória do Engº Antonio Luiz, "Boquinha", por sua atitude positiva e também pela disponibilidade e cooperação na coleta de dados.

Aos Andre´s: Lins & Mirandola pelo apoio e suporte na parte computacional deste trabalho.

Em especial ao Luiz Antônio Jacob, Décio Imamura, Luis Gonzaga Trabasso, Paulino Bispo, Marcos Ferlin, Roberto Ferreira e Raquel Ferezin, Marcelo Akira e Ana Paula.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

"Desenvolvimento de Produto é uma atividade, e a única maneira de aprender completamente esta matéria é pratica-la".

Clausing, 1994.

RESUMO

PROVAZZI, P. M. (2004). Modelagem e simulação de sistemas aplicadas ao desenvolvimento de projeto do produto: estudo de caso em empresa fornecedora de bancos de automóveis. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

Analisa-se neste trabalho uma operação de montagem de um produto consolidado e em produção, utilizando-se técnicas de Sistemas Multicorpos (MBS). Para testar a viabilidade técnica desta proposta foi desenvolvido um estudo de caso numa empresa fornecedora de bancos para montadoras de veículos. Para tanto, foram comparados dados coletados do processo real na empresa, com resultados obtidos em simulações computacionais utilizando técnicas de modelagem e simulações de sistemas Multicorpos. Dos estudos realizados, conclui-se que a simulação computacional é relevante na fase de concepção do produto.

Palavras-chave: Simulação, Desenvolvimento de Produto, Sistemas Multicorpos, ADAMS.

ABSTRACT

PROVAZZI, P. M. (2004). Multibody Systems modeling and simulation applied to the product development: A case study of an automobile seating supply company. M.SC. Dissertation – University of São Paulo, EESC, Mechanical Engineering Department, São Carlos, 2004.

In this work a consolidated product assembly line is analyzed using Multibody System (MBS) techniques. As its main proposal, the work relates dynamic properties of the process such as forces. Analysis using MBS techniques during the project phase allows improvement in the quality levels and productivity of the operator. A case study was developed to test the technical viability of this proposal in an automobile seating Supply Company. To this end, real process data was collected and compared with computer simulations results. Based on the analyses of the results, it is possible to conclude that computational simulation may be used as a powerful tool during product development phase

Keywords: Simulation, Product Development, Multibody Systems, ADAMS.

SUMÁRIO

RESUMO v

ABSTRACT vi

1 INTRODUCAO 01

1.1 Motivação 01

1.2 Objetivo 03

1.3 Justificativa 03

1.4 Limitações do trabalho 04

1.5 Estrutura do trabalho 04

2. PROJETO 05

2.1 Classificação dos projetos 07

2.2 Estrutura organizacional 07

2.3 Elementos comuns 08

2.4 Tipologia 09

2.5 Ambientes e stakerholders 09

2.6 Administração 09

2.6.1 Planejamento 10

2.6.2 Programação 10

2.6.3 Controle de projeto 11

2.7 Ciclo de vida do projeto 11

2.7.1 Fase 1 – projeto conceitual 12

2.7.2 Fase 2 – desenvolvimento avançado 12

2.7.3. Fase 3 – projeto detalhado 13

2.7.4 Fase 4 - produção 13

2.7.5 Fase 5 – termino 13

2.8 Pontos de sucesso 13

2.9 Equipes multifuncionais 14

2.10 Projetos seqüenciais 16

2.11 Engenharia simultânea 18

2.11.1 Ferramentas da engenharia simultânea 20

2.11.2 Aspectos humanos da engenharia simultânea 21

2.11.3 Fases para implementação da engenharia simultânea 21

3. ERGONOMIA 24
3.1 Evolução da ergonomia 25
3.2 Objetivos da ergonomia 25
3.3 Analise ergonômica do trabalho 27
3.4 Classificação da ergonomia 28
3.5 Domínio de especialização da ergonomia 28
3.6 Incorporação da ergonomia no planejamento e desenvolvimento de produtos 29
3.7 Fatores de sucesso do projeto ergonômico 30
3.8 Movimento e postura 31
3.9 Biomecânica 31
3.10 Fisiologia 32
3.11 Antropometria 32
3.12 Princípios fundamentais da mecânica 33
3.13 Movimento 33
3.14 Força 34
3.14.1 Fatores que influenciam a força 35
4. SIMULAÇÃO 38
4.1 Historia da simulação 38
4.2 Definição 40
4.3 Quando usar a simulação 40
4.4 Vantagens e desvantagens de uma simulação 41
4.5 Tipos de simulação 42
4.6 Mecanismos internos para simulação 43
4.7 Desenvolvimento da simulação 44
4.8 Linguagens e softwares de simulação 45
4.9 Simuladores 46
4.10 Modelos 47
4.10.1 Tipos de modelos 48
4.10.2 Objetivos de um modelo 49
4.11 Fatores de fracasso 49
5. ESTUDO DE CASO 51
5.1 Metodologia 51
5.2 Caracterização da empresa 52
5.3 Processo de fabricação de bancos 54

5.3.1 Descrição da operação: vestir capa & fechar capa motorista 55
5.3.1.1 Descrição da sub operação: montagem das buchas de apoio de cabeça 56
5.4 Descrição do modelo computacional ADAMS 59
5.5 Sistemas multicorpos 59
5.5.1 Modelagem de sistemas 60
5.6 Integradores 61
5.7 Simulação da operação 61
5.8 Resultados da simulação 64
6. CONCLUSÃO 69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 72
ANEXO A 80

1. INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Vivemos hoje uma época cada vez mais competitiva, onde o cenário mundial apresenta uma série de transformações econômicas, sociais e políticas, na sua maioria ocorrida na última década, principalmente as relacionadas ao processo de globalização.

Inicia-se uma fase de grandes mudanças tecnológicas propulsoras de novas bases competitivas. Hoje, mudar e criar são dois dos verbos mais utilizados; mudam-se as estruturas econômicas dos países, as formas de atuação e interação entre os agentes econômicos, e em função destas mudanças criam-se novos modelos de processos produtivos, novas divisões do trabalho, novos mercados e formas de concorrências.

A abertura das fronteiras entre os países está levando à formação de blocos e alianças estratégicas para melhor enfrentar a livre concorrência em escala global.

Surgem empresas globalizadas, maiores e mais preparadas para os desafios de desenvolver produtos mais adequados às necessidades dos consumidores, com qualidade superior e custos mais baixos.

Porém, é necessário que os novos produtos sejam lançados o mais rápido possível no mercado, pois no mundo competitivo e de mudanças rápidas de hoje, lançar novos produtos lentamente pode resultar em perdas de vendas, lucros baixos e desintegração das posições de mercado, pois a concorrência também está pressionada pelos mesmos fatores.

O tempo torna-se crítico para a empresa, e o ciclo para desenvolvimento de novos produtos torna-se um fator decisivo e também uma enorme vantagem competitiva. Assim, é essencial que as empresas utilizem as melhores práticas de engenharia e incrementem sua capacitação tecnológica em direção ao lançamento de novos produtos, utilizando-se de técnicas e metodologias que agilizem a troca de informações, que reduzam seus riscos, garantindo a eficiência dinâmica necessária para a empresa poder responder ou gerar rapidamente novas idéias, antecipando-se à concorrência. Em função desta pressão, para se disponibilizar o produto o mais rápido possível no mercado, percebe-se uma ênfase quase que exclusiva dada pelos responsáveis de projeto conceitual do produto à funcionalidade, relegando-se para um

segundo plano os demais aspectos, como por exemplo: manufatura, logística, montagem e ergonomia.

A visão tradicional nas organizações, responsabiliza sempre os setores de manufatura e controle de qualidade pelas não conformidades ocorridas durante a fabricação de um produto, quando na maioria das vezes, essas não conformidades poderiam ser evitadas ainda na fase de projeto conceitual do produto, caso houvesse maior integração entre as diversas etapas do ciclo de vida do produto (TRABASSO, 1995).

Um ponto importante é que 70% do custo final de um produto é definido ainda durante a fase de concepção, pois é neste momento que se define os materiais que irão compor o produto, as tolerâncias e especificações entre outros, segundo BEDWORTH (1991).

Depois que passamos por esta fase de projeto, ou seja, após o lançamento do produto no mercado e da entrada do mesmo em ritmo de produção, todo o enfoque é direcionado a produtividade e qualidade. Freqüentemente exige-se dos funcionários alta produtividade em tempo limitado, porém em condições inadequadas de trabalho com problemas de ambientes, equipamentos e processo. Tais condições acabam levando a insatisfações, cansaços, excessiva queda de produtividade e qualidade, problemas de saúde e acidentes de trabalho. Uma vez que a capacidade do trabalhador é o mais importante fator de produtividade e qualidade, levando-se em conta que a capacidade humana é fortemente afetada pelo projeto do produto, pelas normas de produção, serviços, layout das instalações e projetos dos equipamentos.

Uma consideração adequada das capacidades e limitações humanas durante o projeto influencia fortemente o desempenho no trabalho futuro, que acabará refletindo nos índices de qualidade e produtividade como também na satisfação dos operadores DIAS (2000). Neste contexto, forçados pela pressão deste cenário mundial, tornam-se cada vez mais necessárias às empresas, ferramentas que minimizem riscos e incertezas, "resguardando" a humanização do trabalho, enfocando produtividade e qualidade.

O aumento da produtividade está diretamente relacionado com o fator humano; e, a competitividade depende da qualidade dos produtos planejados, desenvolvidos e fabricados por este mesmo fator humano. A qualidade e produtividade não se alcançam apenas com treinamento, mas andam juntas com outros critérios ergonômicos, os quais

tem como principal foco a concepção de meios de trabalho adaptado às características do homem (fisiológicas e psicológicas) e de suas atividades.

Através das técnicas que aparentemente tornam mais agradável o dia-a-dia nos postos de trabalho, é possível se obter uma série de resultados, como por exemplo: melhoria de desempenho, racionalização dos espaços, respeito à saúde das pessoas, reduzindo-se custos em hora/homem, tratamentos médicos e processos trabalhistas DIAS (2000).

Para os movimentos de preensão, PUTZ ANDERSSON (1988), sugere uma relação 10/1 quando compara o risco associado a forças com o risco associado com a duração do trabalho na determinação da fadiga muscular. Segundo ele, pode-se aumentar a duração do trabalho em dez vezes, que ocorrerá um aumento de cinco vezes no esforço que deve ser feito e/ou na fadiga gerada, enquanto aumentando-se a força dez vezes o esforço aumentará 50 vezes.

Esta constatação mostra a importância da intensidade de força usada na realização de um trabalho e motiva a realização de estudos para melhor conhecer o seu comportamento.

1.2 Objetivo

Explorar a utilização de um software de modelagem e simulação de sistemas multicorpos (MBS) para simular uma operação real de montagem.

1.3 Justificativa

Este estudo procura mostrar que as formas atuais de desenvolvimento do projeto de produtos apresentam oportunidades de melhorias, através da discussão da grandeza força durante a fase de concepção, contribuindo com os índices de qualidade e produtividade durante a vida do produto, através da melhoria das condições de trabalho e satisfação do operador.

1.4 Limitações do trabalho

Como o universo deste trabalho é bastante amplo, diversificado e dinâmico, não se pretende identificar e, muito menos, avaliar toda a sua teoria, pois isto seria impossível, buscou-se identificar seus principais conceitos e aplicações, com o objetivo de provar o potencial como ferramenta para ser utilizada no desenvolvimento do projeto de novos produtos.

A sistemática proposta neste trabalho não consiste em um modelo acabado, mas uma proposta modular por etapas que deveriam ser analisadas pelas organizações que pretendem utilizar tais ferramentas, para auxiliar o desenvolvimento de novos produtos.

1.5 Estrutura do trabalho

Para atingir o resultado a que se propôs, o presente trabalho está dividido em 6 capítulos, sendo que neste primeiro capítulo, visa contextualizar o tema da pesquisa.

O Capítulo 2 apresenta os principais conceitos sobre Projeto e o Ciclo de Vida de um Produto, Engenharia Seqüencial, e finalmente apresenta a Engenharia Simultânea, como meio de reestruturar e aumentar vantagens competitivas para as empresas.

Os próximos dois Capítulos, tratam assuntos diretamente relacionados à pesquisa; no Capitulo 3 são apresentados os principais conceitos sobre Ergonomia e Força, e o Capitulo 4, apresenta conceitos sobre Simulação e Modelos.

No Capítulo 5, encontra-se a motivação e a justificativa na seleção da operação de montagem para análise experimental, é feito à descrição da empresa, o procedimento metodológico adotado e depois se discute o modelo com a base física desenvolvida e usada neste trabalho. A arquitetura do software, a descrição do experimento e os resultados são apresentados neste capítulo.

E finalmente, no Capítulo 6, serão apresentadas as conclusões decorrentes do desenvolvimento deste trabalho.

2. PROJETO

Nos últimos anos, a tecnologia utilizada para o desenvolvimento de novos produtos vem sofrendo um aumento de complexidade e diversidade, surgindo com isso, a necessidade de uma maior integração dos especialistas técnicos, gerando grandes inovações nos sistemas gerenciais para o desenvolvimento de novos produtos.

No cenário atual, projetos são vistos como uma forma eficaz das organizações desenvolverem seus produtos e serviços, atuando de maneira mais integrada, derrubando barreiras hierárquicas e modelos tradicionais que não mais condizem com a realidade. É assim que as organizações poderão atingir suas metas e serem mais competitivas e inovadoras (PASSAMANI, 2002).

O processo de projeto é composto de muitas tarefas, incluindo definição de problemas, geração de idéias, esclarecimentos de objetivos, análise funcional, estabelecimento de requisitos de desempenho, geração e avaliação de alternativas de projeto, modelamento de sistemas e dos componentes e reprojeto (SCHONBERGER, 1994).

O termo projeto não possui um significado único, percebe-se que na literatura existem várias definições, assim como o número de autores que pesquisam este assunto.

Algumas definições são bastante restritas, associadas diretamente a questões materiais, enquanto outros se apresentam mais abrangentes, envolvendo também fatores conceituais e abstratos, relacionando estes aspectos na interação com o homem.

Num sentido mais amplo, projeto é um conjunto de atividades interdisciplinares, interdependentes, finitas e não repetitivas, complexas e dinâmicas; e em função destas características, a administração de projetos exige a utilização de técnicas e ferramentas especiais para que seus objetivos sejam alcançados.

Com base nestes fundamentos, PASSAMANI (2002), destaca as seguintes características:

- O projeto é pensado para atender a um objetivo, o qual nasce de um problema, uma oportunidade ou interesse de uma pessoa ou organização;
- O projeto tem o começo e o fim bem definidos, ou seja, tem o seu tempo de execução limitado;
- Apresenta um orçamento previamente definido;

- Deve obedecer ao limite de tempo e custos previamente definidos;
- Deve ter um responsável que é denominado gerente de projeto;
- Normalmente, o projeto é desenvolvido por uma equipe;
- Os aspectos humanos são de extrema importância para o sucesso dos projetos;
- Normalmente os projetos são divididos por fases, que são denominados de ciclo de vida do projeto.

VALERIANO (1998) define projeto como um conjunto de ações, executadas de forma coordenada por uma organização transitória, ao qual são alocados os insumos necessários para, em um dado prazo, alcance um objetivo determinado.

Cada projeto tem um conjunto único de objetivos que permite delinear seu planejamento e controle. As técnicas de gerenciamento de projetos, apóiam o manuseio de processo e problemas comuns que crescem durante o ciclo de vida do projeto.

Para MAXIMIANO (1997) as maiorias dos problemas apresentados em um projeto, são devidos à falta de uma metodologia de organização de projetos formalizada.

Cabe neste momento, também definir gerenciamento de projetos, como sendo a reunião de pessoas, sistemas e técnicas para alcançar com sucesso objetivos previamente traçados, de custo, tempo e qualidade. O gerenciamento de projetos, acaba sendo uma repetida execução de atividades: planejar, reorganizar, integrar, revisar e mensurar até que os objetivos sejam alcançados; mas está longe de ser a solução para todos os problemas, despesas e atrasos, até mesmo em empresas consideradas muito bem administradas.

O gerenciamento de projetos pode ser caracterizado por diversos aspectos: tempo, investimento e qualidade. E através deste gerenciamento, que se administra o equilíbrio destes fatores, com a finalidade de se atender os objetivos pré-estabelecidos.

Os aspectos relacionados ao sistema e os relacionados ao comportamento humano, caracterizam o gerenciamento de projeto na medida em que representam os meios utilizados para se atingir os resultados esperados de tempo, custo e qualidade.

Segundo CASAROTTO (1999), se cada uma das mudanças, por menor que seja, for tratada e, portanto gerenciada como um projeto, e bem provável que a empresa coloque, antes da concorrência, um novo produto no mercado, ou que um novo processo

seja implementado, antecipando a redução de custos, ou ainda, que o tempo de entrega dos pedidos seja diminuído, entre outros exemplos.

Para DINSMORE (1999), existem várias razões para se desenvolver a capacidade de gerenciar projetos, destacando-se:

- O sucesso das organizações está diretamente relacionado à forma como ela gerencia seus projetos;
- O trabalho realizado na forma de projeto promove a otimização de recursos físicos e humanos;
- A forma de trabalho em projetos que engloba equipes multidisciplinares promove a aprendizagem.

2.1 Classificação dos projetos

Segundo CASAROTTO (1999), os projetos podem estar classificados em três grandes grupos: prestação de serviços, indústria e infra-estrutura. Na indústria temos ainda uma outra divisão: reforma e ampliação de áreas produtivas, manutenção de máquinas e lançamento de novos produtos. Neste trabalho será dado um enfoque a este último.

2.2 Estrutura organizacional

Um fator extremamente importante é o estabelecimento da estrutura organizacional, onde se define o responsável pela condução dos projetos, pois dela depende o sucesso da empresa na execução dos seus processos de mudanças.

Da literatura, CLELAND & KING (1978), apresentam algumas formas de estruturas de gerenciamento de projetos, sendo que elas se diferenciam entre si basicamente pelo grau de autoridade do nível gerencial.

Embora existam inúmeras formas de organização, existem três estruturas básicas, das quais surgem as maiorias das variações:

- Estrutura funcional;
- Projeto puro;

- Matricial.

Não existe uma regra fixa para determinação da melhor estrutura para cada tipo de empresa, para está escolha, a empresa deve analisar as suas operações e então selecionar aquela estrutura que melhor atenda às suas necessidades. Na literatura SHTUB (1994), fornece sugestões de estruturas a serem adotadas de acordo com alguns fatores chaves de análise.

2.3 Elementos comuns

Em maior ou menor grau, todos os projetos têm alguns elementos em comum, esses elementos tornam-se as características que ajudam a entender a natureza dos projetos e, portanto seu planejamento e controle. Dentre os principais elementos de projeto, podemos destacar:

- Um projeto é geralmente único, não é um empreendimento repetitivo;
- Envolvem atividades seqüenciais ou tarefas que levam a um alvo;
- Tem objetivo específico completado com uma certa qualidade ou especificações operacionais;
- Tem início e fim definidos;
- Usam pessoas, recursos financeiros e equipamentos;
- Possuem um orçamento limitado;
- Envolvem um grupo de pessoas que trabalharão juntas temporariamente.

Todos os projetos são planejados antes de serem executados e por envolverem a execução de um conjunto de atividades interdependentes em determinado período, e por ser único, possui elevado grau de risco e incerteza quanto ao seu sucesso como empreendimento. Neste sentido, o processo de projetar deve ser entendido como uma progressão, na qual o nível da incerteza e da complexidade diminui à medida que se evolui na direção da solução. Outro aspecto muito importante é a íntima relação existente entre controle e planejamento, pois não é possível controlar algo que não tenha sido planejado e por outro lado, nada adianta planejar se não existir um controle eficiente.

2.4 Tipologia

A tipologia ajuda a dar uma visão dos projetos e das dificuldades para seu gerenciamento; ela ajuda a criar uma representação racional a vasta gama de tarefas no qual os princípios de gerenciamento do projeto podem ser aplicados para assegurar que seja atingida a meta inicialmente estabelecida.

Podemos destacar dois elementos para elaboração de uma tipologia, a incerteza (de atingir-se metas e objetivos de custo, prazo e qualidade) e a complexidade (em termos de tamanho, tarefas e pessoas envolvidas). Os projetos com altos níveis de complexidade não são, necessariamente, difíceis de planejar, embora possam envolver enormes esforços; administrá-los, entretanto, pode ser muito difícil, pois, à medida que se tornam mais detalhados e com grupos maiores de pessoas, a probabilidade para que as coisas dêem errado cresce bastante. Os projetos com altos níveis de incerteza são especialmente difíceis de definir e de se estabelecer objetivos realísticos. Quando a incerteza é alta, todo processo de planejamento do projeto precisa ser suficientemente flexível para lidar com as conseqüências das mudanças.CASAROTTO(1999)

2.5 Ambientes e stakerholders

Antes da administração do projeto, é necessário identificar o ambiente no qual o projeto está inserido, pois o ambiente influencia a forma em que o projeto será executado e principalmente porque ele será determinante nas incertezas que estarão inerentes ao projeto. O ambiente de projeto compreende todos os fatores que podem afetar o projeto durante a sua vida, como exemplo: consumidores, fornecedores, concorrentes, governo, estratégia da companhia, cultura nacional, cultura regional, outros projetos, geografia, etc.

2.6 Administração

A natureza dinâmica e interdisciplinar de um projeto, traz sérias dificuldades para seu gerenciamento, quando são utilizados métodos tradicionais de administração.

A solução para contornar esta situação está na adoção de uma metodologia para a administração, que leve sempre em conta seus objetivos e que mantenha um controle efetivo, tanto do ponto de vista técnico como do administrativo.

Para tanto, podemos dividir a administração de projeto em três fases: planejamento, programação e controle.

2.6.1 Planejamento

O planejamento de um projeto inicia-se com a definição dos objetivos, que proporcionarão a direção global para o projeto e orientarão as pessoas envolvidas a concentrarem-se na razão do projeto, nos resultados esperados. Os objetivos também ajudam a proporcionar uma definição do estado final, que pode ser usado para monitorar o progresso e a identificar quando as metas foram atingidas.

A definição de projeto abrange identificar as variáveis controláveis e incontroláveis incluídas e estabelecer limites de projeto. Os critérios de desempenho, devem referir-se aos objetivos do projeto e são geralmente avaliados em termos de tempo, qualidade e custo.

O escopo de projeto é formalizado nas especificações de projeto, que são usadas para definir as saídas e os parâmetros para acompanhamento e monitoramento do projeto.

2.6.2 Programação

A programação de projeto abrange traçar as necessidades de recursos e antecipar o desenvolvimento das tarefas a fim de atingir-se o horizonte do projeto. As necessidades de recursos são planejadas dando-se atenção individual ao pessoal, material e às necessidades financeiras do projeto.

De maneira geral o processo de programação do projeto visa quatro propósitos distintos:

- Determinar o custo e a duração do projeto;
- Determinar o nível de recursos que será necessário;
- Alocar trabalho e monitorar o progresso;

- Avaliar o impacto de qualquer alteração sobre o projeto.

2.6.3 Controle de projeto

Os controles são as atividades para "medir" cada etapa do projeto, como por exemplo: prazos, custos, ferramentas, documentações, desenhos, especificações, etc.

O processo de controle pode ser auxiliado através de técnicas, que permitam aos gerentes lidar com a complexidade e a natureza temporal dos projetos.

Portanto, projetos devem ser administrados em base de ciclos de vidas, com o máximo de continuidade, responsabilidade, planejamento e controle integrados do início ao fim.

2.7 Ciclo de vida do projeto

O conceito de ciclo de vida de um projeto, é um importante fator na determinação das necessidades e valores do gerenciamento, ele facilita a visualização e gerenciamento de questões técnicas e operacionais causadas por fatores como: tempo, custo, tipo de tecnologia e fontes de incerteza, sendo que seu objetivo não é predizer o futuro, mas imaginar e entender os mecanismos de evolução, para facilitar a atuação no presente. Segundo MAXIMINIANO (1997), a idéia de ciclo de vida permite a visualização do projeto desde seu início até a sua conclusão, possibilitando o estudo e a aplicação sistêmica das técnicas de administração de projetos.

Segundo CLELAND (1978) e SHTUB (1994), identificam as fases do ciclo de vida de um projeto, distinguindo para cada uma delas diferentes grupos de características de tarefas no progresso do projeto.

Em síntese, a análise comparativa do estudo feito por estes autores, permite afirmar que os referidos autores convergem quanto à natureza das atividades executadas dentro de cada fase: essencialmente, tem se as mesmas atividades sob nomes eventualmente distintos. Resumidamente, podemos dividir o ciclo de vida do projeto em cinco fases: conceitual, desenvolvimento avançado, projeto detalhado, produção e término. Cada fase é marcada por um estilo de administração característico, o qual é

determinado pelas ações tomadas na etapa anterior, já superada, e que por sua vez, irá determinar as características e ações a serem tomadas na fase seguinte.

2.7.1 Fase 1 – projeto conceitual

A fase conceitual é aquela onde se iniciam e avaliam as alternativas em potencial, nesta fase a organização busca o que o projeto pode necessitar, ou recebe uma solicitação do cliente para a proposta de um plano de um projeto.

A seleção de projetos nesta fase é uma decisão estratégica baseada no estabelecimento de alvos da organização, necessidades, projetos em andamento e comprometimento de longo prazo, aqui, os benefícios esperados com as alternativas de projeto, taxas de custo, risco e estimativas de recursos necessários são alguns dos fatores levados em consideração. Além disto, à alta administração faz considerações a respeito dos aspectos tecnológicos, performance e aplicação em projetos futuros, cabendo ainda analisar fatores ambientais relacionados com regulamentações governamentais, potencial de mercado e competitividade.

É nesta fase que é realizada a tomada de decisão a respeito de fazer ou comprar equipamentos ou componentes, o desenvolvimento dos planos de contingência para áreas de alto risco e a seleção preliminar de subcontratados e de outros membros da equipe que irão participar do projeto.

E finalmente, a seleção de projetos se inicia tendo como base uma série de medidas de performance e objetivos que incluem aspectos de custo, lucratividade e risco.

2.7.2 Fase 2 – desenvolvimento avançado

Nesta fase, será realizados o planejamento com um nível de detalhes suficientes para delinear um orçamento e um cronograma inicial, e a estrutura organizacional de projeto é formada em relação às vantagens e desvantagens táticas de cada possível arranjo, isto é, se será mais bem conduzido em uma organização funcional, matricial ou por projeto.

2.7.3 Fase 3 – projeto detalhado

A fase do projeto detalhado é aquela onde os planos realmente são preparados, eles formam um projeto de um produto ou processo que tem uma performance final especificada e uma estrutura de trabalho dividida em etapas e tarefas que devem ser cumpridas dentro de um orçamento e cronograma, utilizando o apoio das ferramentas gerenciais para o encontro dos objetivos e estratégias, detalhando as atividades de alto risco e expectativas de fluxo de caixa.

Entram em ação os mecanismos e ferramentas para a execução, controle e correção do projeto a ser desenvolvido, assim, quando ela está completa, a implementação pode ser iniciada e os planos desenvolvidos devem estar prontos para cobrir todos os aspectos do projeto com detalhamento suficiente para facilitar a execução.

2.7.4 Fase 4 - produção

Esta fase envolve a execução dos planos. A estratégica crítica está na manutenção do suporte gerencial, enquanto que a parte tática crítica está centrada na fluidez das comunicações.

As modificações podem ter diferentes níveis e o projeto pode até ser cancelado em casos extremos, o resultado do trabalho, cronograma e orçamento podem ser ajustados conforme a necessidade da situação.

2.7.5 Fase 5 - término

Esta fase é a meta da equipe de projeto como um todo, é a consolidação do que foi aprendido e traduzido do conhecimento para melhorias do processo e do projeto.

2.8 Pontos de sucessos

Todos os projetos são inclinados a terem diferentes problemas e falham por diferentes razões, pois os projetos são únicos. Há na literatura, alguns pontos em comum

nos projetos bem sucedidos, que nos permitem identificar alguns pontos gerais, e assim agir preventivamente para minimizar as chances de falha e assim atingir os objetivos iniciais. A utilização e continuidade do pessoal de projetos, em novos projetos, podem dissipar o aprendizado já adquirido no grupo de projeto anterior.

Podemos destacar os seguintes fatores para o sucesso de um projeto:

- Metas claramente definidas;
- Apoio da alta administração;
- Gerentes de projetos competentes;
- Integrantes da equipe de projeto competentes;
- Grupo comprometido;
- Suficiente alocação de recursos;
- Canais de comunicação adequados;
- Mecanismos de controle;
- Capacidade de retroalimentação;
- Respostas a clientes;
- Mecanismos de ataque de problemas;

2.9 Equipes multifuncionais

A formação de um grupo heterogêneo com a finalidade de lançar um produto, criar um novo sistema, não basta para obter sucesso. A diversidade não é tudo.

Na prática, e necessário mudar a visão bairrista, para uma visão mais ampla, que priorize os objetivos do grupo. As equipes multifuncionais proporcionam seis importantes vantagens competitivas às organizações que as implementam e as administram com sucesso (PARKER, 1994):

- **Velocidade:** as equipes interfuncionais reduzem o tempo necessário para a execução das tarefas, principalmente no processo de desenvolvimento de produtos;
- **Complexidade**: as equipes interfuncionais melhoram a capacidade de uma empresa solucionar problemas complexos;

- **Enfoque no cliente**: enfocam os recursos de que a empresa dispõe para satisfazer a necessidade do cliente;
- **Criatividade:** reunindo pessoas com os mais diversos tipos de experiência e perfis, as equipes interfuncionais aumentam a capacidade criativa de uma empresa;
- **Aprendizagem organizacional**: o membro tem facilidade para desenvolver novas habilidades técnicas e profissionais, saber mais a respeito de outras disciplinas e aprender a trabalhar com pessoas que tenham estilos de trabalho e perfis culturais diferentes daquelas que não participaram de equipes interfuncionais;
- **Ponto único de contato**: as equipes interfuncionais promovem um trabalho em equipe mais eficaz através da identificação de um único lugar ao qual recorrer em busca de informações e decisões relativas a um projeto ou cliente.

Para a condução de um projeto multidisciplinar devem se considerados: o ambiente de trabalho, a educação para o trabalho em equipe, a existência de liderança capaz de conduzir aos participantes ao consenso, o nível de participação dos indivíduos, a existência de métodos que promovam a criatividade, a condução organizada.

A boa convivência entre os membros da equipe é um relevante fator de sucesso na execução do projeto. Este aspecto é muito importante, pois por sua própria natureza, os projetos são ambientes extremamente favoráveis ao desenvolvimento de conflitos de diversas naturezas, que são decorrentes dos seguintes fatores: tensões quanto à avaliação de desempenho, para cumprir o cronograma, quanto ao custo, apreensão quanto aos desafios futuros, entre outros.

Enfim, cada indivíduo envolvido no projeto analisa e tem suas necessidades voltadas à satisfação de necessidades próprias, inerentes ao dia a dia em que estão inseridos e ao papel que exercem dentro do projeto.

Um bom gerenciamento de projeto é aquele exercido em todas as áreas de competência do projeto: da área técnica a administrativa, e isso, durante todas as fases, em todas as interfaces e em todos os níveis. (PARKER, 1994)

2.10 Projetos seqüenciais

Na abordagem tradicional de projeto, a ênfase das atividades de projetos reside no aspecto da funcionalidade do produto, não sendo percebida a multidisciplinaridade inserida nas diversas etapas pelas quais passa o produto ao longo do seu ciclo de vida.

Segundo BEDWORTH (1991), nesta abordagem tradicional aplicada ao planejamento da manufatura, o projeto é jogado sobre o muro separando os departamentos de projeto e manufatura, e o especialista de manufatura tem então que imaginar um meio de fabricar um componente para o qual eles não tinham informação durante o estágio de projeto.

Freqüentemente, os projetistas levam meses no desenvolvimento de um produto sem a preocupação de como os mesmos precisariam ser realizados ou de que recurso à organização já dispunha ou da compatibilizarão entre alternativas de produto e de processo.

Os vários especialistas estão quase sempre alocados em departamentos diferentes e muitas vezes em prédios diferentes e o projeto flui como pacotes jogados sobre o muro que separa estes departamentos.

Segundo BEDWORTH (1991), as dificuldades com esse processo tradicional de projeto podem ser caracterizadas pelos seguintes fatores:

- O projeto é conduzido por dados a serem fornecidos de forma planejada. Há pressão por desenho e especificação;
- A definição de detalhes do projeto leva muitas horas de trabalho, mesmo com recursos de CAD e CAM, muito esforços manuais são necessários.
- O processo de projeto é caracterizado por uma seqüência rígida de decisões de projeto, o objetivo último é geralmente o menor custo, quando deveria incluir desempenho ótimo e facilidade de fabricação;
- Manufaturabilidade e manutenibilidade são consideradas relativamente tarde no processo, quando uma mudança no projeto será muito cara;
- Planejamento da produção, assistência técnica, manutenção e confiabilidade são consideradas separadamente do processo de projeto. Os projetistas são deixados por sua própria conta para selecionar o

conjunto particular de –lidades, por ex: (qualidade, testabilidade, etc.) a serem consideradas na primeira fase do projeto;

- Os dados do projeto são fragmentados.

Neste modelo, existe grande divergência proveniente das diferenças de enfoque e de entendimento, entre as diversas equipes participantes, na maioria dos casos, essas divergências ocasionam a elevação dos custos e o aumento de prazos em conseqüência do retrabalho, pela inexistência de interações e também não proporcionam a aprendizagem da equipe. BEDWORTH (1991)

Os setores são organizacionalmente isolados e, muitas vezes, o são também fisicamente, de modo que a interação entre eles deixa de ser algo que ocorra facilmente, desta maneira a elaboração do protótipo passa a ser uma etapa chave e repetitiva que fornece a conformidade do produto ou as informações sobre o que deve ser alterado no projeto, para que o resultado seja um produto perfeito.

Os projetos que possuem este perfil tradicional, freqüentemente, enfrentam problemas nas suas fases de implementação, ou seja, na hora de manufaturar o produto, uma vez que a fase de desenvolvimento do produto não antecipa as dificuldades de manufatura que podem ser enfrentadas pelas limitações técnicas da produção.

O grande número de alterações e a lentidão para que as informações cheguem aos departamentos, para que sejam feitas as reformulações e retrabalhos podem prolongar expressivamente a conclusão do projeto. Estas alterações encarecem em muito o projeto.

Apesar da ineficiência apresentada por este modelo, ele é o mais adotado pelas empresas e na prática não é fácil abandoná-lo, pois são anos de utilização com uma cultura fortemente consolidada.

Essa seqüência serial para o processo de projeto é utilizada pelas seguintes razões:

- Os estágios de desenvolvimento do produto traduzem tradicionalmente a própria organização produtiva e são fisicamente e organizacionalmente isolados;
- O desenvolvimento do processo e operação de produção são colocados juntos em uma organização diferente chamada de manufatura;

- A maior ênfase é dada as operações de manufatura, com o único objetivo de despachar o produto da fábrica.

2.11 Engenharia simultânea

A Engenharia Simultânea surgiu como forma de tornar mais rápida ainda a execução de projetos, trata-se de uma abordagem de projeto que possibilita a integração entre as diversas etapas do ciclo de vida do produto.

A Engenharia Simultânea tem como proposta detalhar o projeto enquanto simultaneamente desenvolve a capacidade de produção, dar suporte de campo e qualidade. Para realizar essas atividades de forma simultânea, esse método faz uso de times multidisciplinares, além de técnicas de projeto integrado. Para CARTER & BAKER (1991), Engenharia Simultânea é um procedimento sistemático para o desenvolvimento integrado e simultâneo de produto e seus processos relacionados, incluindo fabricação e suporte.

A Engenharia Simultânea pode ser definida como uma abordagem sistêmica para integrar o desenvolvimento do produto, enfatizando a resposta às expectativas do cliente e que incorpora valores de time, tais como cooperação, confiança e compartilhamento, de tal forma, que a tomada de decisão procede com intervalos grandes de trabalho paralelo por todas as perspectivas do ciclo de desenvolvimento de produto, desde o início do processo, sincronizadas por trocas comparativamente breves, para produzir consenso. Com ela, os problemas típicos dos modelos seqüenciais de desenvolvimento de produto são eliminados ou minimizados. Por exemplo, as constantes mudanças de projeto em virtude de problemas identificados tardiamente (em fases posteriores do desenvolvimento), as dificuldades para fabricação e montagem do produto etc. Problemas que trazem sérias implicações para a qualidade, custo e tempo de desenvolvimento do produto.NEVINS & WHITNEY (1989)

O estágio de projeto conceitual tem que adotar a vantagem de criar baixo custo do produto e do processo de fabricação simultaneamente, essa é em essência a proposta da Engenharia Simultânea.

A Engenharia Simultânea também parece ser vista como uma forma de reorganização da empresa para o aumento das potencialidades de uso das ferramentas de softwares disponíveis para o desenvolvimento do projeto do produto.

No desenvolvimento seqüencial, pode ser constatado que o conhecimento sobre o projeto, na sua fase conceitual, é muito pequeno e também se percebe uma ênfase quase que exclusiva dada pelos responsáveis pelo projeto conceitual do produto à funcionalidade, relegando-se para segundo plano os demais aspectos: manufatura, montagem, logística. (TRABASSO, 1995).

A Engenharia Simultânea permite pensar nestes aspectos antecipadamente, sempre durante a fase de desenvolvimento, através da maior integração das diversas áreas, podendo antecipar futuros problemas, conseguindo assim reduzir drasticamente as chances de realização de alterações de projetos e conseqüentemente o tempo para colocar um produto no mercado fica sensivelmente menor. A redução de custos é uma outra vantagem, tanto pela redução global de tempo como pela dispensa de alterações.

O desenvolvimento de produto utilizando à abordagem da engenharia seqüencial tradicional, tem diferenças no ciclo de vida, pois esta última, provoca um pico de acúmulo de esforços na fase de implantação, quando ocorre a transferência de documentações e informações para a manufatura. Este pico é conseqüência das revisões no reprojeto de custos decorrentes de reformulações e retrabalhos. (TRABASSO, 1995).

Segundo BEDWORTH (1991) e NEVINS (1989), podem destacar as seguintes razões para que as empresas adotem a Engenharia Simultânea:

- Desde o princípio do projeto, deve-se incluir todos os domínios de conhecimento pertinentes como participantes ativos;
- Reduzir o time to market;
- Otimização contínua do produto é processo de produção;
- Aumentar robustez dos produtos e processos;
- Aumentar a qualidade dos projetos e dos produtos, através da antecipação de falhas durante o desenvolvimento do produto;
- Redução de custos, através da redução do tempo de desenvolvimento e pela exclusão das etapas de retrabalhos;
- Reduzir o número de partes;

- Identificar os conceitos de produtos que são inerentemente fáceis de fabricar;
- Evitar características de componentes que são desnecessárias e caras para produzir;
- Minimizar custo de material;
- Identificar e aumentar o número de partes comuns aos diferentes modelos;
- Antecipar métodos de montagem e fabricação de seus respectivos problemas;
- Integrar as pessoas e departamentos, anteriormente separados pela forte departamentalização.

Esta integração é uma das características mais marcantes e ela ocorre, pois a Engenharia Simultânea é estruturada em conceitos que não são abordados nos modelos tradicionais de gerenciamento de projetos, como por exemplo, o trabalho em equipes multifuncionais, atividades simultâneas, controle de projetos por atividades e não por tempo e estabilidade da equipe ao longo do projeto.

A chave para a implantação da Engenharia Simultânea é alcançar o mais cedo possível a integração do conhecimento prático da empresa na atividade de projetar um produto.

2.11.1 Ferramentas da engenharia simultânea

A Engenharia Simultânea tem sido implementada através de um conjunto de ferramentas que integram principalmente os setores de projeto e manufatura.

Essas ferramentas principais são: DFM, DFA, Projeto Axiomático, Engenharia do Valor, FMEA. Essas ferramentas definem a qualidade do produto em termos de manufaturabilidade, ou seja, sob o ponto de vista do cliente interno da organização.

O QFD também é uma ferramenta de Engenharia Simultânea que difere das demais, sua preocupação é com a satisfação do cliente externo. Para tornar o trabalho de time multidisciplinar eficiente e eficaz na execução de seu objetivo, são utilizadas várias técnicas ou métodos de projetos integrado ou simultâneo. Cada uma dessas ferramentas tem em comum o fato de possibilitar medir a qualidade do projeto segundo vários

critérios. A qualidade do projeto pode ser expressa como o número de componentes do produto, a facilidade de montagem, entre outros.

Do ponto de vista do conceito de Engenharia Simultânea, o projeto é considerado completo quando todas as áreas de especificação o aprovam, ou seja, significa que cada medida de qualidade foi satisfeita.

Maiores detalhes sobre cada ferramenta e sua aplicação podem ser encontradas em BEDWORT (1991) ou NEVINS (1989).

2.11.2 Aspectos humanos da engenharia simultânea

Certamente, uma das afirmações mais correta na área de gerência de projetos é que o sucesso das atividades realizadas em ambientes de projeto é fortemente dependente de aspectos humanos. As pessoas estão na origem do sucesso de todas as ações realizadas no projeto e isso não e difícil de ser percebido, pois nem tudo pode ser colocado nas máquinas e sistemas, sobretudo quando se trabalha na forma prescrita pela Engenharia Simultânea. A idéia de base da Engenharia Simultânea é fundamentada em intensa comunicação e integração no projeto. Evidentemente, comunicar e partilhar dados a partir de dados informatizados, mas também, comunicar e partilhar decisões humanas dos stakeholders, dos chefes de projetos e da equipe. (PASSAMANI, 2002).

São as decisões humanas que determinam o que e como serão realizadas as atividades; o que esta diretamente associado ao conhecimento técnico geral da equipe, também está associado à criatividade, a motivação e a liderança apresentadas por cada membro da equipe. São estes aspectos humanos que devem ser muitos bem trabalhados na venda da idéia e na implementação da Engenharia Simultânea, pois ela é dependente de uma forte cooperação entre os membros da equipe de projeto e de todo ambiente que o cerca.

2.11.3 Fases para implementação da engenharia simultânea

A introdução da engenharia simultânea gera resistência e conflitos. Dentre eles podemos destacar: o temor da perda de poder, por parte dos chefes das unidades organizacionais ao dar maior autonomia ao grupo de projeto; a insegurança dos técnicos

que tiveram que mudar sua metodologia de trabalho; a desconfiança por parte das pessoas envolvidas acerca das oportunidades de ascensão profissional; as ameaças de perda de emprego; e as resistências decorrentes das alterações de atribuições funcionais, que acarretam mudança de posição.

As estratégias de implantação devem conter: diretrizes e apoio da alta administração; capacitação de engenheiros e algumas mudanças organizacionais, com o objetivo de redução de barreiras interdepartamentais. A combinação destes elementos e a aplicação na prática vão delineando as melhorias subseqüentes.

A adoção da Engenharia Simultânea pode obedecer a um plano de implantação gradual, com várias etapas, considerando as características e as políticas da empresa onde será implantada.

De maneira geral, podemos dizer que esta implantação deve contemplar pelo menos três aspectos:

- Adotar as técnicas de gerenciamento de projetos, pois a Engenharia Simultânea é apenas uma forma de organizar e gerenciar projetos, é imperativa uma matriz de tarefa X responsabilidade, cruzando o organograma do projeto com os departamentos;
- Formar uma equipe multifuncional, com o conceito de força tarefa, eleger um gerente para o projeto, delegando poderes para tomada de decisões;
- Adotar o processamento paralelo, ou seja, uma equipe altamente comprometida, trocando informações entre si e com seus respectivos departamentos, além da utilização de ferramentas modernas para concepção do produto.

Para MANSFIELD (1993), o ponto frágil da Engenharia Simultânea, deve-se justamente ao fato de que várias atividades são realizadas simultaneamente; pois muitas vezes a melhor execução de uma depende de detalhes que só serão obtidos com a conclusão de uma outra atividade que ainda está em andamento. Com isso, há o risco de serem criados começos falsos, desenhos não atualizados, disperdiçando-se esforços.

Outro ponto importante relaciona-se aos eventuais problemas que podem decorrer de uma atividade paralela; a equipe terá que ter maturidade para compreender estas dificuldades e conseguir concentrar esforços nos deficientes.

3. ERGONOMIA

O termo ergonomia é derivado das palavras gregas ergon (trabalho) e nomos (regras). O nome de "Ergonomia" para a ciência do trabalho, foi proposto pela primeira vez em 1857 pelo físico polonês, Jastrzebowski (LIMA, 1997).

Na pré-história, iremos nos deparar com as primeiras utilizações ergonômicas, onde o homem já selecionava a pedra, entre várias opções, que seria usada como arma, selecionando a que melhor se adaptava à forma e movimentos de sua mão.

LAVILLE (1977) define ergonomia como sendo "o conjunto de conhecimentos a respeito do desempenho do homem em atividade, a fim de aplicá-los à concepção de tarefas, dos instrumentos, das máquinas e dos sistemas de produção".

No inicio do século XX, Ford revolucionou os sistemas produtivos, criando a linha de montagem em série como uma nova forma de organização do trabalho, adotada até os dias atuais; neste momento surgia também a Administração Cientifica do Trabalho por Taylor, que se baseavam na racionalização do trabalho a fim de que se evitassem movimentos desnecessários para a execução de determinadas tarefas, havendo um controle rígido dos tempos e métodos de cada tarefa realizada (BOSCOLO, 2002).

Após esta fase, a forma de organização do trabalho se caracteriza por atividades que exigem grande precisão de movimentos realizadas em curto ciclos de tempo, alta repetitividade, intensificação do ritmo de trabalho imposto por máquinas ou por padrões de produtividade. Os trabalhadores passaram a não ter diversificação de tarefas, sendo mantidos nas mesmas tarefas por muitos anos (BARREIRA, 1994).

Na atualidade, a ergonomia está relacionada com todos os aspectos da atividade humana, na qual são levados em conta, considerações de fatores pertinentes aos aspectos físicos cognitivos, sociais, organizacionais, ambientais e outros (MENEGON, 2001).

Uma consideração adequada das capacidades e limitações humanas durante o projeto, influencia fortemente o desempenho no trabalho (DIAS 2000). A ergonomia no ambiente do trabalho é muito mais que conforto, seu conceito esta intimamente ligado à produtividade e à lucratividade.

Hoje, a Ergonomia também é um grande chamariz para venda de um produto; as empresas gostam de mencionar as características ergonômicas de seu produto, tais como facilidade de pega, de fácil manuseio, com boa disposição de comandos, segurança na condução do equipamento e baixo nível de ruído, como uma maneira de diferenciação de seus produtos com os do concorrente.

3.1 Evolução da ergonomia

Para HENDRICK (1991), a ergonomia evolui da seguinte maneira: A primeira geração concentrou-se no projeto de trabalhos específicos, interfaces homem-máquinas, incluindo controles, painéis, arranjo do espaço e ambientes de trabalho. A maioria das pesquisas referia-se à antropometria e a outras características físicas do homem.

Já a segunda geração, se inicia com à ênfase na natureza cognitiva do trabalho, decorrente das inovações tecnológicas e, em particular, do desenvolvimento de sistemas automáticos e informatizados. A terceira geração, resulta do aumento progressivo da automação de sistemas em fábricas e escritórios, do surgimento da robótica. Esta geração da ergonomia privilegia a macroergonomia ou organização global ao nível de máquina e sistema.

3.2 Objetivos da ergonomia

Transformar o trabalho constitui a primeira finalidade da ergonomia e, para tanto, ela utiliza um conjunto de conhecimentos científicos relativos ao homem e necessários para a concepção de ferramentas, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo conforto, segurança e eficácia.

De acordo com MENEGON (2001), a ergonomia tem como ponto de partida a realidade da atividade e das hipóteses que explicam a carga de trabalho, dentro de um contexto no qual em uma situação específica irá procurar, através de sua base conceitual, revelar a representação dos diferentes atores envolvidos, procurando ações que objetivamente adequem a situação produtiva ao homem.

Ela foge da linguagem simples das aptidões que define apenas as qualidades exigidas do operador para a execução do trabalho, procurando informações mais amplas

a respeito das condições materiais necessárias para executá-lo. Leva-se em conta termos como: esforço, julgamento, atenção, concentração, percepção, motivação que o psicólogo, ás vezes, não leva em consideração, orientando-se apenas no sentido de seleção.

Para SANTOS e ZAMBERLAN (1992), a "Ergonomia tem como finalidade conceber e/ou transformar o trabalho de maneira a manter a integridade da saúde dos operadores e atingir objetivos econômicos". A demais, a ergonomia procura realizar diversos tipos de análises das atividades, quer física, sensorial e mental. Assim, faz:

- Análises do trabalho
- Análise das informações
- Análise do processo de tratamento das informações

Segundo FERREIRA apud ABRAHAO (1993), o grande desafio da ergonomia é criar instrumentos para poder analisar a atividade real dos homens em situação de trabalho, saber interpretá-los a luz do conhecimento sobre o comportamento humano e propor modificações que facilitem o trabalho humano.

Neste sentido, a ergonomia busca identificar componentes físicos (gestos, posturas, deslocamentos do trabalhador, quantidade e qualidade do esforço despendido na realização da tarefa), cognitiva (funções perceptivas e mentais exigidas) e psíquica (significado do conteúdo, natureza e organização do trabalho para cada trabalhador) da carga de trabalho e sua repercussão para a saúde do trabalhador e a produtividade (ABRAHAO, 1993).

Hoje, existe uma diversidade de metodologias disponíveis aos ergonomistas para a melhoria das condições do homem em seu ambiente de trabalho, WISNER (1994). afirma que a escolha de cada abordagem depende das características presentes em cada situação a ser estudada, bem como dos prazos e recursos utilizáveis e ainda da situação prática em questão, e acrescenta que, as diferentes metodologias devem ser complementares.

Dentre as diversas abordagens existentes, destaca-se a Análise Ergonômica do Trabalho.

3.3 Analise ergonômica do trabalho

A Análise Ergonômica do Trabalho constitui uma das formas de estudo para se tentar entender o trabalho, a maneira como é organizado, além das relações pessoais que se estabelecem no ambiente de trabalho.

De acordo com SALERMO (1998) a característica básica da Análise Ergonômica do Trabalho é uma observação sistemática das pessoas trabalhando.

Em princípio, vai buscar com base em metodologias antropo-psicológicas, como o trabalhador, como um ser integral age, raciocina e utiliza sua inteligência para fazer face às variabilidades e imprevistos que a ele se apresentam nas situações de trabalho.

Trata-se, portanto, de um instrumento extremamente eficaz para discutir as condições de trabalho, de modo que o importante é discutir as ações dos trabalhadores relacionadas as condições de trabalho, ritmo, sofrimento e ideologias defensivas.

É importante considerarmos, que a Análise Ergonômica do Trabalho possui alguns pressupostos e objetivos baseados na relação entre o indivíduo, posto de trabalho e atividade. Assim, todas as atividades dos trabalhadores, sejam elas prescritas, imprevistas ou ate inconsciente, devem ser observadas (WISNER,1994).

Entre tais pressupostos podemos destacar a distinção entre tarefa e atividade, na qual a tarefa é estabelecida pela organização do trabalho proposto pela empresa, ou seja, o trabalho prescrito a ser realizado, enquanto a atividade e o que realmente é realizado pelos sujeitos a fim de se obter os objetivos prescritos.

Outro ponto a ser considerado é a idéia de variabilidade (resultado da distinção entre trabalho prescrito e trabalho real), associada ao que não foi previsto, mas manifestado dentro das situações produtivas.

Assim a Análise Ergonômica do Trabalho, busca compreender como os trabalhadores enfrentam suas diversidades, as variações de situações e quais suas conseqüências para a saúde e para a produção (MENEGON,2001).

Através da metodologia da Análise Ergonômica do Trabalho, a ergonomia avalia aspectos como a duração da jornada de trabalho, a função, o ciclo da tarefa, a repetitividade, as pausas, as posturas inadequadas, o esforço muscular e o ritmo necessário para a realização da tarefa, assim como o tipo de ferramenta, os equipamentos e as condições globais de trabalho.

3.4 Classificação da ergonomia

Segundo SADD (1981), a ergonomia pode ser classificada em:

- **Ergonomia de Concepção:** é o estudo ergonômico de instrumentos e ambiente de trabalho antes de sua construção;
- **Ergonomia Corretiva:** é a que modifica sistemas já existentes, portanto, o estudo ergonômico só é feito após a construção do instrumento e/ou ambiente de trabalho;
- **Ergonomia Seletiva:** é feita selecionando-se o homem ideal e/ou a faixa de utilizadores ideal para uma máquina, atividade ou ambiente de trabalho já existente.

3.5 Domínios de especialização da ergonomia

De maneira geral, os domínios de especialização da ergonomia são:

- **Ergonomia física:** está relacionada com às características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica em sua relação a atividade física. Os tópicos relevantes incluem o estudo da postura no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivos, distúrbios músculo-esqueletais relacionados ao trabalho, projeto de posto de trabalho, (segurança e saúde).
- **Ergonomia cognitiva:** refere-se aos processos mentais, tais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora conforme afetem as interações entre seres humanos e outros elementos de um sistema. Os tópicos relevantes incluem o estudo da carga mental de trabalho, tomada de decisão, desempenho especializado, interação homem computador, stress e treinamento conforme esses se relacionem a projetos envolvendo seres humanos e sistemas.
- **Ergonomia organizacional:** concerne à otimização dos sistemas sócio técnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e de processos. Os tópicos relevantes incluem comunicações, projeto de trabalho, organização temporal do trabalho, trabalho em grupo, projeto

participativos, novos paradigmas do trabalho, trabalho cooperativo, cultura organizacional, organizações em rede, tele-trabalho *e gestão da qualidade.*

3.6. Incorporação da ergonomia no planejamento e desenvolvimento de produtos

Em seu trabalho SARIC (1979) faz um breve resumo sobre o utilização da Ergonomia durante a fase de desenvolvimento de produtos. Historicamente ela passou por três etapas: Ergonomia de botões, Ergonomia do modelo do sistema homem – máquina e, finalmente, a ergonomia incorporada ao processo de desenvolvimento de produtos e sistemas.

Na Ergonomia de botões e mostradores, o papel que os ergonomistas tinham no desenvolvimento de produto era posterior ao projeto preliminar, limitando-se a otimizar o relacionamento homem - máquina, tornando os mostradores mais visíveis e os comandos mais fáceis de operar.

Nestas atividades, os ergonomistas preocupavam-se em reduzir a carga física dos futuros usuários. A variável dependente do trabalho do ergonomistas era a função humana. A Ergonomia como sistema desenvolveu-se a partir do aumento das experiências técnicas, que deixaram claro que, mostradores e controles eram só uma parte no desenvolvimento do produto.

As variáveis relativas ao desempenho humano que eram adotadas como variáveis dependentes na primeira fase, foram gradativamente incluídas em um contexto mais amplo de análise, vinculando-as com a função, o sistema a ser desenvolvido. Isto trouxe um avanço: as variáveis dependentes que motivaram a existência da disciplina haviam sido definidas e o modelo para a prática ergonômica havia sido desenvolvido.

A terceira etapa refere-se ao estágio atual da Ergonomia. Constitui uma fase de transição da teoria à prática e de integração do modelo ergonômico ao sistema produtivo. Este estágio da Ergonomia é caracterizado pelo esforço em levar os modelos e a filosofia concebidos na Segunda fase para a situação prática, para que tenha os efeitos desejados.

As abordagens de incorporação da Ergonomia acompanharam a evolução dos conhecimentos científicos sobre o homem que geraram, gradativamente, as tecnologias correspondentes a estas abordagens.

Segundo HENDRIK (1991) distinguem-se três tecnologias de interface.

A primeira tecnologia de interface homem – máquina, objetivou o projeto de interfaces específico de trabalho como mostradores, controles, espaços de trabalho, lay – outs, fatores de meio ambiente. As pesquisas que surgem desta tecnologia estudam fatores ambientais, temperaturas, ruídos e características visuais, biomecânicas, antropométricas e de percepção.

A segunda tecnologia de interface homem – máquina deu ênfase ao aspecto cognitivo do trabalho. Suas áreas de aplicação estavam na integração do homem com o computador, sistemas de suporte à decisão e mostradores. Ambas as gerações pertencem ao enfoque Micro – ergonômico e projetam produtos, sistemas e postos de trabalho.

Em uma terceira tecnologia um enfoque de Macroergonomia é dado, colocando-se a organização como um todo. HENDRIK (1991) chama isto de interface Organização – Máquina, onde as decisões técnico-científicas, referentes a toda organização são prioritárias para o projeto de cada componente.

3.7 Fatores de sucesso do projeto ergonômico

Segundo COBO (1994), o sucesso do projeto ergonômico de produtos são influenciados por seis fatores:

- Atitude positiva dos projetistas para com a ciência interdisciplinar;
- Habilidade e experiência em definir quais dados de ergonomia são necessárias levantar;
- Integração dos conceitos de filosofia da ergonomia na prática de projeto;
- Procedimento para a integração completa da ergonomia no processo de projeto e desenvolvimento de produtos;
- Comprometimento da alta administração com a estratégia;
- Custos e benefícios decorrentes do uso da estratégia.

3.8 Movimento e postura

Diversos músculos, ligamentos e articulações são solicitados para se realizar um movimento ou uma postura. A força necessária para o corpo realizar um movimento ou postura é fornecida pelos músculos. Já os ligamentos possuem a função de auxiliar enquanto as articulações permitem um deslocamento de partes do corpo em relação as outras. Posturas ou movimentos inadequados produzem tensões mecânicas nos músculos, ligamentos e articulações, resultando em dores no pescoço, costas ombros, punhos e partes do sistema músculo-esquelético. (SANDE, 1999)

A postura é freqüentemente definida pelo tipo de atividade ou pelo posto de trabalho. Por exemplo: a posição sentada apresenta vantagens sobre a em pé, pois o corpo fica melhor apoiado em diferentes superfícies: piso, assento, encosto, braço da cadeira, mesa. Portanto a posição sentada é menos cansativa que a de pé, entretanto as atividades que exigem maiores forças ou movimentos do corpo, são melhores executadas em pé. (IIDA, 1995). Ainda, segundo o autor, alguns movimentos, além de produzirem tensões mecânicas nos músculos e articulações, apresentam um gasto energético que exige muito dos músculos, coração e pulmões. Muitos princípios de postura e movimento derivam de conhecimentos das áreas de biomecânica, fisiologia e antropometria

3.9 Biomecânica

A Biomecânica ocupa-se com a aplicação das leis físicas da mecânica aplicadas ao corpo humano. Desta forma, pode-se estimar as tensões que ocorrem nos músculos e articulações durante a execução de um movimento ou postura. IIDA (1995) destaca os seguintes princípios como os mais importantes:

- As articulações devem ocupar uma posição neutra;
- Conserve os pés próximos ao corpo;
- Evite curvar-se para frente;
- Evite inclinar a cabeça;
- Evite torções do tronco;

- Evite movimentos bruscos que produzem picos de tensões;
- Alterne posturas e movimentos;
- Restrinja a duração do esforço muscular contínuo;
- Previna a exaustão muscular;
- Pausas curtas e freqüentes são melhores.

3.10 Fisiologia

A demanda energética exigida do coração e dos pulmões por um esforço muscular pode ser estimada pela Fisiologia. Segundo IIDA (1995) a maioria da população pode executar tarefas usuais por um longo tempo, sem sentir fadiga pelo esgotamento energético, desde que esta, não exceda 250 Watts (1W = 0,06 Kj/min = 0,0143 Kcal / min). Essa cifra, que expressa como sendo a energia consumida por uma pessoa por unidade de tempo, inclui a quantidade de energia de aproximadamente 80W, chamado metabolismo basal, que o corpo necessita para manter suas funções vitais, e o restante é aplicado no trabalho.

O organismo humano mesmo em repouso, consome a energia correspondente ao metabolismo basal.

Até os 250 W, a tarefa não é considerada pesada, e não são necessários alternâncias com tarefas mais leves e/ou pausas durante o trabalho. É recomendado que sejam feitas diversas pausas periódicas distribuídas ao longo da jornada; pois do contrário pode se levar os músculos a exaustão. Maiores detalhes podem ser vistos na obra de IIDA.

3.11 Antropometria

A Antropometria está preocupada com as dimensões e proporções do corpo humano. Os projetistas devem lembrar-se sempre que existem diferenças individuais entre os usuários, por exemplo, se uma porta fosse dimensionada pela altura média da população, mais da metade da população bateria a cabeça.

Recomenda-se sempre se utilizar as tabelas antropométricas, pois apresentam as dimensões do corpo, pesos e alcances dos movimentos e se

referem sempre a uma determinada população e nem sempre podem ser aplicadas para outras populações. Cabe ressaltar que os valores destas tabelas se referem a homens e mulheres nus e descalços. Para pessoas vestidas é necessário acrescentar o peso e o volume das roupas, uma altura média adicional de 3 a 5 cm podem ser consideradas em função dos calçados.

3.12 Princípios fundamentais da mecânica

Todo o estudo da Mecânica está relacionado com as leis de Newton, porém, sua aplicação no corpo humano possui limitações devido às condições anatômicas e fisiológicas de que é possuidor.

- **1º Lei:** "Quando um corpo está em repouso ou em movimento uniforme retilíneo, a resultante de todas as forças exercidas sobre o corpo é nula" (Inércia);
- **2º Lei** "A aceleração determinada em um corpo é diretamente proporcional à ação da força, e inversamente proporcional a sua massa" (Aceleração);
- **3º Lei** "Para cada ação de uma força, corresponde uma reação de igual intensidade no sentido contrário" (Ação e Reação).

3.13 Movimento

É um fenômeno caracterizado pela mudança da posição de um corpo no espaço, diz-se que o corpo está em movimento, quando as distâncias desse corpo a outros, tomados como referência, variam com o tempo. Na aplicação do estudo do movimento do corpo humano, vamos verificar sua importância, visto que através dele podemos destruir ou manter o equilíbrio, como envolve a mudança de posição do corpo haverá uma inter-relação entre movimento e equilíbrio (FRACCAROLI, 1981)

3.14 Força

É o efeito que um corpo exerce sobre o outro, ou tudo aquilo que é capaz de produzir ou modificar um movimento; força e movimento são associados, e somente através do primeiro se processa o segundo, podendo haver o primeiro sem o segundo.

A força é uma grandeza vetorial e, como tal, é representada graficamente por uma seta, possuindo os seguintes elementos: ponto de aplicação, que é o ponto sobre o qual a força atua; direção, que é dada pelo segmento de reta no qual a força é componente; sentido que é dado pelo deslocamento percorrido pelo ponto de aplicação; módulo ou intensidade, que é a representação numérica (FRACCAROLI, 1981)

Embora pareça um conceito simples, a força pode ser definida como a intensidade da carga ou sobrecarga músculo-esquelética. A força pode ser categorizada de duas maneiras principais: externa como carga cabendo uma distinção entre peso manuseado e força necessária para esta tarefa, ou interna como força sobre a estrutura corporal a qual pode ser determinada de forma absoluta ou em porcentagem relativa a contração voluntária máxima individual (HAGBERG et al, 1995).

É importante lembrar que esta é a resultante da ação de no mínimo: forças musculares (agonistas, sinergistas e antagonistas), articulares e, força peso do segmento e do objeto que é manipulado, sendo que há um predomínio de uma ou mais forças na ação.

A aplicação de força está freqüentemente presente durante a execução de tarefas, seja através do uso de ferramentas ou como parte da atividade, ou ainda, por contato mecânico entre o tecido e o objeto ou ferramenta.

O estudo da força aplicada em diferentes trabalhos e em diferentes trabalhadores parece importante no sentido de que pode ser estabelecer limites seguros a partir da capacidade individual numa perspectiva preventiva (YATES et al, 1980).

Em busca de respostas a muitos fatos que envolvem o uso de força, várias áreas têm direcionado seus objetivos ao estudo da força humana e de variáveis a ela relacionadas. Além da ergonomia, encontram-se estudos sobre força, nas áreas de esporte, médicas (fisiologia, reabilitação) e psicologia, dentre outras (ARMSTRONG, 1986; HAGBERG, 1981; REDDON, et al, 1995).

3.14.1 Fatores que influenciam a força

Vários fatores afetam a força, entre eles podemos destacar: idade, sexo (embora o músculo-esquelético possa possuir a mesma força por área de secção cruzada, independente do sexo), peso, altura, fadiga, prática de atividade física, estado de saúde, uso de drogas, fatores hormonais, fatores ambientais e motivação (SANDE,1999).

Durante a execução de uma montagem, além dos fatores mencionados acima, a força depende em parte das propriedades do instrumento ou objeto manipulado, como: tamanho, forma, peso, características friccionais da superfície e efeitos inerciais, quando objeto acelera ou desacelera (PUTZ ANDERSSON, 1988).

Através de questionários, testes musculares manuais, modelos biomecânicos, uso de medidores de força (célula de carga, dinamômetros) e também de estudo da atividade eletromiográfica, podemos fazer estimativas de força.

A intensidade da força usada durante a pressão é dez vezes mais importante do que a sua duração. Devido a sua relevância no trabalho, a atividade de preensão da mão será abordada a seguir.

As diversas atividades dos membros superiores só podem ser executadas devido a possibilidade dos vários segmentos das mãos e dedos se movimentarem independentemente uns dos outros, combinando seus movimentos em um número infinito de padrões adaptáveis as mais diversas condições. Só assim podemos apreender, segurar, manter, soltar, manusear, levar a mão os objetos ou segurá-los em todas as direções (SANDE, 1999). Outro ponto importante em todas estas ações é a independência dos movimentos do polegar e do indicador entre si e em relação aos demais dedos e, que os movimentos de todos os dedos e do punho possam ser executados independente da posição em que estiverem os demais seguimentos do braço, além dos movimentos independentes das articulações metacarpofalangeanas e interfalangeanas (BRANDAO, 1984). Apesar da mão possuir várias funções múltiplas, sua principal função é a preensão.

Os movimentos podem ser decompostos em sub-movimentos, assim há sempre uma seqüência de sub-movimentos básicos "quanta", baseando-se nas teorias modernas de controle motor. Os autores consideram que "quanta" seria uma dada seqüência que

sempre estaria presente durante a execução de um determinado ato motor.(FLANAGAN et al, 1993).

O paradigma de movimentos pré-programados e outro aspecto interessante, este sugerem que o padrão de movimento é armazenado nas estruturas neuroniais e nas propriedades mecânicas do sistema motor. As versões de trajetória são criadas por assimilação de valores dos diferentes parâmetros (amplitude, velocidade, força) antes do início do movimento (CARTE E SHAPIRO, 1984).

Os ajustes da força de preensão são paralelos e graduais às alterações da força usada para o levantamento vertical do objeto, enquanto este é apreendido. Assim, com o aumento ou diminuição desta força de levantamento, há um rápido ajuste da força de preensão (COLE E ABBS, 1988).

A metodologia muitas vezes utilizada em estudos ergonômicos para a mensuração de força, tem seguido os testes padronizados. Assim, os equipamentos, as posturas e a orientação dos segmentos no espaço têm sido estabelecidos e até padronizados, como em HARKOMEN et al (1993). No entanto, existem restrições desta aplicação pela diferença encontrada na atividade funcional e nas situações experimentais de teste. A grande contribuição de tais estudos, está no fato de que podem identificar os riscos presentes nas tarefas que o trabalhador realiza e, assim contribuírem para uma intervenção eficaz e direta.

Durante o desenvolvimento do produto, pode-se definir com uma certa clareza, quais informações da ergonomia são necessárias, o que também ajuda limitar o espectro de informações a coletar. Cabe mencionar que durante a elaboração da lista, pode-se detectar conflitos entre os requisitos técnicos, ergonômicos e econômicos, sendo necessário analisar os requisitos conflitantes de maneira mais detalhada e depois decidir sobe a eliminação ou permanência dos mesmos (SELL, 1989).

A lista de verificação pode ser utilizada com diferentes finalidades, na prática, o ergonomista deve preparar a sua própria lista, de acordo com suas necessidades específicas, para isso pode se valer de outras listas já existentes. Esta lista pode ser associada a um sistema de pontuação, para que a avaliação possa ser convertida em um escore, desta forma, as alternativas podem ser comparadas de forma mais objetiva (IIDA, 1995).

As funções alocadas à pessoa devem ser analisadas e criticadas. Para avaliar esta distribuição, recomenda-se fazer uma descrição detalhada das atividades da pessoa com o produto. Esta descrição deve abordar o que a pessoa deve fazer, como, onde, quão depressa e quantas vezes por unidade de tempo. Elas permitirão conhecer conclusões mais precisas sobre o espaço necessário, peso altura de utilização, sensibilidade e perturbações. Para definir a configuração dimensional do produto e a alocação e dos elementos de contato, dados sobre alcances, alturas de trabalho, estão disponíveis em obras clássicas de Ergonomia.

Os autores também recomendam que o conhecimento de fatores humanos deve ir além dos conhecimentos normativos sobre níveis de ruído, luz e segurança compreendendo também características cognitivas e emocionais do usuário e como eles estão ligados ao produto proposto. Estas medidas comportamentais podem ser obtidas enquanto um usuário executa uma tarefa, como por exemplo: velocidade de execução da tarefa, ao número de erros cometidos, número de solicitações de ajuda, ou atitudes observadas, ao número de vezes que este consulta o manual, e ao sucesso em entender as instruções do manual.

Freqüentemente, os comentários dos operadores são a melhor fonte de idéias, desde que revelem o porquê de um problema em particular, é desejável coletar comentários enquanto o usuário está trabalhando com o produto visto que impressões dadas depois da tarefa ter sido completada podem disfarçar dificuldades que estão aparentemente vencidas. Maiores informações e detalhes sobre ergonomia podem ser consultados através da bibliografia mencionada na referencia bibliográfica.

4. SIMULAÇÃO

4.1 História da simulação

Apesar das primeiras aplicações da simulação computacional serem datadas da década de 50, onde sua utilização restringia-se basicamente a fins militares, principalmente na indústria aeroespacial nos EUA é na década de 60 onde surgiram as primeiras aplicações em sistemas industriais, sua popularidade intensificou-se apenas nesta última década, expandindo-se para outras áreas, como logística e manufatura.

As primeiras simulações foram desenvolvidas na linguagem de aplicação geral existentes na época, principalmente em FORTRAN e posteriormente em Pascal e C, esta etapa foi bastante longa até que surgissem as primeiras linguagens específicas de simulação TORRES (2001).

As linguagens de programação são feitas em blocos de códigos, comandos de alto nível, que procuram representar ações e elementos característicos dos sistemas industriais. Recentemente estas linguagens aumentaram sua abrangência de aplicação através da programação orientada a objetos e da simulação com base na web.

Segundo TORRES (2001) seu desenvolvimento se deveu principalmente a necessidade de produtividade das ferramentas computacionais, pois os modelos de simulação facilmente tornam-se extensos. Dentre os principais motivos, podemos destacar:

- Desenvolvimento dos computadores, que apresentou crescimento extraordinário nos últimos anos;
- Desenvolvimento de softwares de simulação com interfaces homem-máquina mais amigáveis e com capacidade maior de processamento gráfico;
- Natureza da simulação: capacidade de avaliar sistemas complexos e modelar seu comportamento dinâmico, sendo especialmente importante quando não edite uma solução analítica (através de modelos matemáticos).

Hoje, no mercado existem mais de uma centena de softwares e sistemas de simulação que variam consideravelmente em vários aspectos: preço, funcionalidade, plataformas, flexibilidades, facilidade de uso, etc.

Os objetivos ou metas do usuário ditam o desenho apropriado do modelo, o experimento a ser rodado através deste desenho e a análise a ser feita. Tais objetivos devem especificar a parte do sistema real de interesse e o grau de acuracidade nas medidas necessárias. Idealmente, o sistema vai interpretar e entender os requisitos do usuário e então determinar o que é necessária em termos de dados de entrada, técnica para processar a informação e o tipo de informação que será fornecida.

No futuro, as realizações dos negócios serão feitas a partir dos resultados obtidos pelos sistemas de simulação, pois as principais decisões sempre necessitarão ser avaliadas em todos os seus aspectos. O uso da modelagem de simulação se estenderá, além das aplicações tradicionais da manufatura e aspectos logísticos, a processos de negócios e a aplicação de simulações interativas no treinamento e vendas, penetrando em todos os aspectos das corporações e em muitos aspectos das vidas pessoais.

A simulação ganha cada vez mais importância em decorrência do aumento da complexidade dos sistemas produtivos para fazer frente a mercados cada vez mais exigentes e instáveis. A possibilidade de a simulação poder modelar com sucesso estes sistemas em vários níveis de detalhes e de formas dinâmicas faz com que seja aplicada a vários tipos de sistemas produtivos, de indústrias e de serviços TORRES (2001).

A simulação não otimiza, apenas pode demonstrar as respostas às perguntas e, além disso, não fornece resultados precisos se os dados não forem precisos, como também não descreve características do sistema que não forem explicitamente modeladas. Por fim, não soluciona problemas, apenas fornece informações, explicam LAW & KELTON (1991).

Ainda segundo LAW & KELTON (1991), através da simulação, é possível obter algum discernimento sobre a natureza de um processo, identificar problemas específicos ou áreas problemáticas dentro de um sistema, desenvolver políticas ou planos específicos para um processo, testar novos conceitos e/ou sistemas antes de suas implementações e aumentar sua eficiência.

4.2 Definição

Segundo SHANNON (1975), a simulação e o processo de criar um modelo de um sistema real ou proposto é conduzir experimentos neste modelo, com o propósito de entender o comportamento deste sistema ou avaliar diversas estratégias para sua operação. Tem como finalidade, permitir ao analista chegar a conclusões sobre novos sistemas sem precisar construí-los ou fazer alterações em sistemas já existentes sem perturbá-los, sob várias condições; analisar as interações entre sistemas e entender como vários componentes interagem entre si e como estes afetam todo o desempenho do sistema.

Para NAYLOR (apud BATALHA 1997), simulação é uma técnica numérica para conduzir experimentos em um computador digital, a qual envolve relações lógicas e matemáticas que se interagem para descrever o comportamento e estrutura de um sistema real, complexo durante extensos intervalos de tempo.

Posto de outra forma, segundo TORRES (2001), simulação é a imitação da operação de um processo ou sistema real no tempo e envolve a geração de um histórico artificial de dados. A observação desse histórico permite que se façam inferências a respeito das características operacionais dos elementos reais que estão sendo representados.

4.3 Quando usar a simulação:

O uso da simulação, conforme STRACK (1984) deve ser considerado quando uma ou mais destas condições existirem:

- Não há formulação matemática completa para o problema;
- Não há método analítico para a resolução do modelo matemático;
- A obtenção de resultados com modelo é mais fácil de ser realizada por simulação que por método analítico;
- Não existe habilidade pessoal para a resolução do modelo matemático por técnica analítica ou numérica;
- É necessário observar o desenvolvimento do processo desde o inicio até os resultados finais, e são necessários detalhes específicos;

- Não é possível ou é muito difícil a experimentação no sistema real;
- É desejado estudar longos períodos de tempo ou são necessários alternativos que os modelos físicos dificilmente fornecem.

4.4 Vantagens e desvantagens de uma simulação

Pode-se enumerar algumas vantagens da simulação computacional quando comparada com a experimentação direta de um sistema real. A primeira é em relação aos custos envolvidos: é muito menos oneroso efetuar experiências com o modelo de simulação do que com o sistema real, especialmente quando há equipamentos de alto custo; também a experimentação de sistema real envolve riscos, tanto materiais quanto humanos, o que não ocorre com o sistema simulado PIDD (1992).

Algumas das vantagens da simulação, de acordo com LAW & KELTON (1991), são:

- Utilização em sistemas reais e complexos com elementos estocásticos que não podem ser descritos de uma forma acurada por um modelo matemático;
- Possibilidade de estimar o desempenho de um sistema já existente sob determinadas condições pré-estabelecidas;
- Melhor controle das condições experimentais;
- Os dados da simulação representam menor custo do que dados obtidos de um sistema real;
- A simulação pode promover uma solução criativa dos problemas;
- Pode prever resultados e considerar variações de sistemas.

As desvantagens são enumeradas em relação ao custo X benefício, algumas vezes, as dificuldades e os gastos para implementação da simulação superam os resultados obtidos. Algumas desvantagens da adoção da simulação, segundo TORRES (2001) incluem:

- A construção do modelo requer treinamento especial que demanda tempo e experiência. A experiência pode ter um impacto considerável no tempo para se desenvolver o modelo conceitual;

- Os resultados da simulação podem ser difíceis de se interpretar em função da aleatoriedade;
- A modelagem e a análise de simulações podem levar relativamente mais tempo e custarem mais;
- A simulação pode ser usada inapropriadamente quando soluções de outra natureza resolveriam o mesmo problema em menor tempo e custo.

Hoje, a relação das desvantagens está sendo superada pelas novas tecnologias e ampliação da capacitação dos recursos humanos na simulação, o que era considerado tendência vem se concretizando. Determinar o retorno de investimento de software de simulação é uma tarefa difícil. A primeira razão é que o dinheiro salvo no final do processo é usualmente dinheiro que não foi planejado inicialmente.

A simulação, quando aplicada antes de um sistema ser instalado, poderá identificar problemas antecipadamente, prevenindo assim, custos com atrasos de lançamentos e repetição de atividades. Similarmente, quando a simulação é usada para estudar melhorias em sistemas existentes, ira evitar o gasto com alterações que não geram as melhorias ou benefícios esperados.

4.5 Tipos de simulação

Existem vários caminhos para classificar modelos de simulação. O caminho mais útil, de acordo com (KELTON; SADOWSKI, R; SADOWSKI, D, 1998), flui ao longo de três dimensões:

- **Estática versus Dinâmica:** O tempo não faz o papel natural em modelos estáticos, mas em modelos dinâmicos, onde o tempo é variável. Muitos dos modelos operacionais são dinâmicos.
- **Contínua versus Discreta:** em um modelo contínuo, o estado do sistema pode mudar continuamente com o tempo: um exemplo seria o nível de um reservatório com fluxo de água entrando e saindo, e a ocorrência de precipitação e evaporação. No modelo discreto, as mudanças podem ocorrer somente com a separação de pontos no tempo, tal como no sistema de fabricação com peças chegando e saindo em tempos

específicos, máquina abaixando e voltando em tempos específicos, e paradas para os trabalhadores.

- **Determinísticos versus Estocástico:** Os modelos determinísticos não possuem entradas aleatórias. são determinísticos; a operação de uma agenda rígida com tempos fixados de serviços poderia ser um exemplo. Por outro lado, modelos estocásticos operam com entradas aleatórias; como um banco com clientes chegando aleatoriamente requerendo tempos de serviços variados.

4.6 Mecanismos internos necessários para simulação

Segundo MOREIRA (2001) os mecanismos internos necessários para simulação são classificados em:

- **Variáveis**: características ou atributos do sistema que assumem uma gama de valores distintos conforme o desempenho do sistema quando simulado;
- **Parâmetros:** características ou atributos do sistema que têm só um valor em toda a simulação, mas podem mudar, se alternativas diferentes são estudadas;
- **Fatores exógenos**: parâmetros ou variáveis cujo valor afeta o sistema, mas não é afetado por ele. São representados pelas séries ou distribuições de probabilidade que fornecem valores do sistema;
- **Fatores endógenos:** parâmetros ou variáveis que tem o valor determinado pelo sistema, como é o caso dos resultados do modelo.

Os dados são necessários para:

- Estimar valores de constantes e parâmetros;
- Fornecer valores iniciais as variáveis;
- Comparar os resultados da simulação e validá-los.

4.7 Desenvolvimento da simulação

Para se resolver qualquer problema usando o computador é necessário a aplicação de uma metodologia. Assim, como diferente tipo de sistemas tem suas particularidades, também o processo de construção de um modelo para simulação varia de acordo com o tipo de situação a ser estudada. Considerações que se apresentam vitais para determinadas situações podem perfeitamente tornar-se descartáveis quando o enfoque é modificado LOBÃO (2000).

LOBÃO & PORTO (1997) propõem um roteiro para sistematização da simulação, sendo que o grau de complexidade do projeto, os recursos financeiros e a experiência dos projetistas apontarão a necessidade ou não da aplicação da cada uma das etapas do roteiro. É importante lembrar, que a experiência é atingida após alguns erros, o que representa custo e/ou tempo. Sendo assim, o grau de complexidade não deve ser subestimado e a sistematização representa uma maneira de otimizar o desenvolvimento do processo.

Na literatura recente, existem vários trabalhos sobre a maneira de como se realizar uma simulação, porém não há um consenso, sendo que cada autor segue uma seqüência que lhe parece ser adequado de acordo com sua experiência acumulada.

PEGDEN et al (1995) propõe a seguinte seqüência de passos a serem executados:

- **Definição do problema:** nesta etapa busca-se possuir uma visão clara dos objetivos do estudo, das respostas que se pretende obter com o modelo e das características do sistema que se pretende aperfeiçoar;
- **Planejamento do projeto:** busca-se dimensionar os recursos disponíveis, humanos, tempo e material para a execução do modelo;
- **Definição do sistema:** é a etapa de definição das fronteiras do sistema que se pretende modelar. São feitas simplificações do sistema real, definindo seus componentes;
- **Formulação conceitual do modelo:** nesta etapa é elaborada uma primeira concepção geral de como o sistema modelado funciona. São definidas as variáveis e as interações lógicas dos seus diversos componentes;

- **Projeto experimental preliminar:** consiste na formulação das medidas de eficiência do sistema e dos fatores que serão variados ao longo da simulação;
- **Preparação dos dados de entrada**: nesta etapa são coletados e analisados os dados necessários à operação do modelo;
- **Tradução do modelo:** é a fase da programação propriamente dita, onde o modelo será descrito em linguagem de simulação apropriada;
- **Verificação e validação:** a verificação consiste na depuração de erros provenientes da fase anterior. A validação procura estabelecer a relação de quanto o modelo representa de forma confiável, a operação real do sistema.
- **Projeto final experimental:** consiste em projetar os experimentos visando obter à coleção de dados necessários a fase de análise e determinar como cada uma das corridas deverá ser realizada;
- **Experimentações:** é a fase de execução propriamente dita das corridas, extraindo os resultados desejados, são realizadas também nesta fase as análises de sensibilidade do modelo;
- **Análise e interpretação:** nesta fase são realizadas inferências estatísticas sobre os resultados obtidos;
- **Implementação e documentação:** consiste na disponibilização e na aplicação dos resultados obtidos.

KELTON (1998) aponta que um bom projeto de simulação consiste numa freqüente interação entre as diversas fases acima, nem sempre seguidas de acordo com a metodologia estipulada.

4.8 Linguagens e softwares de simulação

A maior parte das linguagens de simulação representa tecnologia dos anos 60 e são umas extensões da forma tradicionais de programação. Inicialmente escreviam-se programas de computador em linguagens de proposta geral, como FORTRAN para simular sistemas mais complexos. Podemos destacar as linguagens de proposta gerais

PASCAIS e C, ambas dos anos 90. Recentemente, as linguagens de simulação aumentaram sua abrangência de aplicação, através da programação orientada à objetos e da simulação com base na web, TORRES (2001). As linguagens de simulação são linguagens de programação com blocos de códigos (comandos) de alto nível, que procuram representar ações e elementos característicos dos sistemas industriais. Seu desenvolvimento se deu principalmente à necessidade de produtividade das ferramentas computacionais, pois os modelos de simulação facilmente tornam-se extensos. Os blocos de códigos são similares a comandos e são facilmente reutilizáveis gerando programas menores e em menor tempo TORRES (2001). Entre as principais linguagens podemos destacar: GPSS, SIMSCRIPT, SIMAN, SLAM entre outras.

Segundo LAW & KELTON (1991), as vantagens de utilizar uma linguagem de simulação e não umas linguagens de proposta gerais são:

- As linguagens de simulação automaticamente fornecem a maior parte das características necessárias na programação de um modelo de simulação, o que diminui de modo significativo o tempo gasto na programação;
- Os modelos de simulação geralmente são mais fáceis de serem alterados quando escritos numa linguagem de simulação;
- As linguagens de simulação detectam erros com maior facilidade, porque muitos erros são identificados e checados automaticamente.

4.9 Simuladores

A simulação pode ser feita também através da utilização de softwares comerciais ou simuladores, além da programação. Um simulador é um pacote de computador que permite a simulação de um sistema contido numa classe específica de sistemas com pouca ou nenhuma programação. Eles surgiram na década de 80 destinados a aplicações industriais específicas.

Esses sistemas receberam o nome de simuladores porque não apresentavam capacidade de programação, eram específicos, pois elevavam ainda mais o nível de diálogo com o usuário, através de elementos de sistemas de manufatura parametrizáveis, o que permitiu que tomassem o primeiro lugar das linguagens de simulação no desenvolvimento de modelos de sistemas produtivos industriais TORRES (2001).

A disponibilização de mais sistemas de simulação ainda mais amigáveis, de plataformas de hardware mais econômicas e poderosas e de avanços metodológicos permitiu que a simulação se desenvolvesse mais rapidamente tanto em número de usuários quanto em capacidade.

4.10 Modelos

O modelo é o corpo de informações sobre o sistema, ou seja, é a representação do sistema real que é utilizada para realização do estudo de simulação, ele deve conter todos os elementos que compõem o sistema real que são relevantes para as informações que se deseja obter, devendo assim, representar de maneira fidedigna o sistema efetuado, de forma a garantir a qualidade das informações obtidas pela simulação.

PIDD (1998) define modelo como uma representação externa e explícita de parte da realidade, vista pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade.

Para o estudo que se pretende realizar o projetista deve, além de escolher as informações relevantes para a construção do modelo, deve levar em consideração qual o nível de abstração e quais ferramentas de modelagem adequadas para o propósito em questão.

O processo de construção de um modelo para simulação varia de acordo com o tipo de simulação a ser estudada. Há ponderações fundamentais para determinadas situações e, mudando-se o enfoque de estudo, estas mesmas ponderações passam a ser dispensáveis em novas situações. Os propósitos do uso de modelos são muitos, dentre eles, PORTO&MIRANDA (1998), destacam:

- Permite ao investigador organizar suas crenças teóricas, suas observações empíricas e deduzir as implicações lógicas desta organização;
- Permite uma maior compreensão do sistema;
- Mostra as características mais relevantes;
- Aumenta a velocidade em que a análise pode ser feita;
- Permite testar as modificações do sistema;
- É mais fácil de manipular;

- Permite o controle de mais fontes de variação;
- É geralmente menos custoso.

Não há testes simples para estabelecer a validade de um modelo. Validação é um processo indutivo, no qual o modelador extrai conclusões acerca da sua exatidão baseada nas evidências viáveis. Reunir evidências para determinar a validade do sistema está largamente associado ao exame da estrutura modelo.

4.10.1 Tipos de modelos

Os modelos podem ser classificados de vários modos. Há os modelos físicos, como o modelo, réplica em escala reduzida, de um trem. Há os modelos esquemáticos que incluem diagramas, mapas e plantas. Há os modelos simbólicos e os modelos matemáticos, equacionados. Alguns são estáticos outros são dinâmicos.

Um modelo estático omite o tempo ou descreve o estado do sistema em um dado momento. Por outro lado os dinâmicos reconhecem explicitamente a passagem de tempo. Uma outra distinção se refere aos modelos determinísticos e estocásticos. Num modelo determinístico entidades mantêm relações matemáticas entre si. Como conseqüência essas relações determinam completamente as soluções. Num modelo estocástico, pelo menos parte da variação é de natureza aleatória. Assim podemos, no máximo, obter soluções médias pelo uso desses modelos.

Os modelos podem ser divididos em quatros categorias: escala, simbólicos, analíticos e de simulação, segundo BANKS & CARSON (1984).

- **Modelos em Escala:** classificados como modelos físicos, são reproduções do sistema real construída para representar fisicamente, e com alto grau de identidade, parte do mundo real. Estas construções são bastante úteis para se analisar aspectos estéticos, estruturais e mesmos funcionais do elemento real que seriam difíceis ou impossíveis de serem efetuados com este último.
- **Modelos Simbólicos:** são as representações características de fluxogramas e cartas de processo, que se utilizam símbolos para representar ações e seqüências de atividades. Esses modelos têm baixo custo de realização e com os avanços dos sistemas computacionais podem ser feitos de forma rápida, reproduzida e

modificados facilmente. São muito utilizados para representar processo lógico, fluxos de materiais e arranjos de equipamentos.

- **Modelos Analíticos**: ou modelos matemáticos, fornecem soluções quantitativas para formulações matemáticas. Estes modelos podem ser estáticos, suas condições não alteram com o tempo, ou dinâmicos também podem ser determinísticos ou probabilísticos (quando consideram variações aleatórias).
- **Modelos de Simulação:** também chamados modelos matemáticos dinâmicos numéricos, são modelos com alto grau de reprodutibilidade de sistemas reais que possuem intrinsecamente um embasamento matemático que pode aceitar valores determinísticos e estocástico. Entre suas vantagens está a sua capacidade de avaliar um mesmo modelo sob diversas condições.

4.10.2 Objetivos de um modelo

Estes objetivos são genéricos, dependendo do objetivo da investigação, um sistema pode ser visto e modelado de diferentes formas. Um modelo representa um sistema real, porém somente com relação ao objetivo específico para qual o estudo é feito. Muitos modelos diferentes de um mesmo sistema podem ser feitos, sendo que cada um enfocará uma meta particular ou uma proposta. A proposta de um modelo de simulação é integrar conjuntos de objetos desconectados e suas relações num todo coerente que mostrará os efeitos da interação desta relação.

Uma vez que se lida com um programa de computador e não com o sistema real, geralmente é fácil, rápido e barato de se obter respostas para várias perguntas sobre o modelo e o sistema simplesmente manipulando as entradas e saídas deste programa, esclarecem KELTON et al (1998).

4.11 Fatores de fracasso

O processo de desenvolvimento de um estudo de simulação não está livre de erros, contratempos e problemas, ULGEN et al (1996) apresentam alguma dos principais fatores de fracasso nos projetos e estudos de simulação:

- **Formulação do problema:** falha ao entender o problema, na declaração correta das hipóteses iniciais e sobre o funcionamento real do problema;
- **Determinação dos objetivos:** falha ao estabelecer as medidas de desempenho de interesse, não estabelecer bases para a comparação dos resultados, não estabelecer todas as alternativas que serão consideradas;
- **Durante a construção do modelo:** falha ao não conseguir iniciar o modelo simples e então acrescentar detalhes, falha ao simular sintomas e não causas, dedicar mais tempo ao modelo do que ao problema;
- **Coleta de dados:** obter dados sumarizados quando se precisa de valores individuais, coletar dados em excesso; coletar dados irrelevantes, assumir que o cliente saiba quais os dados possui;
- **Verificação:** não planejar a verificação, não executar o modelo em todos os seus detalhes importantes, não verificar a coerência das saídas apresentadas pelo modelo; não realizar a documentação durante o processo;
- **Validação:** não realizar qualquer validação, parar ou terminar o processo prematuramente;
- **Projeto experimental:** realizar poucas replicações, superestimar a credibilidade dos dados de saída, utilizar um tempo de replicação insuficiente;
- **Rodadas de produção e análise:** fornecer estimativas pontuais, desconsiderando intervalos de confiança, interpretar erroneamente os resultados estatísticos;
- **Documentação e criação de relatórios:** não descrever adequadamente as hipóteses do modelo, não descrever adequadamente a metodologia e algoritmos usados;
- **Implementação:** não ter envolvido o cliente nas fases anteriores, não considerar suporte ao cliente depois da entrega do modelo.

EESC-USP Biblioteca CAMPUS DE S. CARLOS

5. ESTUDO DE CASO

5.1 Metodologia

O estudo de caso segundo GODOY (1995), é caracterizado por ser um tipo de pesquisa qualitativa com o objetivo de proporcionar uma vivência da realidade por meio da discussão, análise e tentativa de solução de um problema real. Esse modelo também é adotado quando o estudo envolve fenômenos de difícil controle dos eventos, e quando direcionado a problemas atuais que só poderão ser analisados dentro do contexto real.

Para o autor, os pesquisadores qualitativos estão preocupados com o processo e não simplesmente com os resultados ou produto. Não é possível compreender o comportamento humano sem a compreensão do quadro referencial (estrutura), dentro do qual os indivíduos interpretam seus pensamentos, sentimentos e ações. A observação e a entrevista são empregadas como técnicas fundamentais desse modelo de pesquisa.

Seus relatórios apresentam estilos simples e mais informal, podendo ser uma narrativa ou ilustrações acompanhadas de citações, ou ainda, exemplos descritos conforme informações do sujeito. Também acompanham desenhos, colagens ou qualquer artificio que esclareça o entendimento.

O desenvolvimento do estudo de caso pode ser baseado em um problema conhecido ou que surgiu ao acaso para o pesquisador, porém direcionado por uma temática suficiente às decisões iniciais, como por exemplo: qual a unidade a ser estudada? Qual é o setor de produção? A abordagem será centrada numa única organização ou o estudo será comparativo? As decisões também devem determinar o que e quando observar, os tipos de documentos e suas análises, além das fontes de informação, fontes estas, fundamentais para obtenção dos dados requeridos.

Uma vez definido estes aspectos, o próximo passo será a negociação do local escolhido, devendo ser acertado de maneira formal, com o endosso de seu principal responsável. Quanto ao papel do pesquisador no ambiente de pesquisa, o autor expõe a necessidade de esclarecimento do principal objetivo às pessoas diretamente envolvidas no fornecimento das informações, evitando assim que seja confundido com algum

elemento de fiscalização de suas atividades o que provocaria uma rejeição natural à presença do pesquisador no local de trabalho.

A organização de todo o material coletado é uma tarefa difícil e exige o domínio completo tanto do conteúdo como da metodologia adotada pelo pesquisador.

Definido os passos anteriores, pode-se iniciar o trabalho de campo. Nesta fase, deverão ser coletados os dados dos fenômenos em suas formas naturais, utilizando-se de técnicas como a entrevista, a observação, as medições e a análise desses dados apurados. O método da observação tem uma grande importância para o estudo de caso, pois, com essa técnica, procura-se entender as aparências, eventos e/ou comportamentos. Embora o pesquisador deva manter uma perspectiva da totalidade, é importante ter claro seus focos de interesse. Sua recomendação procura evitar a coleta excessiva de informações sem utilidade para o estudo. Deste modo, o pesquisador vai a campo com o intuito precípuo de captar o fenômeno em estudo a partir da perspectiva das pessoas nele envolvidas, considerando todos os pontos de vista relevantes. Para isto, vários tipos de dados são coletados e analisados visando à dinâmica do fenômeno.

5.2 Caracterização da empresa

Muitos dos princípios que tem orientado a empresa há mais de um século, incluindo a ênfase na satisfação do cliente, integridade incondicional e uma dedicação em cumprir com suas promessas foi encorajada pelo seu fundador o professor Warren Johnson. A missão da Johson Controls de sempre exceder as expectativas de seus clientes foi crucial para seu desenvolvimento e sucesso.

A empresa tem uma forte presença mundial, possuem mais de 500 instalações em todo mundo, baseada em Milwauke, WI e conta com mais de 110.000 funcionários.

No ano de 2001 ocupou a posição de número 115 na revista Fortune 500 com US$ 18.4 bilhões de dólares em vendas. Sua atuação está dividida basicamente em dois segmentos industriais: sistemas automotivos e sistemas inteligentes de controles automatizados para edifício. Especificamente no setor automotivo, conta com mais de 77.000 funcionários, com 290 instalações em 30 países, o que a torna um parceiro estratégico para o desenvolvimento mundial das montadoras.

Atualmente as montadoras terceirizam suas necessidades de bancos para a Johnson Controls, objetivando a redução de custos, melhoria da qualidade e aprimoramento do conforto; sendo que a responsabilidade vai além de apenas fabricar o assento completo e seus componentes, mas sim de criar, fazer o projeto, integrá-lo com as demais peças do veículo e fazer sua entrega no mundo todo.

A Johson Controls está sempre desenvolvendo novos produtos. Dentre todos os fornecedores de interiores de automóveis e o que possui maior número de patentes e é também o maior fornecedor independente de sistemas de interiores e assentos para automóveis do mundo. Entre seus clientes, figura a BMW, Daimler-Chysler, Ford, General Motors, Honda, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Renault, Rover, Toyota e Volkswagem. Maiores informações e detalhes sobre a empresa podem ser obtidos através da sua página na internet, no seguinte endereço: www.jci.com

No Brasil, a empresa começou suas operações no ano de 1995 e desde então, empresa não parou mais de crescer e hoje são 160 mil m^2 de área fabril com 70 mil m^2 de área construída, com um quadro de 1770 funcionários, divididos em seis parques fabris, nas cidades de São Bernardo do Campo (SP), Santo André (SP), Pouso Alegre (MG), Juíz de Fora (MG), Curitiba (PR) e na cidade de São José dos Campos (SP), sendo que a escolha destas cidades para instalação está relacionada com a proximidade de seus principais clientes no país.

O desenvolvimento e controle de qualidade dos produtos são constantes, há investimentos em treinamentos, desenvolvimento de processos de fabricação, sempre buscando atender e superar as exigências de cada produto em aplicações específicas.

A empresa em Abril de 1998 recebeu a certificação ISO 9002 & QS 9000 e em Maio de 2002 certificação TS 16949, cabe também ressaltar a atenção e o respeito pelo meio ambiente, e em Dezembro de 2000 a empresa foi agraciada com o Selo Verde, ISO 14001.

A empresa recebe todos os componentes de seu produto e atua como uma montadora, opera "com produção" just in time, abastecendo duas das principais montadoras do país, tendo o seu lay out definido por produto e cliente.

O levantamento de dados para realização deste trabalho foi feita na planta de São José dos Campos, na linha de Assentos Dianteiros.

5.3 Processo de fabricação de bancos

Há diversos processos de fabricação de bancos, sendo *Know How* de cada empresa. Entre as inúmeras operações realizadas para se montar um banco, para este trabalho foi selecionada a operação de montagem da bucha no apoio de cabeça; para a escolha da operação foram eliminados candidatos que traziam muitas variáveis e considerações complexas relacionadas com MBS, ou seja, foram excluídas as operações que não fossem facilmente modeladas e simuladas. Priorizou-se aquelas operações mais otimizadas em termos de projeto e de processo. Uma vez que o objetivo do trabalho é o de se verificar a possibilidade da utilização de um software para se estimar a força, não queríamos ter outras variáveis interferindo na análise, permitindo assim o isolamento do problema nos fenômenos de força que se pretendia analisar.

A operação de montagem da bucha ao suporte e uma submontagem da etapa de vestir a capa & fechar capa motorista, neste trabalho nos restringiremos à ela.

Por questões de sigilo industrial não será apresentado na íntegra todas as seqüências e etapas do processo, conforme acordado com a empresa.

Nos anexos é apresentado as "Folhas de Descrição de Operação", elas são o roteiro para que os operadores executem as atividades de maneira correta. Os anexos são:

- ED-003-M/P-Vestir capa / fechar capa;
- ED-004-M/P-Vestir capa / montar back panel.

Podemos através dos anexos ter uma idéia geral de algumas etapas do processo de fabricação de Bancos e sua complexidade.

Abaixo temos uma foto de um banco, onde podemos localizar a bucha e o encosto, que são as áreas de pesquisa deste trabalho.

Figura 5.1 - Esquema Macro de um Banco e a localização da Bucha e Encosto.

5.3.1 Descrição da operação: vestir capa & fechar capa motorista.

Esta célula de trabalho opera em 2 turnos, composta por 8 funcionários, sendo que todos exercem todas as funções da célula, são chamados de funcionários multidisciplinares. Existe um *job rotation* entre eles a cada 1 hora.

A operação vestir capa & fechar capa motorista é subdividida nas seguintes operações:

- Posicionar a manta de algodão sobre a tela de arame, grampeando-a em 2 pontos no 5 e 10 arame;
- Colar um isolador largo de espuma na estrutura, na parte inferior;
- Colar dois isoladores finos de espuma na estrutura, sendo 1 em cada lateral;
- Pegar capa, conforme etiqueta e posicioná-la no dispositivo;

- Pegar estrutura encaixá-la e travá-la no dispositivo;
- Acionar pedal para fixar conjunto no dispositivo;
- Acionar o pedal, girar dispositivo e grampear o "bidin" traseiro em 4 pontos, sendo dois em cada lateral;
- Acionar botões;
- Fechar capa, encaixando o retentor interno na estrutura e o retentor externo na capa. Acionar pedal para liberar o conjunto do dispositivo;
- Posicionar conjunto no dispositivo para montar buchas apoio de cabeça;
- Montar buchas de apoio cabeça;
- Colocar etiquetas de identificação;
- Colocar o encosto montado na esteira, fazer acabamento final junto ao encosto.

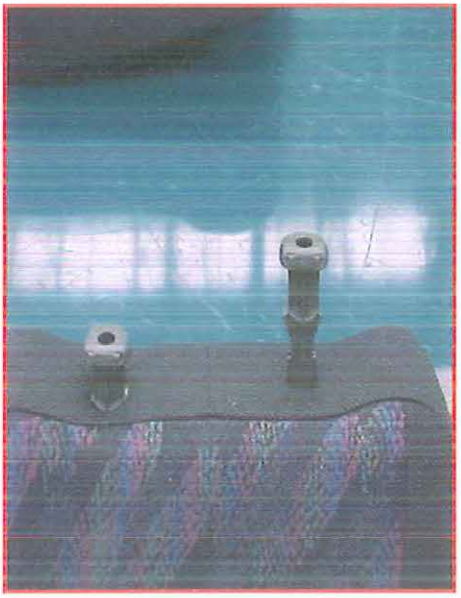
5.3.1.1 Descrição da sub operação: montagem das buchas de apoio de cabeça.

O processo de montagem inicia-se pelo abastecimento do dispositivo de apoio para o encosto, vide figura 5.2. Em seguida, o operador pega as buchas que serão inseridas; não existe um padrão na ordem da pega das buchas, cada operador estabelece seu método de trabalho, ou seja, ora se coloca a bucha direita ora a esquerda, nos furos do encosto.

Depois da inserção das buchas o operador da uma "batida" com o martelo inserindo-a no encosto, vide figura 5.3.

a)

b)



c)

d)

Figura 5.2 - Dispositivo para inserção da bucha no encosto, foto a) vista lateral e b) frontal/ nas foto c) temos a vista frontal das buchas e na d) uma vista lateral onde verificamos o encosto apoiado no dispositivo.

a)

b)

Figura 5.3 - Operação de montagem da bucha no encosto, a) operação em execução e b) montagem finalizada.

Esta força despendida para a inserção da bucha no encosto foi o foco da coleta para a simulação. A coleta foi realizada com o auxílio de um Dinamômetro.

Os resultados foram estimados pela média aritmética das medições, as quais foram repetidas cinco vezes.

Tabela 1 – Coleta da força aplicada para inserção da bucha

Medições	Travar a Bucha (N)
1	38,9
2	38,9
3	38,8
4	38,8
5	38,8
6	39,7
7	39,8
8	38,9
9	38,7
10	39,7

5.4 Descrição do modelo computacional ADAMS

O modelo para simulação deste trabalho foi obtido usando-se um programa Multicorpos numérico chamado ADAMS que possui rotinas para a geração das equações e para a solução do sistema (ADAMS/Solver). Este programa possui aplicativos de pré e pós-processamento (ADAMS/View). Estas ferramentas facilitam a criação do modelo e a posterior simulação com análise e apresentação gráfica dos resultados. Durante uma simulação, o ADAMS descreve a posição e a orientação de todas as partes do sistema mecânico em termos de seis coordenadas, três translacionais e três angulares. Armazena os deslocamentos, velocidades e acelerações, dependentes do tempo, no vetor de estado. O vetor de estado também contém os valores correntes das reações e das forças aplicadas em cada uma das partes nas posições inerciais e nos vínculos. Assim, o vetor de estado fornece uma descrição completa do sistema mecânico para a simulação dos mesmos.

5.5 Sistemas multicorpos

Um Sistema Multicorpos (MBS) é definido como um sistema mecânico que possui dois ou mais corpos com vários graus de liberdade. Os movimentos de um MBS são governados por expressões matemáticas chamadas de equações dinâmicas. Estas equações são compostas por um conjunto de equações diferencias, eventualmente acrescido de algumas equações algébricas. As equações diferenciais são expressões das leis físicas (leis de movimento de Newton) que descrevem os movimentos dos corpos rígidos e as equações algébricas levam em consideração restrições impostas pela geometria do sistema ou de seus movimentos, tais como a ligação de dois corpos por juntas, ou mesmo características peculiares de contato entre dois corpos ALBUQUERQUE (2003).

5.5.1 Modelagem do sistema

A técnica de modelagem do MBS pode ser utilizada para realizar a concepção do modelo matemático de qualquer sistema mecânico que possa ser modelado fisicamente como um conjunto de corpos rígidos interligados por juntas, influenciados por forças direcionados por movimentos preestabelecidos e limitados por restrições.

As equações de movimento para estes sistemas são complexas e difíceis de serem escritas manualmente, mesmo para sistemas compostos por um número reduzido de corpos interligados, caso deste trabalho. Foi portanto, um grande avanço, a possibilidade de desenvolvimento das equações de movimento para MBS, através do formalismos que permite a geração baseada em computador a partir de informações

A estratégica adotada para desenvolver as equações pode ser resumida pelas seguintes etapas:

- **Corpos Rígidos:** Uso de seis coordenadas para descrever o posicionamento de cada corpo rígido. Representação dos termos inerciais em função de 6 deslocamentos, 6 velocidades e 3 quantidades de movimento angulares.
- **Restrições de Configuração:** Adição de equações para cada tipo de restrição. Atualização das equações de equilíbrio de forças, com forças de restrições (forças generalizadas).
- **Forças:**Definição de equações auxiliares para cada tipo de força externa aplicada. Atualização das equações de equilíbrio de forças, com as forças externas aplicadas.

As equações de movimento obtidas, são equações diferenciais não-lineares de segunda ordem, cuja variável independente é o tempo. Para resolvê-las adota-se um integrador numérico denominado GSTIFF, do qual é o mais utilizado e testado integrador do ADAMS. No trabalho de ALBUQUERQUE (2003) temos todas as considerações matemáticas.

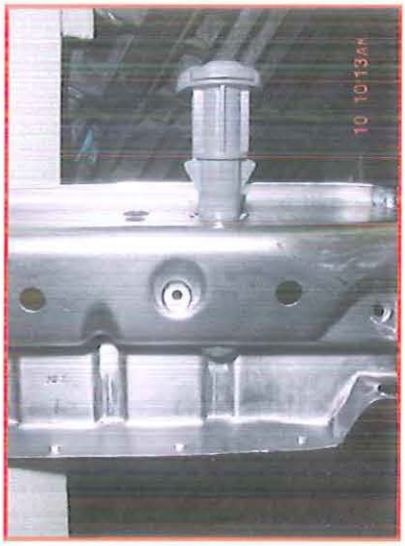
5.6 Integradores

Existem dois tipos de integradores no ADAMS para resolver as equações de movimento e de restrições dos sistemas modelados, os rígidos (stiff) e os não rígidos (non-stiff). Um integrador rígido é aquele que pode manipular numericamente sistemas de corpos rígidos, já o integrador não rígido é mais eficiente para a manipulação numérica de corpos flexíveis. Para integradores rígidos, como é o caso do GSTIFF, usado no presente trabalho, o passo de integração é limitado ao inverso da maior freqüência ativa do sistema. Para os não rígidos o passo de integração é limitado ao inverso da maior freqüência, ativa ou não do sistema. Devido ao fato de muitos sistemas mecânicos serem considerados corpos rígidos, o integrador padrão do ADAMS é GSTIFF. Todos os integradores rígidos do ADAMS são baseados no BDF "Backward Difference Formulate" e integradores multi-passos. A solução para estes integradores ocorre em duas fases: uma predição seguida de uma correção.

5.7 Simulação da operação

Para efeito da simulação, foi considerada apenas a inserção da bucha no encosto metálico; descartamos a espuma e o tecido que formam o conjunto completo do banco montado.Na figura 5.4 podemos ver este detalhe.

a)



b)

Figura 5.4 - operação de montagem da bucha no encosto,

A bucha foi modelada como sendo uma barra cilíndrica preservando os parâmetros inerciais; todas as informações para modelagem bucha foram retiradas do desenho 2D, peso e aspectos dimensionais. O encosto do Banco, especificamente na região de encaixe, modelou-se como sendo um furo em uma placa de aço e para emular a rigidez desse encaixe, modelou-se duas hastes unidas por molas e junta de revolução.

Com relação a rigidez adotadas, as mesmas foram consideradas através de consulta ao desenhos 2D e também de consulta feita ao subfornecedor da JCI.

Os valores coletados no processo foram considerados como os valores de referência para a simulação. Na figura abaixo, podemos ver as principais considerações feitas para a simulação, é possível se verificar os contatos entre a bucha e as duas hastes com a placa de aço, a força aplicada.

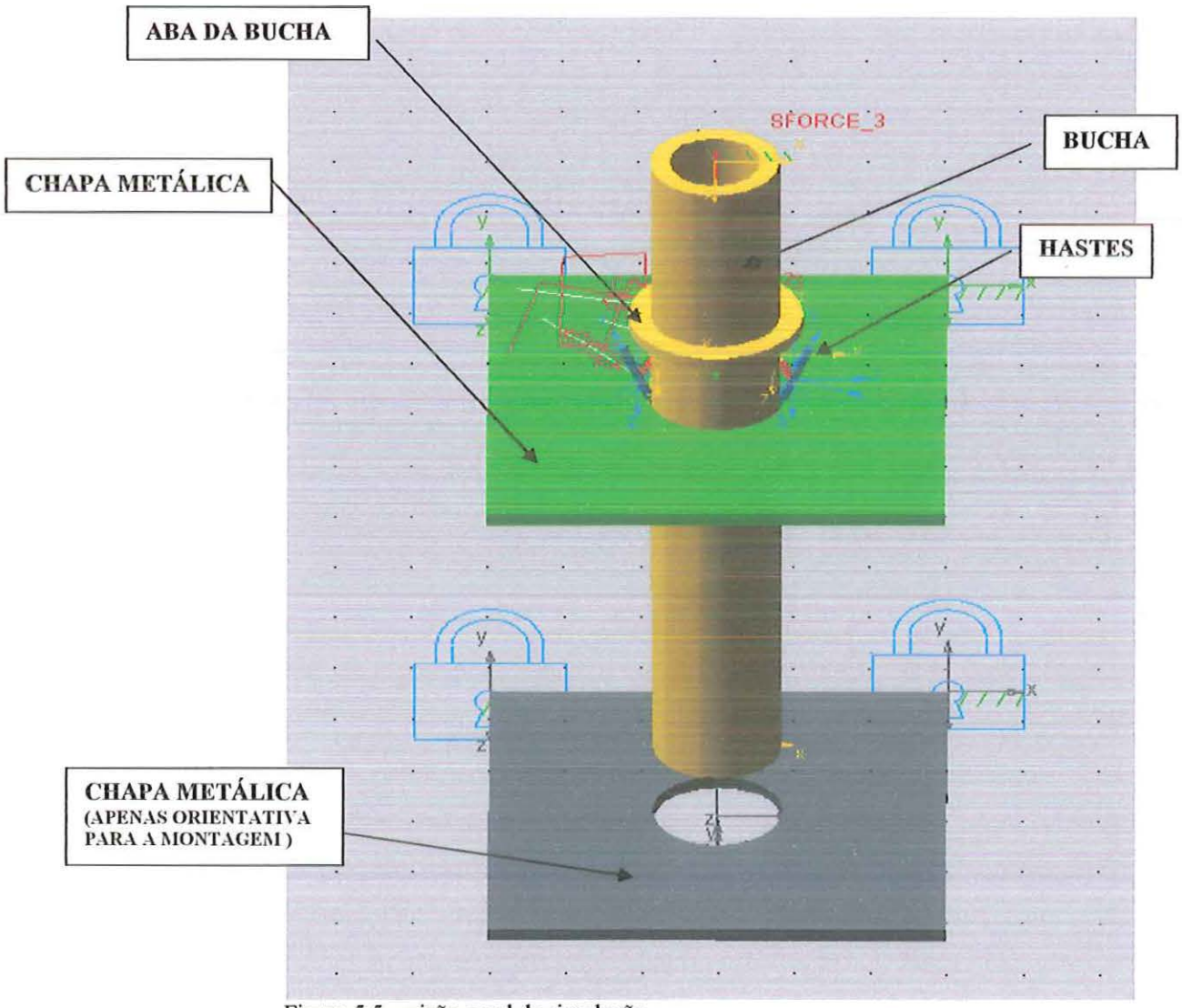
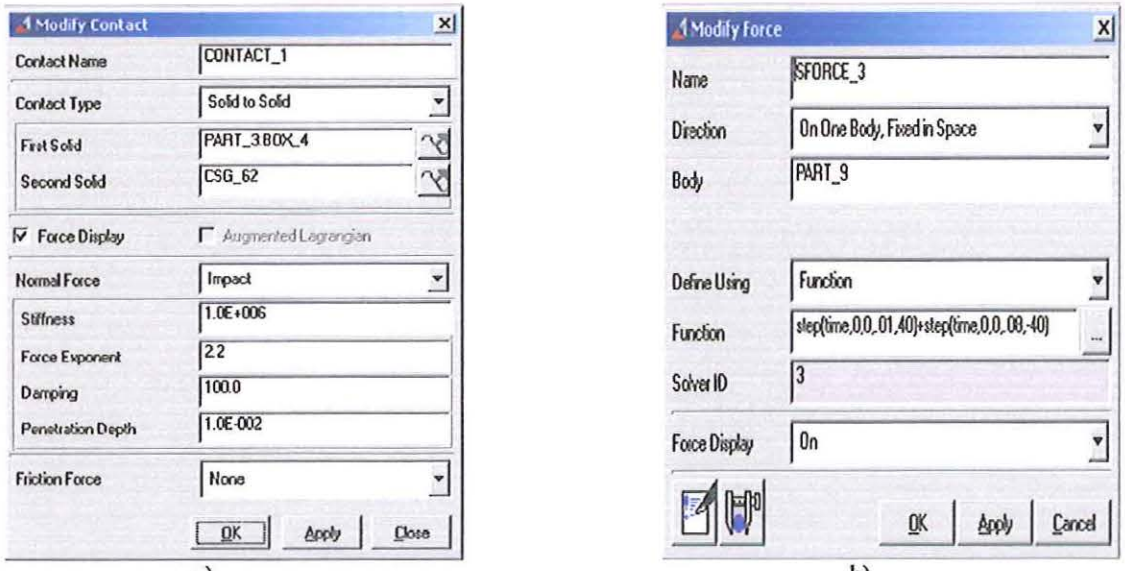
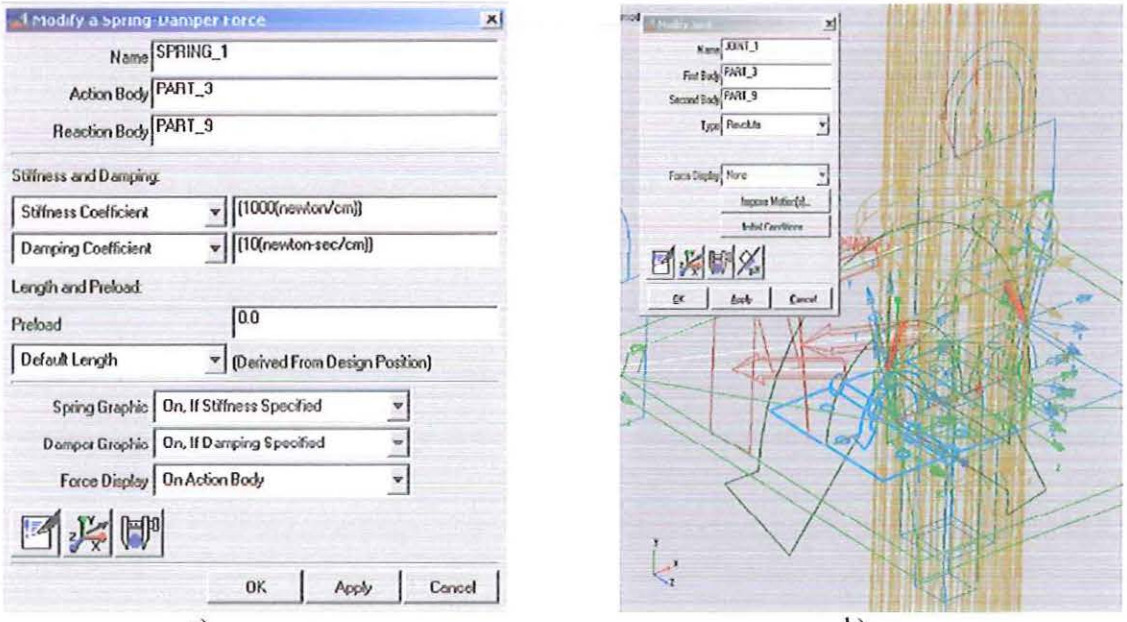


Figura 5.5 – visão geral da simulação.



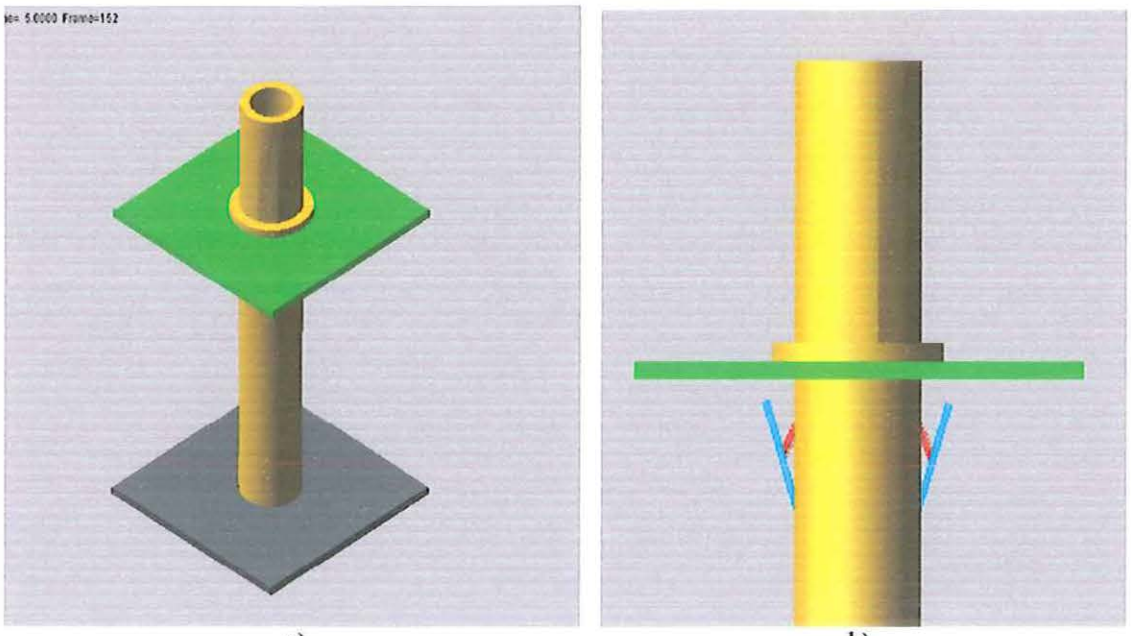
a) b)

Figura 5.6 -- Caixa de entrada de valores para simulação no ADAMS; na figura a) verificamos as considerações feitas para o Contato 1, o mesmo foi feito para os outros dois contatos. Na figura b) temos as considerações feitas para a força de impacto: "batida do martelo".



a) b)

Figura 5.7 - Caixa de entrada de valores para simulação no ADAMS; na figura a) verificamos as considerações feitas para a mola 1, igualmente para mola 2. Já na figura b) temos as considerações feitas para a Junta de revolução das hastes da bucha.



a) b)

Figura 5.8 - Detalhes da simulação após a inserção da Bucha no Encosto, na figura a) temos uma visão total da simulação, na figura b) podemos ver com detalhes o retorno da haste na posição inicial após a inserção no encosto.

5.8 Resultados da Simulação

São apresentados alguns gráficos que retratam os detalhes da simulação. No gráfico da Figura 5.9 pode ser visto a magnitude da força de impacto, batida do martelo, aplicada à bucha, ocasionando a inserção desta na parte superior da estrutura do banco.

Para esta simulação foi utilizada uma força de 40 N que esta dentro do tempo de 0 à 0,08s reproduzindo a força que um operador aplica durante a operação real.

A diferença entre a força aplicada e a força medida na simulação, provavelmente é devido a deformação elástica que a peça sofre durante a força de impacto e a inserção.

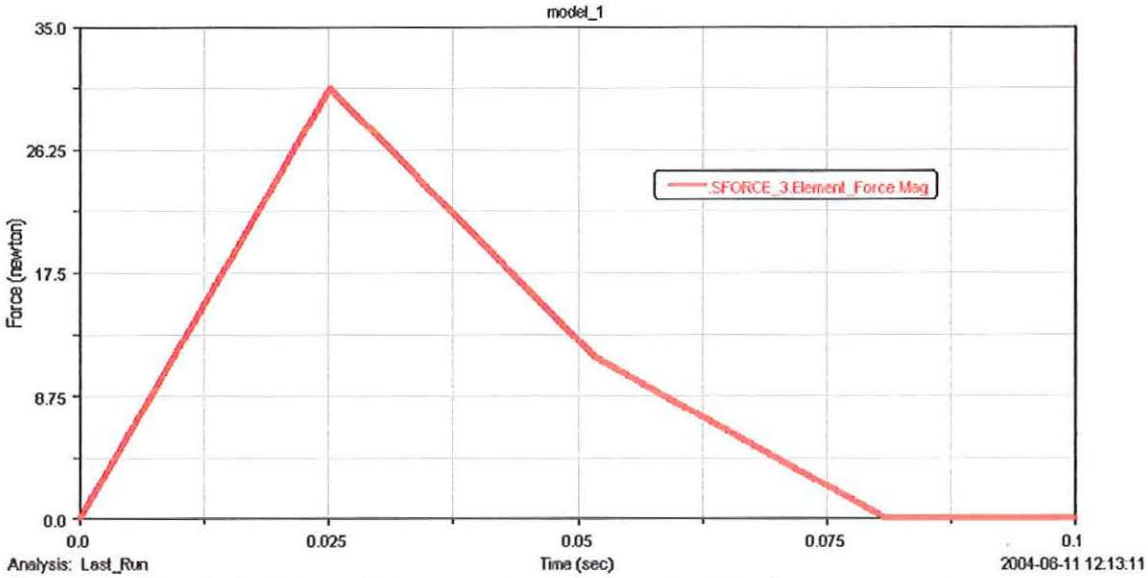


Figura 5.9 – Simulação da força de impacto aplicada na inserção da bucha na estrutura do banco.

Após a aplicação da força de impacto, a bucha move-se 80mm em direção ao seu alojamento conforme o gráfico da Figura 5.10, ou seja, sai da posição inicial – 31,6cm – para a posição de alojamento da peça – 30,8cm – referentes à origem adotada. Para esta etapa da simulação, foi imposto que as hastes se posicionassem no início do alojamento, ou seja, a bucha já esta posicionada do ponto de partida para a inserção. Neste gráfico também é apresentada a velocidade e a aceleração da bucha.

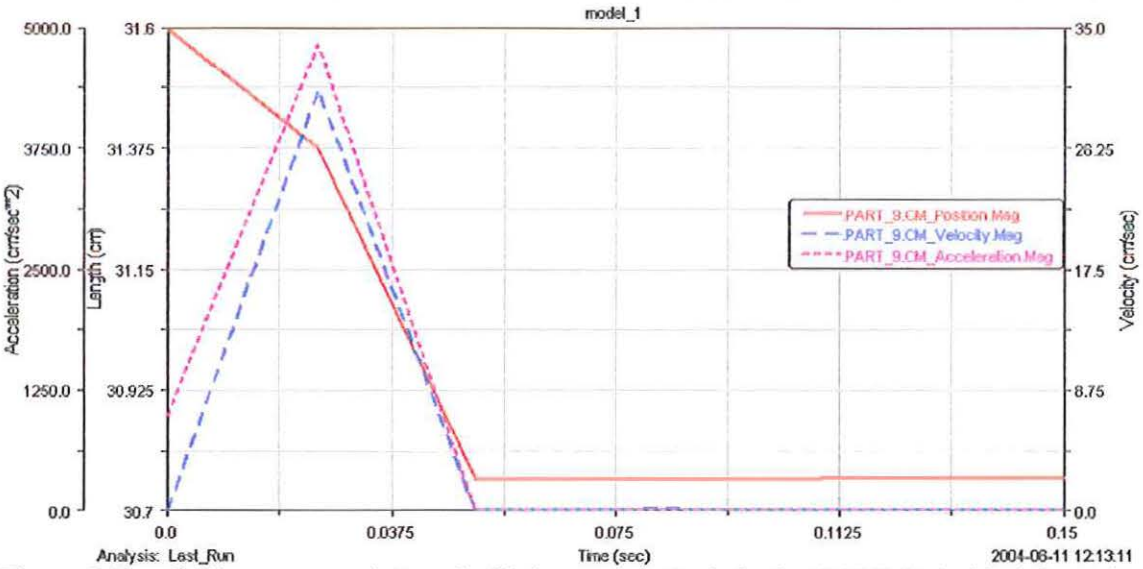


Figura 5.10 – Gráfico com a posição, velocidade e aceleração da bucha (PART_9) devido à força de impacto aplicado.

Para esta simulação de inserção da bucha com as hastes, a bucha teve que ser considerada como uma união de três corpos: um corpo principal para a bucha e dois corpos simulando as hastes, Figura 5.8.

Para a união das hastes com o corpo principal; foi considerada uma junta de revolução livre com uma mola unida entre a bucha e a haste, representando com perfeição o modelo real.

No gráfico da Figura 5.11 podemos ver a deformação das molas 1 e 2 (SPRING_1 e SPRING_2) e as forças impostas durante a inserção e, também, o tempo de inserção das haste: 0,05s. Após este tempo, as molas retornam para aposição original. Foi considerada uma rigidez de 1000N/cm (ou seja, 100N/m) com amortecimento de 10 N/cm (ou 1Ns/m) para as molas.

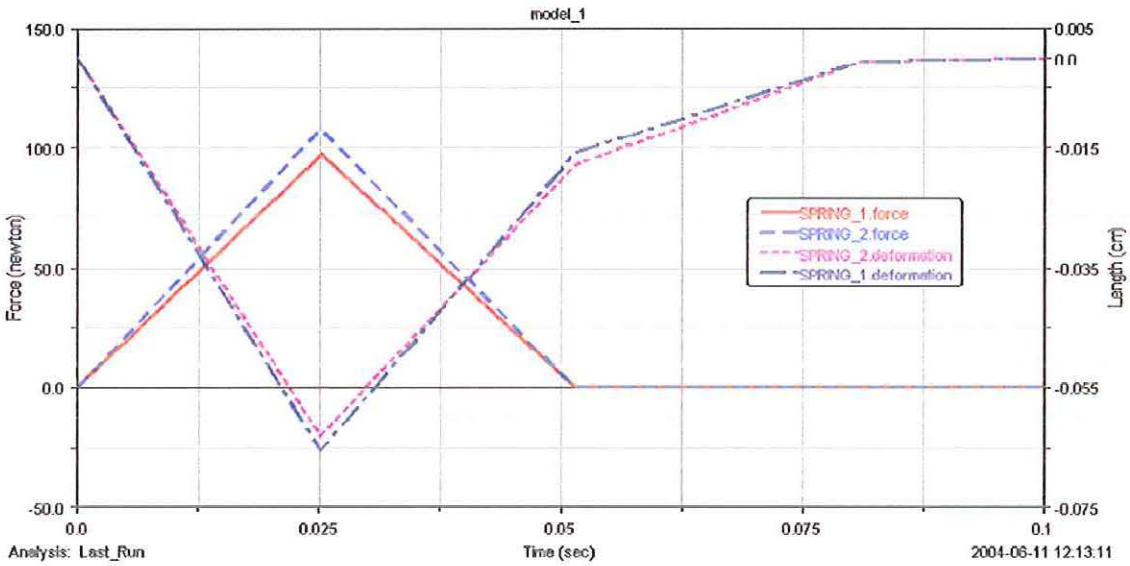


Figura 5.11 – Gráfico de força das molas das hastes durante a inserção da bucha no alojamento.

Comparando o gráfico da Figura 5.12 com o gráfico da Figura 5.11, podemos verificar, em módulo, as forças de ação e reação entre as hastes da bucha com a estrutura do banco, placa de aço.

A diminuição dessa força na simulação é função do amortecimento imposto na mola o qual representa à deformação elástica do material das hastes durante a inserção.

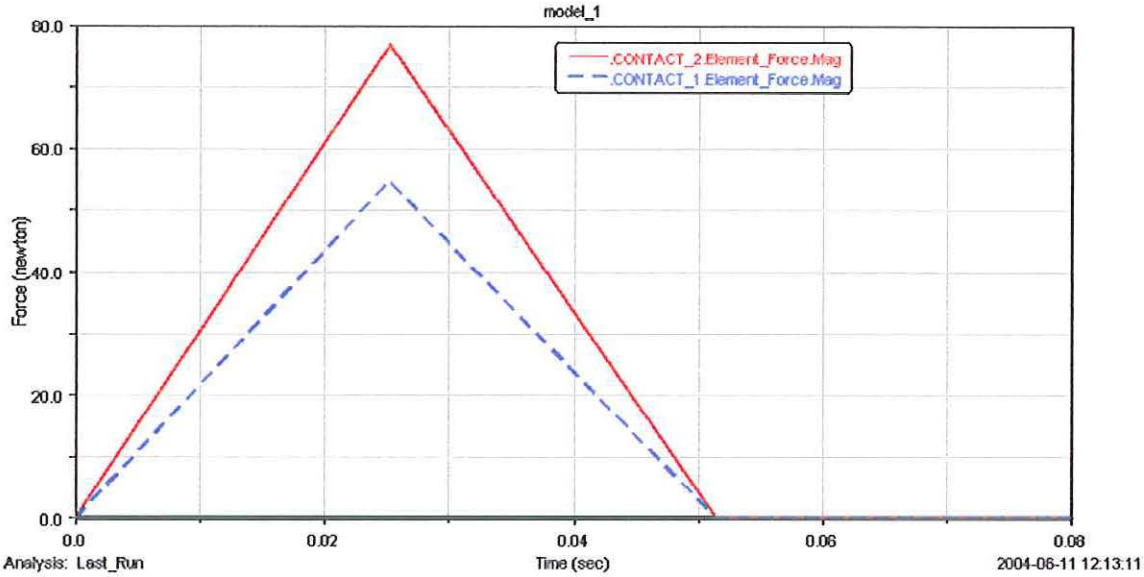


Figura 5.12 – Força de contado das hastes das buchas com a estrutura do banco.

No gráfico da Figura 5.13, mostra a força de contato da aba da bucha com a estrutura do banco. Esta força ocorre após a inserção das hastes da bucha no alojamento, ou seja, começa em 0,025s até cessar a força de impacto em 0,08s, mantendo uma pequena força residual de contato na união bucha-estrutura.

Também podemos visualizar este comportamento através do gráfico da Figura 5.14. Neste gráfico, também repetimos as curvas das forças de contato exercidas pelas hastes. Assim podemos observar que no momento em que as hastes iniciam a saída do encosto, chapa metálica, a aba da bucha começa o contato com o encosto.

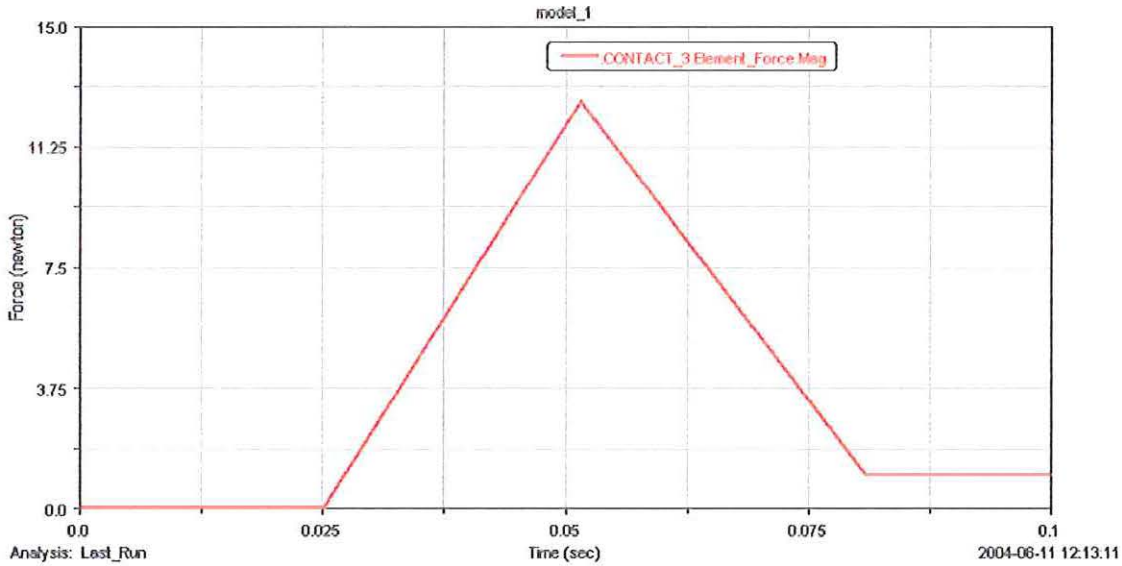


Figura 5.13 – Força de contato da aba da bucha na estrutura do banco durante a sua inserção.

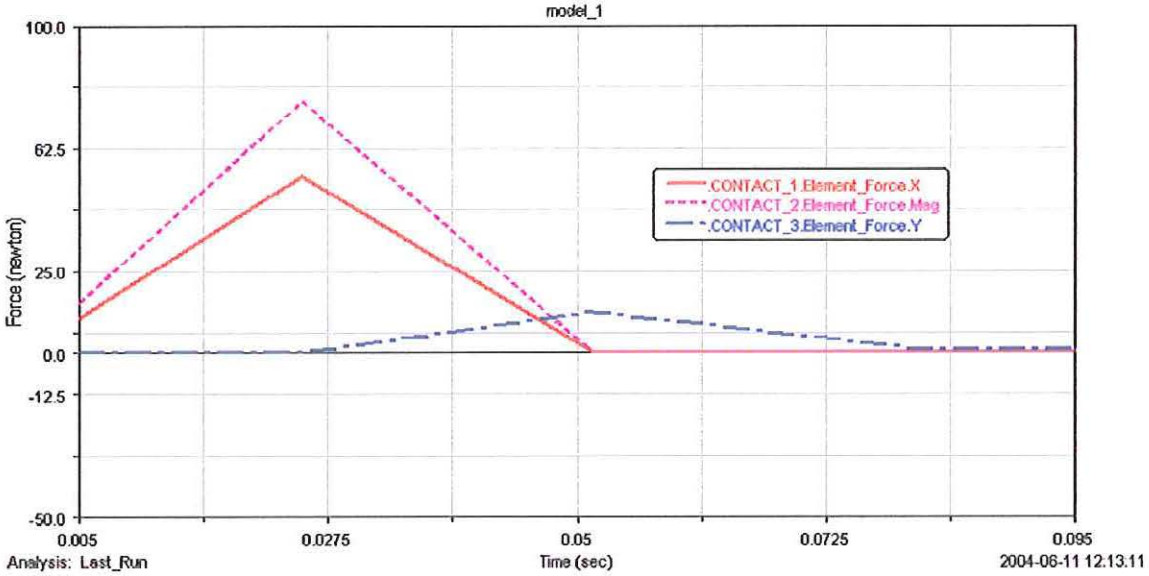


Figura 5.14 – Gráfico da simulação dos contatos das haste da bucha (CONTACT_1 e CONTACT_2) e do contado da bucha no seu alojamento (CONTACT_3).

6. CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho, foi o de explorar a utilização de um software de modelagem e simulação de sistemas multicorpos (MBS), para simular uma operação real de montagem. No contexto simplificado deste estudo deu-se um enfoque para os esforços (forças) aplicados pelo montador durante uma específica operação de montagem. Tradicionalmente o MBS é utilizado para projetar sistemas mecânicos (prototipagem virtual), concentrando-se no comportamento dinâmico e nos parâmetros que influenciam o comportamento do sistema, como por exemplo: velocidades, acelerações, ressonância, modos de vibração, ligações entre partes, configurações de equilíbrio estático, etc. A aplicação aqui proposta de utilização de MBS em um processo de montagem representa uma aplicação não convencional do método.

Alguns aspectos relacionados à execução do projeto merecem ser destacados:

O estudo de caso foi realizado em uma empresa do setor automotivo. Na escolha da operação foram eliminados candidatos que traziam muitas variáveis e considerações complexas relacionadas com MBS, ou seja, foram excluídas as operações que não fossem facilmente modeladas e simuladas. Priorizou-se aquelas operações mais otimizadas em termos de projeto e de processo, permitindo assim o isolamento do problema nos fenômenos de força que se pretendia analisar. Através da filmagem da operação e da medição das forças aplicadas durante a "batida" e com o auxilio de desenhos 2D, conseguimos estimar todos os valores necessários e considerações físicas para a realização da modelagem e simulação.

Do ponto de vista computacional, os objetos virtuais precisariam se comportar como objetos reais e este foi um dos maiores desafios; conciliar o realismo com a interatividade, durante a simulação, pois a simulação deveria funcionar de forma confiável, sem emendas e em tempo real. Neste aspecto, os resultados obtidos deixaram um pouco a desejar, pois utilizamos apenas geometrias básicas disponíveis previamente no pacote do software para representação das peças reais.

Seria possível importar a informação geométrica do Encosto do Banco como também a da Bucha, ambas disponíveis em formato CAD; porém seria necessário o trabalho de um especialista para se fazer todas as considerações físicas necessárias para

se proceder a simulação; além da grande carga de trabalho necessária; por si só, esta etapa poderia ser uma linha de trabalho a ser explorada.

De maneira geral, qualquer pessoa que tente repetir a experiência, com a mesma abordagem, se deparara com as mesmas dificuldades; com algumas possíveis particularidades. A capacidade gráfica para criar movimentos complexos, geração de imagens e interações, em tempo real, cria uma carga de trabalho que está além dos limites tecnológicos atuais, que a rápida evolução tecnológica permitirá superar.

Outro aspecto muito importante seria a possibilidade de captura da aparência de objetos, a sensação, comportamento e retorno das forças, assim qualquer situação poderia ser antecipada e manuseada de forma correta, pois na simulação, conseguiríamos prever as dificuldades enfrentadas pelos operadores na situação real, como também, quais seriam os ajustes de rota, movimentos impostos por eles para minimizar qualquer imprevisto, ou seja, o quanto haveria de intervenção humana.

Os resultados deste trabalho consideram que o uso exclusivo de sistema computacional baseado em MBS, não atende por completo os propósitos desejados no exemplo específico, analisado neste trabalho. Para modelar as partes do mundo real, foi utilizada uma visão parcial e simplificada, onde o formato da simulação e os cuidados inerentes ao método e ao tipo de resposta extraída, foram decorrentes do objetivo, ou seja, são frutos da operação real de interesse e não da simulação em si própria.

Os benefícios que podem ser obtidos, são limitados com sua aplicação na empresa, pois investigamos apenas uma operação simples, e esta, já apresenta conforme mencionada toda complexidade envolvida no trabalho. Porém, cabe aqui mencionar um ponto extremamente positivo, que foi a reprodução da situação real na simulação do MBS, tanto na questão da força, aplicada para a inserção da Bucha no Encosto do Banco, como o tempo gasto para realizar da operação.

Neste momento, seria muito difícil de avaliar sua contribuição para considerações adequadas da capacidade e limitação humana; são muito restritas para poderem contribuir durante a fase de concepção do projeto, e assim, influenciar fortemente o desempenho no trabalho, refletindo nos índices de qualidade e produtividade como também na satisfação dos operadores.

Há muito ainda que se estudar e desenvolver; todos os pontos mencionados na conclusão, demonstram todo o potencial do sistema proposto, porém, depende de um tempo maior de pesquisa e compreensão sobre a influência de cada etapa do todo.

Sendo assim, conclui-se que o MBS é um ponto de partida, porém não atende todas as necessidades e expectativas, para a "MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS APLICADAS AO DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS DE PRODUTO: Estudo de caso em empresa fornecedora de bancos de automóveis".

Desprende-se desta conclusão a necessidade do desenvolvimento de novas ferramentas de apoio para o futuro. Precisaria ser desenvolvido / trabalhado uma ferramenta de apoio às decisões, através de um modelo representativos do sistema de produção e suas complexidades; capaz de lidar com as incertezas e complexidades e também um maior volume de informações.

REFERNECIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAO, J. (1993). *Ergonomia: modelo, métodos e técnicas – metodologia em ergonomia.* In:II Congresso Americano e VI Seminário Brasileiro de Ergonomia – Universidade de Brasília, Instituto de Psicologia, Brasília.

ADAMS REFERENCE MANUAL (1998). *Mechanical dynamics*, version 10.0.

ALBUQUERQUE, A.R.L. (2003). *Modelagem e controle de uma garra antropomórfica de robô.* 64p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

APQP (1994). *Advanced planning of quality products.* AIAG. Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation.

ARMSTRONG, T.J. (1986). *Ergonomics and cumulative trauma disorders.* Hand Clinics, 2:3, p. 553-565.

BACK, N. (1983). *Metodologia de projeto de produtos industriais.* Rio de Janeiro: Guanabara Dois.

BANKS, J.; CARSON II, J.S. (1984). *Discrete event system simulation* Englewwood Cliffs: Prentice Hall.

BANERJEE, P. (1998). *Special issue of design and manufacturing on virtual manufacturing* - Preface. IIE Transactions, v. 30, n. 7.

BARCLAY, I. (1992). *The new product development process: improving the process of new product development.* R&D Management, v.22,n. 4, p. 307-317.

BARREIRA, T.H.C. (1994). *Abordagem ergonômica na prevenção da LER.* Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, São Paulo, v.84, n.22, p.51-60.

BATALHA, M.O. et al. (1997). *Gestão Agroindustrial*. São Paulo: Atlas.

BEDWORTH, D.D. et al. (1991). *Computer integrated design and manufacturing*, New York: McGraw-Hill.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. (1991). *Design for assembly: selecting the right method*, New York: McGraw-Hill.

BOSCOLO, E.F.P. (2002). *LER/DORT e ações ergonômicas nas empresas: estudo de caso na industria calçadista*. 70p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2002.

BRANDÃO, J.S. (1984). *Desenvolvimento psicomotor da mão*. Rio de Janeiro: Enelivros.

CARTER, M. C.; SHAPIRO, D. C. (1984). Control of seqüencial movements: Evidence for generalized motor programs. *Journal of Neurophysiology*, 52: 787-796.

CASAROTTO, N.F. et al. (1999). *Gerencia de projetos & engenharia simultânea: organização, planejamento, programação, pert/cpm, pert/custom, controle, direção*. São Paulo: Atlas.

CHANG, K. H. et al. (1994). *Concurrent design and manufacturing for mechanical systems*. Concurrent Engineering Research and Applications, v. 7, n. 4, p. 290-308.

CLARK, K. B.; FUJIMOTO, T. (1991). *Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry*. Boston, HBS Press.

CLELAND, D.I..; KING, W.R. (1978). *Análise de sistemas e administração de projetos*. São Paulo: Pioneira.

COBO, G.V.A. (1994). *Estudo para a incorporação da ergonomia no processo de planejamento e desenvolvimento de produtos: caso de empresa fabricante de bens de*

consumo duráveis. 150p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1994.

COLE, K. J.; ABBS, J. H. (1988). Grip force adjustments evoked by load force perturbations of a grasped object. *Journal of Neurophysiology,* 60:4, p.1513-1522.

DIAS, J.L.P.A. (2000). *Integração da concepção ergonômica de máquinas e equipamentos na metodologia de projeto de produtos.* 100p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2000.

DINSMORE, P.C. (1999). *Transformando estratégias empresariais em resultados através da gerencia por projetos.* Rio de Janeiro: Qualitymark.

FERREIRA, C.L. et al. (1993). *Alternativas suecas, italiana e japonesa ao paradigma fordista: elementos para uma discussão sobre o caso brasileiro.* Seminário interdisciplinar sobre modelos de organização industrial, Política industrial e trabalho, ABET.

FLANAGAN, J. R.; OSTRY, D. J.; FELDMAN, A G. (1993). Control of trajectory modifications intarget-directed reaching. *J. Motor Behav,* 25: p.140-152.

FRACCAROLI, J.L. (1981). *Biomecânica: análise dos movimentos.* Rio de Janeiro: Cultura Médica ltda.

GODOY, A.S. (1995). *Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais.* REA Revista de Administração de Empresas, São Paulo v.35, n.3, p. 20 – 29.

GUPTA, S. K. et al. (1995). *Automated manufacturability analysis,* Disponivel em: < http://www.isr.umd.edu/Labs/CIM/vm/report/report.html.>. Acesso em: 12 fev.

HAGBERG, M. (1981). *Work load and fadigue in repetitive arm elevations.* Ergonomics, 24: 7, p.543-555.

HAGBERG, M.; et al. (1995). *Work related musculoskeletal disorders* (W. M. S. Ds). A reference book for prevention. I. Kworinka, L. Foreier. Taylor & Francis.

HARKONEN, E.; PIIRTOMAA, M.; ALARANTA, H. (1993). Grip strenght and hand position of the dynamometer in 204 finish adults. *The Journal of Hand Surgery*, 18-B: 1, p. 129-132.

HENDRICK, H.W. (1991). Ergonomics in organizational design and management. Ergonomics. Ergonomics, v.34, n.6, p.743 – 756.

IIDA, I (1995). *Ergonomia: projeto e produção*: São Paulo: Edgard Blucher ltda.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R.P.; SADOWSKI, D.A. (1998). *Simulation with arena*. MacGraw Hill.

LAVILLE, A. (1977). Ergonomia, São Paulo: EPU

LAW, A.M.; KELTON, D.W. (1991). *Simulation Modeling and Analysis*. New York: Mc-Graw-Hill.

LIMA F.P.A. (1987). A organização da produção e a produção da LER In: LIMA, M.E.A.; ARAUJO, J.N.G.; LIMA,F.P.A. *Ler Dimensões Ergonômicas e Psicossociais*. Belo Horizonte: Health, p. 237-263.

LIN, E. et al. (1995). *Contribution to Virtual Manufacturing Background Research*, Disponivel em: <http://www.isr.umd.edu/Labs/CIM/vm/report/report.html>. Acesso em: 12 fev.

LOBÃO, E.C.; PORTO, A.J.V. (1997). *Proposta para sistematização de estudos de simulação*. XVII ENEGEP – Congresso Nacional de Engenharia de Produção – Gramado, R. S. – Brasil. 6 a 9 de out.

LOBÃO, E.C. (2000). *Discussão, sistematização e modelamento de processos de realização de estudos de simulação.* 207p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

MANSFIELD, E. (1993). *Microeconômica: teoria e aplicações.* Rio de Janeiro: Campus.

MAXIMIANO, A.C.A. (1997). *Administração de projetos: transformando idéias em resultados.* São Paulo: Atlas.

MENEGON, N.L. (2001). *Fundamentos de ergonomia.* São Carlos, Dep. UFSCar, Grupo Ergo & Ação, caderno 1, Publicação interna, 31p.

MOREIRA, C.M. (2001). *Estratégia de reposição de estoques em supermercados: avaliação por meio de simulação.* 114p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2001.

NAYLOR, T.H. et al. (1971). *Técnicas de simulação em computadores.* Petrópolis: Vozes.

NEVINS, J.L.; WHITNEY, D.E. (1989). *Concurrent design of products and process: a strategy for the next generation in manufacturing.* New York, McGraw Hill.

OBORNE, D.J. (1987). *Ergonomics at work.* Great Britain, John Wiley & Sons.

PASSAMANI, R.F. (2002). *Organização de projetos através da engenharia simultânea: sugestões para melhoria da execução de projetos de produtos na faurecia.* 111p. Dissertação (Mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba. 2002.

PARKER, G. M. (1994). *A equipe e seus integrantes a nova estratégia competitiva.* São Paulo: Pioneira.

PEDGEN, D.C.; SHANNON, R.E.; SADOWSKI, R.P. (1995). *Introdution of Simulation using Siman.* New Jersey, Mc Graw-hill.

PIDD M. (1998). *Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão.* Porto Alegre: Artes Medicas.

PIDD M. (1992). *Computer simulation in management science.* Chichester/England: John Wiley & Sons.

PORTO, A.J.V.; MIRANDA Jr.J.L. (1998). *Notas de auala de Simulação de Eventos Discretos:* Disciplina oferecida no programa de Pós Graduação do departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo, São Carlos.

PUTZ ANDERSON, V. (1988). *Cumulative trauma disorders: a manual for musculoskeletal diseases of the upper limb*, London: Taylor & Francis.

REDDON, J.R.; et al. (1985). Hand dynamometer: effects of trials and sessions. *Perceptual and Motor Skills*, 61: p.1195 – 1198.

SALERMO, M.S. (1998). *Análise ergonômica do trabalho e projeto organizacional: uma discussão comparada.* Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Produção, n.47.

SANDE, L.A.P. (1999). *Estudo das forças isométricas máxima e simulada em situação ocupacional de uma preensão palmar aberta em funcionários sintomáticos e não sintomáticos.* 97p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 1999.

SARIC, I. (1979). Systems ergonomics as an Integrated part of the Product Development Process. *Ergonomics*, v.22, n.9, p. 1029-1038.

SCHONBERGER, R. J. (1994). The japanese just-in-time / total quality control production system: potencial for developing countries. *Int. Journal of Production Research*, v.22, n.3, p.421–430.

SELL, I. (1989). Projeto ergonômico de produtos. In: *Quarto Seminário Brasileiro de Ergonomia*, Rio de Janeiro. Anais p.172-176.

SHANNON, R.E. (1975). *System simulation: the art and science*, Englewood Cliffs: Prentice-Hall.

SHTUB, A. et al. (1994). *Project management: engineering, technology and implementation.* Englewood Cliffs: Prentice Hall.

STRACK, J. (1984). GPSS: *Modelagem e Simulação de Sistemas*. Rio de Janeiro: LTC, cap. 2 – 4.

TORRES, I. (2001). *Integração de ferramentas computacionais aplicadas ao projeto e desenvolvimento de arranjos físicos de instalações industriais.* 154p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. (2001).

TRABASSO, L.G.; NOGUEIRA, E.S. (1995). *A engenharia simultânea operacionalizada através do DFA - design for assembly* Anais do III Simpósio CAE/CAD/CAM - SAE Brasil, SAE Technical Paper Series 952313P - São José dos Campos.

ULGEN, O.M.; GUNAL,A.; SHORE,J. (1996). *Pitfalls of simulation modeling and how to avoid them by using a robust simulation methodology*. In: AutoSimulations Symposium 96 Proceedings, p.21-31.

VALERIANO, D.L. (1998). *Gerência em projetos: pesquisa, desenvolvimento e engenharia*. São Paulo: Makron Books.

WISNER, A. (1994). *A inteligência no trabalho – a metodologia da ergonomia: ontem e hoje*. Fundacentro, p.87-107.

YATES, J. W. (1980). et. Al. *Static lifting strenght and maximal isometric voluntary contractions of back arm and shoulder muscles*. Ergonomics, 23, 1, p.37-47.

ANEXO A – Folhas de Descrição de Operação

JOHNSON CONTROLS	FOLHA DE DESCRIÇÃO DE OPERAÇÃO	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA	Aprovação: Qualidade	Aprovação: MANUFATURA

DESCRIÇÃO:					
Auxílio Visual nº ED-003-MP Vestir capa / Fechar capa .	Preparado por: Revisado por: Cliente:	Data de emissão: 21/12/2001 Data da Revisão: 28/11/2003 Revisão Nível: 05 Operação número ED-003-M/P	Modelo: Banco Dianteiro	JOB ROTATION CONFORME JOB ROTATION DA LINHA DE PRODUÇÃO	

MOD

4300/4316/4303

1) Pegar capa, conforme etiqueta e posicioná-la no dispositivo vertical skinning, em seguida, pegar o conjunto estrutura/espuma na esteira.

40) Acionar botões verdes para virar dispositivo. Para os modelos "GX", grampear em 02 ptos na no bidim da capa junto a tela de arame.
Acionar último estágio da máquina e fechar retentor da capa.

Verificar o conjunto quanto ao acabamento e limpeza.

Atenção

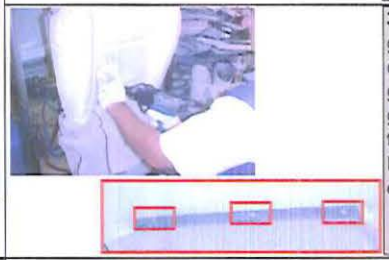
Verificar o conjunto quanto á montagem correta.

20)Posicionar o conjunto no disp. de vestir capas. Acionar o pedal e os 02 botões verdes do disp. para descer enc. 1º estágio. Encaixar retentor, em seguida, pressionar o mesmo p/ o perfeito encaixe.

50) Posicionar encosto no disp. de montar bucha de apoio de cabeça, em seguida, apanhar 02 buchas e encaixá-las junto aos furos da capa e com auxílio de um martelo completar encaixe da peça e posicionar banco na esteira. (Identificar o banco)

Segregar o material "não- conforme" na caixa identificada.

Atenção



30) Acionar pedal, girar conjunto e com auxílio da grampeadeira grampear a capa em três pontos na horizontal junto a espuma.

60) Para os modelos 4303, utilizar disp. de corte e cortar a capa na região do bezel, tendo como referência a haste metálica . Em seguida, montar bezel e botão do bezel junto ao furo.

"CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO = ZERO DEFEITO"

Atenção

INSTRUÇÕES DE 5S	SAÚDE E SEGURANÇA	INSTRUÇÕES DE TPM
* Recolher peças espalhadas e colocar as ferramentas nos locais indicados Limpar todos os equipamentos Limpar o piso na área próximo ao posto de trabalho Colocar o lixo e material "não-conforme" nos locais indicados.	EPI - Equipamento de Proteção Individual LUVAS DE ALGODÃO PROTETOR AIRICULAR ÓCULOS DE SEGURANÇA Luvas anti-corte para operação nº 60	Preencher diariamente a ficha "Controle Mensal de TPM". Se o equipamento apresentar algum defeito, informa imediatamente o Líder de Produção e a Manutenção.

JOHNSON CONTROLS

São José dos Campos

FOLHA DE DESCRIÇÃO DE OPERAÇÃO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA	Aprovação: QUALIDADE	Aprovação: MANUFATURA	
Data de emissão: 21/12/2001	Modelo: 0	EPI - Equipamento de Proteção Individual	
Data da Revisão: 28/11/03	Banco	LUVAS DE ALGODÃO	
Revisão Nível: 05		PROTETOR AURICULAR	
Operação número ED-003-M/P	Dianteiro		

DESCRIÇÃO

Auxilio Visual nº ED-003-MP

Vestir capa / Fechar capa .

Preparado por:

Revisado por:

Cliente: 0

MOD.	OPERAÇÃO	DESCRIÇÃO	*	NUMERO DA PEÇA	QUANTIDADE	CARACTERÍSTICA CHAVE	CONTROLE	FEITO	PLANO DE AÇÃO
4303/4316/4303	10	Pegar capa, conforme etiqueta e posicioná-la no dispositivo vertical skinning, em seguida, pegar o conjunto estrutura/espuma na esteira.		Capa Vinil: PA10160 PA10161 PA10162 Capa GX01: PA10143 Capa GX03: PA10159 Capa GS: PA10100 Capa GL Vinil: PA10165	1	Verificar a etiqueta de sequencimento da capa e pegar a capa com o código correto, verificar se a capa não está descostura/ rasgada.	Visual	100%	Refazer operação.
	20	Posicionar o conjunto no disp. de vestir capas. Acionar o pedal e os 02 botões verdes do disp. para descer enc. 1º estágio. Encaixar retentor, em seguida, pressionar o mesmo p/ o perfeito encaixe.		NA	NA	Verificar se o retentor foi encaixado corretamente.	Visual	100%	Refazer operação.
	30	Acionar pedal, girar conjunto e com auxilio da grampeadeira grampear a capa em três pontos na horizontal junto a espuma.		Grampo:276237	3	Verificar o correto grampeamento quanto quantidade de grampos e se não há : Grampo fundo e/ou solto.	Visual	100%	Retira os grampos não conforme e refazer a operação .(Utilizar alicate de corte)
	40	Acionar botões verdes para virar dispositivo. Para os modelos "GX", grampear em 02 ptos na no bidim da capa junto a tela de arame. Acionar último estágio da máquina e fechar retentor da capa.		Grampo:276238	4	Verificar o correto grampeamento quanto quantidade de grampos e se não há : Grampo fundo e/ou solto.	Visual	100%	Retira os grampos não conforme e refazer a operação .(Utilizar alicate de corte)
	50	Posicionar encosto no disp. de montar bucha de apoio de cabeça, em seguida, apanhar 02 buchas e encaixá-las junto aos furos da capa e com auxilio de um martelo completar encaixe da peça.		Bucha: BA17340	2	Verificar o correto posicionamento e fixação das buchas e o perfeito acabamento eliminando rugas e desalinhamentos.	Visual	100%	Refazer operação.
	60	Para os modelos 4303, utilizar disp. de corte e cortar a capa na região do bezel, tendo como referência a haste metálica . Em seguida, montar bezel e botão do bezel junto ao furo.		Bezel LH - BP19615 RH - BP19617 Botão do Bezel [illegible]	1/1	Montar corretamente as peças. Cortar e fazer um perfeito acabamento entre capa-bezel.	Visual	100%	Refazer operação.

* CEP: CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO
◇ CARACTERÍSTICA ESPECIAL
(⚠) CARACTERÍSTICA DE SEGURANÇA
AV: AUXÍLIO VISUAL
FERR.: FERRAMENTA
S: OPCIONAL

OPERAÇÃO	CEP	◇ / (⚠)	FERRAMENTA			AV	ATENÇÃO PARA AUXÍLIO VISUAL, INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR	SET UP CONFORME JOB SETUP
			DESPERTADOR	TIPO	VALIDAÇÃO			
Data:							Auxílio Visual nº ED-003-MP	
								CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO : ZERO DEFEITO

JOHNSON CONTROLS	FOLHA DE DESCRIÇÃO DE OPERAÇÃO	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA	Aprovação: Qualidade	Aprovação: MANUFATURA

DESCRIÇÃO:				
Auxílio Visual nº ED-004-MP Vestir capa GS 4316 / Montar Back-panel.	Preparado por: Revisado por: Cliente:	Data de emissão: 31/01/2002 Data da Revisão: 04/08/2003 Revisão Nível: 03 Operação número ED-004-MP	Modelo: Banco Dianteiro	JOB ROTATION CONFORME JOB ROTATION DA LINHA DE PRODUÇÃO

MOD

4316

10) Apanhar o conjunto estrutura/ espuma e posic. no dispositivo de vestir capa GLS. Fechar os "J Clip's" nas laterais e na parte inferior da capa junto a estrutura.

40) Cortar a capa com auxílio da ferramenta de corte e montar cobertura plástica do apoia braço. (SOMENTE LADO MOTORISTA)

Atenção

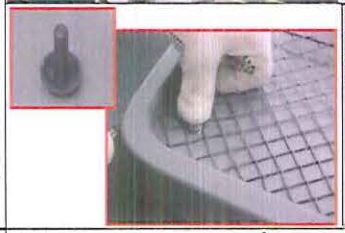
Verificar o conjunto quanto ao acabamento e limpeza.

20)Pegar o back panel e 02 rebites, em seguida, apanhar rebitadeira e fixar a peça em 02 ptos na parte inferior junto a estrutura.

50) Apanhar 02 buchas de apoio de cabeça e montar nos furos da capa do encosto junto a estrutura, em seguida, dispor encosto sobre a esteira.

Segregar o material "não- conforme" na caixa identificada.

Atenção



30) Apanhar 02 coberturas plásticas de acabamento dos rebites e montá-las.

A montagem da bucha de apoio de cabeça poderá ser feita no próprio dispositivo de montagem da capa.

Atenção

"CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO = ZERO

INSTRUÇÕES DE 5S	SAÚDE E SEGURANÇA	INSTRUÇÕES DE TPM
* Recolher peças espalhadas e colocar as ferramentas nos locais indicados Limpar todos os equipamentos Limpar o piso na área próximo ao posto de trabalho Colocar o lixo e material "não-conforme" nos locais indicados.	EPI - Equipamento de Proteção Individual LUVAS DE ALGODÃO (OPCIONAL) PROTETOR AURICULAR	Preencher diariamente a ficha "Controle Mensal de TPM". Se o equipamento apresentar algum defeito, informa imediatamente o Líder de Produção e a Manutenção.

JOHNSON CONTROLS

São José dos Campos

FOLHA DE DESCRIÇÃO DE OPERAÇÃO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA	Aprovação: QUALIDADE	Aprovação: MANUFATURA	
Data de emissão: 31/01/2002	Modelo:	EPI - Equipamento de Proteção Individual	
Data da Revisão: 04/08/03	0	LUVAS DE ALGODÃO (OPCIONAL)	
Revisão Nível: 03	Banco	PROTETOR AURICULAR	
Operação número ED-004-MP	Dianteiro		

DESCRIÇÃO

Auxílio Visual nº ED-004-MP

Vestir capa GS 4316 / Montar Back-panel.

Preparado por:

Revisado por:

Cliente: 0

MOD	OPERAÇÃO	DESCRIÇÃO	*	NÚMERO DA PEÇA	QUANTIDADE	CARACTERÍSTICA CHAVE	CONTROLE	FREQ	PLANO DE AÇÃO
4300/4316/4303	10	Apanhar o conjunto estrutura/ espuma e posic. no dispositivo de vestir capa GLS. Fechar os "J Clip`s" nas laterais e na parte inferior da capa junto a estrutura.		NA	NA	Verificar se o retentor está bem encaixado na estrutura.	Visual	100%	Refazer operação.
	20	Pegar o back panel e 02 rebites, em seguida, apanhar rebitadeira e fixar a peça em 02 ptos na parte inferior junto a estrutura.		Backpanel : 276301-638F Rebite : 172064	1/2	Verificar se o Back Panel não está arranhado / danificado. Verificar se os 02 rebites foram fizados corretamente.	Visual	100%	Refazer operação.
	30	Apanhar 02 coberturas plásticas de acabamento dos rebites e montá-las.		172185-1638F	1	Verificar a presença das coberturas plásticas do rebites e se estão bem fixadas.	Visual	100%	Refazer operação.
	40	Cortar a capa com auxílio da ferramenta de corte e montar cobertura plástica do apoia braço.		Cobertura Plástica Apoia Braço: 170307-638F	1	Verificar a presença da cobertura plástica e se está corretamente montada/fixada.	Visual	100%	Refazer operação.
	50	Apanhar 02 buchas de apoio de cabeça e montar nos furos da capa do encosto junto a estrutura, em seguida, dispor encosto sobre a esteira.		329580-638F	1	Verificar se as buchas estão bem fixadas.	Visual	100%	Refazer operação.

* CEP: CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO
◇ CARACTERÍSTICA ESPECIAL
(▽) CARACTERÍSTICA DE SEGURANÇA
AV: AUXÍLIO VISUAL
FERR: FERRAMENTA
X: OPCIONAL

*

OPERAÇÃO	CEP	◇ / (▽)	FERRAMENTA: DESCRIÇÃO	FERRAMENTA: CÓDIGO	FERRAMENTA: CALIBRAÇÃO	AV	ATENÇÃO PARA: AUXÍLIO VISUAL, INFORMAÇÃO COMPLEMENTAR	SET UP CONFORME JOB SETUP
10-50							Auxílio Visual nº ED-004-MP	
								CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO : ZERO DEFEITO