

**ALEXANDRE TEIXEIRA DO AMARAL**

**O USO DO MÉTODO DFA (DESIGN FOR ASSEMBLY) EM PROJETO DE  
PRODUTOS OBJETIVANDO A MELHORIA ERGONÔMICA NA MONTAGEM**

**SÃO CARLOS**

**2007**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**O USO DO MÉTODO DFA (DESIGN FOR ASSEMBLY) EM PROJETO DE  
PRODUTOS OBJETIVANDO A MELHORIA ERGONÔMICA NA MONTAGEM**

**ALEXANDRE TEIXEIRA DO AMARAL**

**Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de São  
Carlos para a obtenção do título  
de Mestre em Engenharia de  
Produção.**

**Orientador: Prof. Dr. Nilton Luiz  
Menegon**

**SÃO CARLOS**

**2007**

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

A485um

Amaral, Alexandre Teixeira do.

O uso do método DFA (Design for Assembly) em projeto de produtos objetivando a melhoria ergonômica na montagem / Alexandre Teixeira do Amaral. -- São Carlos : UFSCar, 2007.

127 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2007.

1. Ergonomia. 2. DFA (Design for Assembly). 3. Desenvolvimento de produtos. I. Título.

CDD: 620.82 (20<sup>a</sup>)



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
Rod. Washington Luís, Km. 235 - CEP. 13565-905 - São Carlos - SP - Brasil  
Fone/Fax: (016) 3351-8236 / 3351-8237 / 3351-8238 (ramal: 232)  
Email : ppgep@dep.ufscar.br

## FOLHA DE APROVAÇÃO

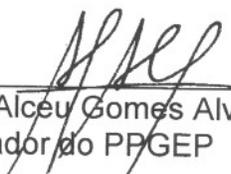
Aluno(a): Alexandre Teixeira do Amaral

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DEFENDIDA E APROVADA EM 06/07/2007 PELA  
COMISSÃO JULGADORA:

  
Prof. Dr. Nilton Luiz Menegon  
Orientador(a) PPGE/UFSCar

  
Prof. Dr. José Carlos de Toledo  
PPGE/UFSCar

  
Prof. Dr. Daniel Capaldo Amaral  
EESC/USP

  
Prof. Dr. Alceu Gomes Alves Filho  
Coordenador do PPGE

## RESUMO

Uma série de métodos e técnicas tem ganhado destaque nas organizações que possuem um padrão de sistema para desenvolvimento de produtos (PDP) na fase conceitual do projeto, bem como em reprojeto quando necessário. O QFD, a Análise de Kano e a Matriz de Pugh são alguns exemplos de métodos e técnicas utilizadas para integrar métodos em projeto. Entretanto, se uma das características da metodologia DFA é a de reduzir o número de operações de montagem reduzindo o número de componentes e tornar as operações de montagem mais fáceis de desempenhar, significa que esta metodologia pode ser aplicada em ergonomia, uma vez que auxilia a atividade de projeto das situações de trabalho, mais precisamente na etapa de geração de alternativas e análise de viabilidades para a simplificação da estrutura do produto. Desta forma, a principal contribuição desta pesquisa é demonstrar que o uso do método Design for Assembly pode ser estendida em situações de reprojeto de produtos para obtenção de soluções técnicas nas situações de intervenções ergonômicas, ou até mesmo na fase conceitual de um novo projeto, onde a ergonomia será considerada dentro da visão DFA. A realização da análise ergonômica do trabalho (AET) associada ao uso do método Design for Assembly (DFA) para soluções técnicas em intervenções ergonômicas pode ser uma possibilidade para equipes de projetos que buscam associar projeto e ergonomia.

**PALAVRAS-CHAVE:** DFA, ergonomia, desenvolvimento de produtos.

## ABSTRACT

A series of methods and techniques has gained prominence in the organizations that possess a standard of system for development of products - SDP in the conceptual phase of the project, as well as in redesign when necessary. The QFD, the Analysis of Kano and the Pugh Matrix are some examples of methods and used techniques to integrate methods in project. However, if one of the characteristics of methodology DFA is to reduce the number of assembly operations reducing the number of components and make the assembly operations easier to perform, this methodology can be applied in ergonomics, since it assists the design activity of work situations, specially in the stage of generation of alternatives and analysis of feasibilities for the simplification of the structure of the product. This way, the main contribution of this research is to demonstrate that the use of the Design for Assembly tool can be extended in situations of redesign of products for attainment of technical solutions in the situations of ergonomic interventions, or even though in the conceptual phase of a new project, where the ergonomics will be considered inside of vision DFA. The accomplishment of the Workplace Ergonomic Analysis - WEA associated with the use of the design for assembly - DFA tool for technical solutions in ergonomic interventions can be a possibility for design teams that are looking for associate design and ergonomics.

**KEY-WORDS:** DFA, ergonomics, product development.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	9
2 PROJETO, ERGONOMIA E DESIGN FOR ASSEMBLY – DFA.....	14
2.1 Introdução .....	14
2.2 Definição do Termo “Ergonomia” .....	23
2.3 Histórico da Ergonomia .....	26
2.4 A Análise Ergonômica do Trabalho - AET para Projeto de Produto .....	29
2.5 Diretrizes da Análise Ergonômica do Trabalho.....	32
2.6 Trabalho Prescrito (Tarefa) e Trabalho Real (Atividade).....	34
2.7 A Abordagem da Prática Ergonômica no Processo de Projeto.....	38
2.8 Design for Manufacturing and Assembly - DFMA .....	45
2.9 Design for Assembly (DFA).....	49
2.10 Vantagens do DFA.....	52
2.11 Integração entre Ergonomia e Design for Assembly.....	55
2.12 Questões da Pesquisa e Hipóteses .....	59
2.13 Conclusão.....	60
3.0 METODOLOGIA .....	62
3.1 Introdução .....	62
3.2 Procedimentos de Pesquisa.....	62
3.2.1 Estudo de Caso.....	62
3.2.2 Análise Ergonômica do Trabalho, Diagnóstico e Recomendações .....	64
3.2.3 Reprojetado dos Postos de Trabalho .....	66

4.0 ANÁLISE DOS DADOS.....	68
4.1 Introdução .....	68
4.2 Análise dos dados .....	69
4.3 Análise do Produto nos Postos de Trabalho e Reprojeto.....	70
4.4 Análise DFA nos Sistemas, Subsistemas e Componentes - SSC`s.....	73
4.5 Análise dos Dados do Projeto no Posto de Trabalho 110.....	76
4.6 Reprojeto do Produto no Posto de Trabalho 110.....	79
4.7 Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto Produto no Posto de Trabalho.....	84
4.8 Análise DFA nos Sistemas, Subsistemas e Componentes - SSC`s.....	87
4.9 Análise dos Dados do Projeto no Posto de Trabalho 102.....	90
4.10 Reprojeto do Produto no Posto de Trabalho 102.....	92
4.11 Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto Produto no Posto de Trabalho...	96
4.12 Análise DFA nos Sistemas, Subsistemas e Componentes - SSC`s.....	98
4.13 Análise dos Dados do Projeto no Posto de Trabalho 001.....	101
4.14 Reprojeto do Produto no Posto de Trabalho 001 .....	103
4.15 Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto Produto no Posto de Trabalho.	107
5.0 CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES .....	109
5.1 Introdução .....	109
5.2 Conclusão acerca das hipóteses ou questões da pesquisa.....	111
5.3 Conclusão acerca do problema de pesquisa.....	114
5.4 Implicações para teoria e prática.....	118
5.5 Limitações.....	121
6.0 BIBLIOGRAFIA. ....	123

## LISTAS DE FIGURAS, TABELAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Figura 01: Ilustração da abordagem “Por Cima do Muro” .....	46
Figura 02: O Processo DFMA .....	49
Figura 03: Custos e Benefícios em Diferentes Estágios do Processo.....	51
Figura 04: Modelo de Integração entre Ergonomia e Projeto.....	58
Figura 05: Fluxograma de Integração entre AET e DFA. ....	70
Figura 06: Estrutura do Produto no Posto de Trabalho 110.....	73
Figura 07: Tela principal do Software DFA da Boothroyd Dewhurst, Insc. ....	74
Figura 08: Critério Mínimo de Peças.....	75
Figura 09: Índice de Eficiência do Projeto.....	76
Figura 10: Análise de Ganhos DFA.....	78
Figura 11: Gráfico Ocorrência de Itens por Produto.....	78
Figura 12: Sugestão para o Reprojeto – Posto de Trabalho 110.....	79
Figura 13: Desenho Conjunto Tampa / Dispenser.....	81
Figura 14: Detalhe do Pino no Dispenser.....	81
Figura 15: Desenho Dispenser Reprojeto. ....	82
Figura 16: Índice DE após Reprojeto.....	83
Figura 17: Tela principal do Software DFA da Boothroyd Dewhurst, Insc. ....	83
Figura 18: Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto do Produto.....	84
Figura 19: Estrutura do Produto no Posto de Trabalho 102 .....	87
Figura 20: Tela principal do Software DFA da Boothroyd Dewhurst, Insc.....	88
Figura 21: Critério Mínimo de Peças.....	89

Figura 22: Índice de Eficiência do Projeto – Posto de Trabalho 102.....	90
Figura 23: Análise de Ganhos DFA.....	91
Figura 24: Sugestões para o Reprojeto –Posto de Trabalho 102.....	92
Figura 25: Desenho Original do Produto.....	93
Figura 26: Desenho do Produto Reprojeto.....	94
Figura 27: Índice de Eficiência do Projeto após Reprojeto.....	95
Figura 28: Estrutura do Produto após Reprojeto.....	95
Figura 29: Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto do Posto de Trabalho 102.	96
Figura 30: Estrutura do Produto no Posto de Trabalho 001.....	98
Figura 31: Tela principal do Software DFA da Boothroyd Dewhurst, Insc .....	99
Figura 32: Critério Mínimo de Peças.....	100
Figura 33: Índice de Eficiência do Projeto – Posto de Trabalho 001. ....	101
Figura 34: Análise de Ganhos – Método DFA.....	102
Figura 35: Sugestões para Reprojeto do Produto – Posto de Trabalho 001.....	103
Figura 36: Desenhos do Produto.....	105
Figura 37: Índice de Eficiência do Projeto após Reprojeto.....	105
Figura 38: Estrutura do Produto após Reprojeto.....	106
Figura 39: Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto do Posto de Trabalho 001.	107
Figura 40: Fluxograma de Integração entre Ergonomia: AET e Projeto: DFA.....	119

Tabela 01: Atividades desenvolvidas e algumas técnicas utilizadas na AET da Linha da Tampa.....	65
Tabela 02: Atividades desenvolvidas, técnicas e ferramentas aplicadas, resultados obtidos.....	67
Tabela 03: Principais Movimentos e Posturas do Posto 110.....	72
Tabela 04: Análise de Sobrecarga Física no Posto 110.....	73
Tabela 05: Principais Movimentos e Posturas do Posto de Trabalho 102.....	86
Tabela 06: Sobrecarga Física do Posto de Trabalho 102.....	87
Tabela 07: Movimentos e Posturas do Posto de trabalho 001.....	97
Tabela 08: Sobrecarga Física do Posto de Trabalho 001.....	98
AET: Análise Ergonômica do Trabalho.....	02
DFA: Design For Assembly.....	02
QFD: Quality Function Deployment.....	02
DFMA: Design For Manufacturing and Assembly.....	37

## 1. INTRODUÇÃO

Em se tratando de facilitar as atividades dos operadores durante a montagem de um determinado produto, através da simplificação de sua estrutura, tanto na sua fase conceitual quanto em uma situação de reprojetado, a utilização do método Design for Assembly pode ser um dos mais indicados por ter como seu principal objetivo simplificar a estrutura do produto a fim de reduzir custos, eliminar componentes desnecessários e reduzir o número de sistemas de fixação; fatores estes que podem maximizar as soluções técnicas sugeridas após o diagnóstico de uma intervenção ergonômica.

Com base em revisões bibliográficas sobre definições dos temas Projeto, Ergonomia e Design for Assembly (DFA), o objetivo desta dissertação de mestrado é apresentar de forma estruturada a oportunidade de aplicação do referido método nas situações de intervenções ergonômicas em projetos de produtos, para alcançar soluções técnicas aos problemas identificados após a fase de conclusão do diagnóstico, produzido pela aplicação do método AET.

O projeto de pesquisa está baseado em uma revisão bibliográfica, complementada por uma aplicação da técnica ou abordagem estudada; neste caso, o reprojetado de um produto utilizando o método DFA.

É importante ressaltar que o objetivo principal da pesquisa realizada foi a utilização do método DFA em uma situação de reprojetado de produto, tendo como objetivo equacionar problemas diagnosticados pela análise ergonômica do trabalho em um determinado processo de montagem. Não consistiu enquanto intenção desta pesquisa demonstrar detalhadamente a

realização do método AET, sendo o mesmo apresentado parcialmente e utilizado posteriormente como dados de entrada para a aplicação do método DFA.

Considerando a intervenção ergonômica tanto no nível de projeto do produto, quanto no projeto do processo, a atividade de análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC`s) do produto marca um momento importante nas atividades de projeto, pois permite à equipe que está realizando a AET fazer previsões adequadas na correção do produto sob intervenção, bem como aplicar as lições aprendidas (diagnóstico) no desenvolvimento de novos projetos de produtos. Diagnósticos adequados possibilitam ao ergonomista e sua equipe criar soluções superiores com desempenho satisfatório em todos os aspectos. Isso não somente reduz o número de interações de reprojeto, o tempo de desenvolvimento e os custos das soluções, mas também melhora a percepção das intervenções ergonômicas por parte dos operadores responsáveis pela manufatura do referido produto que, geralmente, serão os clientes do resultado da AET nos postos de trabalho.

Assim, para auxiliar os projetistas e engenheiros a melhor avaliar os impactos das soluções propostas, empresas e pesquisadores desenvolveram vários métodos e ferramentas de auxílio às decisões de projeto, denominadas de abordagens DFX (Design For Anything – Projetar para Algo). O “X” representa qualquer um dos fatores referente ao problema a ser resolvido, tais como: qualidade, manufatura, produção, meio ambiente, ergonomia, etc. O DFX pode ser considerado uma base de conhecimento com o objetivo de projetar produtos que maximizem todas as características, tais como: qualidade, confiabilidade, serviços, segurança, saúde, usuários, meio ambiente e tempo de implantação das soluções – ao mesmo tempo em que minimiza os custos de manufatura do produto.

Nesta pesquisa, utilizaremos o DFA para potencializar a abordagem da ergonomia em projetos de produtos, buscando não somente a melhoria ergonômica no produto (DFE: Design for Ergonomics), mas também outros fatores que possam agregar na cadeia final do desenvolvimento como facilitar a montagem, redução de custo, melhoria de produtividade, qualidade, entre outros.

O projeto para montagem também compõe o conhecimento científico necessário à arte de projetar, como uma filosofia, um processo e uma ferramenta. Assim, o conhecimento proporcionado pelo DFA pode ser usado para síntese da qualidade embutida no produto com o emprego de seus princípios ao avaliar qualitativamente o quão simplificado é a arquitetura do produto e o relacionamento entre os componentes e o processo de montagem, incluindo a ergonomia. O DFA na avaliação de determinada montagem, como também na análise de produtos, examina cada componente individualmente e a sua relação com os demais a fim de conhecer o produto em detalhes, desvendando os pontos fortes e fracos desse. Tais empregos apresentam-se úteis na comparação de produtos concorrentes (benchmarking); ação de grande serventia na fase de planejamento e desenvolvimento de novos produtos.

A interdependência desses parâmetros também influi na determinação do método e tipo de montagem. O DFA procura racionalizar a estrutura do produto buscando o grau máximo de qualidade. Essa racionalização permite, inclusive, uma melhor racionalização operacional das empresas, do projeto para a operação, aumentando também a produtividade já que provoca a utilização das capacidades dos processos individuais de fabricação até o seu máximo em ordem de manter a estrutura do produto o mais simples possível, simplificando as operações de montagem.

A maioria dos projetos de produtos funciona em coordenação com pessoas. A ergonomia está relacionada com as características, habilidades, necessidades das pessoas e em especial, com as interfaces entre as pessoas e os produtos. As quatro formas básicas de interações entre pessoas e os produtos oriundas da conclusão de um determinado projeto são: espaço físico ocupado em torno do produto; como fonte de potência para o produto; atuando como um sensor, e atuando como um controlador. Essas quatro formas de interação entre pessoas e produtos formam a base de estudo dos chamados fatores humanos, que desempenham um importante papel na atividade de projeto de produtos. Assim, os fatores humanos devem ser levados em conta por todas as pessoas que entrarem em contato com o produto, seja na etapa de manufatura ou nas etapas de operação, manutenção, reparo e descarte.

Além disto, os fatores humanos estão fortemente relacionados com a qualidade e a segurança do produto. Como atributo da qualidade, deseja-se que o produto funcione como foi projetado, ou seja, cumprir todas as funções prometidas no escopo do projeto. Uma eventual falha no processo de manufatura relacionada a fatores humanos pode comprometer este atributo da qualidade. Com relação à segurança, normalmente, produtos considerados inseguros não são vistos como produtos de qualidade. De fato, espera-se que nenhum usuário ou operador da empresa responsável pela manufatura do mesmo possa vir a ser ferido e nenhuma propriedade do produto venha a ser danificada com o uso ou montagem do produto.

Uma das técnicas utilizadas para analisar problemas de ergonomia associados ao uso, ao trabalho, é o método proposto pela escola francesa de ergonomia denominado “Análise Ergonômica do Trabalho (AET)”. Segundo Guérin (2001), em termos de método, a “Análise Ergonômica do Trabalho” é um procedimento teórico e prático que permite um contínuo ir e

vir entre a atividade de trabalho e o conjunto de seus determinantes. Dessa forma, revela-se progressivamente, o funcionamento da empresa do ponto de vista da atividade de trabalho.

Para alguns, a leitura do funcionamento da empresa acontece do ponto de vista da atividade, porém, essa leitura pode ter o seu foco nas situações de trabalho coletivas e multidisciplinares. De qualquer forma, esclarecer o funcionamento da empresa contribui com a geração de discussões legítimas que objetivam a busca de meios para reconduzir as atividades dos funcionários.

Ao se ater à “atividade real” dos funcionários, a empresa deve ter condições de entender melhor os pontos que, por estarem obstruindo o processo, devem ser objeto de transformações e melhorias, além de outras demandas. A partir de um diagnóstico concluído, o analista deve sugerir indicações de soluções (intervenção ergonômica) e deve acompanhar as transformações ou, ainda, participar como “ator” com o objetivo de assegurar que os aspectos relacionados às atividades dos indivíduos sejam considerados da melhor forma possível na nova configuração do trabalho.

## **2. PROJETO, ERGONOMIA E DESIGN FOR ASSEMBLY (DFA)**

O presente capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre as características e definições de Projeto, Ergonomia e do método Design for Assembly (DFA), analisando as suas particularidades, conceitos e aplicações em projetos de produtos, construindo uma fundamentação teórica sobre a qual a pesquisa é baseada, relevante para identificar como o problema pode ser resolvido ou tratado. Ainda neste capítulo é apresentada a importância da interação dos métodos AET e DFA na fase de intervenção ergonômica para a melhoria do projeto.

### **2.1 Introdução**

As organizações executam trabalho. O trabalho envolve serviços continuados e/ou projetos, embora possa haver superposição entre os dois. Serviços continuados e projetos possuem muitas características comuns; por exemplo, ambos são:

- Executados por pessoas;
- Restringidos por recursos limitados;
- Planejados, executados e controlados;

Projetos são, freqüentemente, implementados como meios de realizar o plano estratégico da organização. Serviços continuados e projetos diferem principalmente porque enquanto os primeiros são contínuos e repetitivos, os projetos são temporários e únicos. Assim, um projeto pode ser definido em termos de suas características distintas – um projeto é um

empreendimento temporário com o objetivo de criar um produto ou serviço único. Temporário significa que cada projeto tem um começo e um fim bem definidos. Único significa que o produto ou serviço produzido é de alguma forma diferente de todos os outros produtos e serviços semelhantes. Para muitas organizações, projetos são o meio de responder a requisitos que não podem ser atendidos através dos limites normais de operação da organização (PMBOK, 2005).

Os projetos são desenvolvidos em todos os níveis da organização. Eles podem envolver uma única pessoa ou milhares delas. Podem durar poucas semanas ou mais de cinco anos. Os projetos podem envolver uma unidade isolada da organização ou atravessar as fronteiras organizacionais, como ocorre em consórcios e parcerias. Os projetos são críticos para a realização da estratégia de negócios da organização porque projetos são os meios pelos quais as estratégias são implementadas. Pode-se citar como exemplos de projetos:

- Desenvolver um novo produto ou serviço;
- Implementar uma mudança organizacional ao nível da estrutura, das pessoas ou do estilo gerencial;
- Planejar um novo veículo de transporte;
- Desenvolver ou adquirir um sistema de informação novo ou modificado;
- Construir um prédio ou instalações;
- Desenvolver um sistema de abastecimento de água para a comunidade em desenvolvimento;
- Levar a cabo uma campanha política;
- Implementar um novo processo ou procedimento organizacional.

Temporário, conforme dito anteriormente, significa que cada projeto tem um início e um fim muito bem definidos. Chega-se ao fim do projeto quando os seus objetivos foram alcançados ou quando torna-se claro que os objetivos do projeto não serão ou não poderão mais ser atingidos ou, ainda, a necessidade do projeto já não existe mais. O projeto é então encerrado. Temporário não significa que a sua duração é curta; muitos projetos duram vários anos. Em todos os casos, entretanto, a duração do projeto é finita; projetos não são esforços continuados.

Além disto, o termo temporário geralmente não se aplica ao produto ou serviço criado pelo projeto. Os projetos podem frequentemente ter impactos sociais, econômicos e ambientais, intencionais ou não, que excedem em duração aos próprios projetos. A maioria dos projetos são empreendidos para criar um resultado duradouro. Por exemplo, um projeto para erigir um monumento nacional criará um resultado que pretende durar séculos. Uma série de projetos e/ou projetos complementares em paralelo podem ser requeridos para alcançar um objetivo estratégico.

Os objetivos de projeto e de operações continuadas são fundamentalmente diferentes. O objetivo de um projeto é alcançar o objetivo proposto e encerrar o projeto. O objetivo de uma operação continuada não projetizada é normalmente sustentar o negócio. Um projeto é fundamentalmente diferente porque ele termina quando seus objetivos propostos são alcançados, enquanto as operações continuadas (não projetos), quando atingem seus objetivos, criam um novo grupo de objetivos e o trabalho continua.

A natureza temporária dos projetos se aplica também a outros aspectos dos empreendimentos:

- A oportunidade ou nichos de mercado são usualmente temporários – a maioria dos projetos tem um espaço de tempo limitado para produzir seus produtos e serviços;
- A equipe do projeto normalmente é desmontada após o projeto – os projetos em sua maioria são conduzidos por uma equipe que tem o único compromisso com aquele projeto. Ao término do projeto, a equipe é liberada e os membros realocados em outras atividades.

Os projetos envolvem o desenvolvimento de algo que nunca foi feito antes, portanto, é único. Um produto ou serviço pode ser único, mesmo considerando que já tenha sido desenvolvida uma infinidade de produtos/serviços em sua categoria. Por exemplo: muitas e muitas lavadoras de roupas já foram construídas, mas cada novo projeto que é lançado é único – com proprietário diferente, projeto próprio, equipe de projeto diferente e assim por diante. A presença de fatores repetitivos não muda a característica intrínseca de unicidade do esforço global do trabalho do projeto. Por exemplo:

- Um projeto para desenvolver um novo tipo de avião comercial pode requerer uma série de protótipos;
- Um projeto para a liberação à população de um novo medicamento, pode requerer milhares de doses da droga para distribuição em testes clínicos;
- A construção de um conjunto habitacional pode incluir centenas de unidades individuais;
- O desenvolvimento de um projeto (por exemplo: abastecimento de água e saneamento) pode ser implementado em cinco áreas geográficas diferentes.

Elaboração progressiva é a característica de projeto que integra os conceitos de temporário e único. Como o produto de cada projeto é único, as características peculiares que o distinguem devem ser progressivamente elaboradas. Progressivamente significa “proceder por etapas; continuar de forma determinada, por incrementos” enquanto elaboradas significa “trabalhadas com cuidado e detalhe; desenvolvidas por completo”. Estas características que distinguem os produtos a serem construídos, são amplamente definidas bem cedo no projeto e se tornam mais explícitas e detalhadas assim que a equipe adquire uma melhor e mais completa percepção do produto.

A elaboração progressiva das características do produto necessita ser cuidadosamente coordenada com a correta definição do escopo do projeto, especialmente se o projeto é desenvolvido sob contrato. Quando adequadamente definido, o escopo do projeto - que define todo o trabalho a ser realizado – deve permanecer constante, ainda que as características do produto estejam sendo elaboradas progressivamente.

Os dois exemplos seguintes ilustram o conceito de elaboração progressiva em duas áreas de aplicação diferentes.

Exemplo 1. Uma fábrica de processamento químico começa com o processo de engenharia definindo as características do processo. Estas características são usadas para projetar as principais unidades de produção. Esta informação, por sua vez, torna-se a base para o design de engenharia que define o lay-out detalhado da fábrica e as características mecânicas das unidades de processo e instalações auxiliares. Como resultado obtém-se desenhos de engenharia que são desdobrados para produzir desenhos de fabricação. Durante a construção, uma série de interpretações e adaptações são feitas quando necessárias e submetidas à aprovação formal. Esta “elaboração” posterior é também transposta para desenhos do que

realmente foi construído. Durante as fases de teste e manutenção, novas transformações são freqüentemente realizadas sob a forma de ajustes finais.

Exemplo 2. O produto de um projeto de desenvolvimento econômico pode ser inicialmente definido como: “Desenvolver a quantidade de vida dos residentes de baixa renda de uma comunidade X”. De acordo com os procedimentos de projeto, os produtos devem ser descritos mais especificadamente como, por exemplo: “Disponibilizar acesso a alimento e água para 500 residentes de baixa renda da comunidade X”. A próxima etapa da elaboração progressiva poderia ser focada no crescimento da produção e comercialização agrícola, com o fornecimento de água caindo para a segunda prioridade a ser iniciada apenas quando o componente agrícola estiver bem encaminhado.

Para também entendermos projeto como um processo social, devemos, primeiramente, compreendermos o “mundo objeto” dentro do processo de desenvolvimento de produtos. De acordo com Bucciarelli (1994), “mundo objeto” é o domínio do conhecimento, ação e artefato com os quais os participantes de engenharia projetam, se movimentam e vivem quando trabalham em qualquer aspecto específico, parte ambiental, subsistema, ou sub-função do todo.

Para isto, devemos entender que a ciência e o mercado têm papéis importantes no projeto, mas estão bem longe de serem decisivos (Bucciarelli, 1994). Para o referido autor, a ciência num sentido mais geral é o modo de pensar dentro de mundos objetos. Ela estrutura o modo como os participantes constroem seu processo e suas interações de trabalho e, assim, assume um sentido social e controla o processo de design, possibilitando formas e caminhos alternativos para o processo de projeto.

Quanto a mercados, fala-se em eficiência e lucros, custos, demandas e necessidades de clientes, com a intenção de apoiar uma alternativa de design preferida e negar outra. O

mercado, então, tão interpretado e usado no processo de projeto está disponível para justificar formas alternativas e, assim, o processo perde as influências de normas sociais e de limitações técnicas e infra-estrutura.

Devemos entender projeto como um trabalho dentro de mundos objetos de participantes diferentes. Mas, estes mundos objetos não podem ser divididos em uma coleção de tarefas separadas, independentemente conquistadas, mas deve ter engajamento contínuo e troca entre os participantes.

O objeto não é uma única coisa para todos, cada perspectiva e interesse de uma pessoa estão atrelados à sua especialidade. Projeto é um processo de trazer coerência a estas perspectivas e interesses, fixando-os no artefato (Bucciarelli, 1994).

A qualidade do projeto e do artefato final dependerá do processo social engajado pelos participantes e isso transcende o processo racional e instrumental. Desta forma, o autor referido acima, afirma que a resposta à questão: “O que é projeto?”, em qualquer ponto do processo, existe apenas num sentido coletivo: “Projeto é um processo social”.

Segundo Bucciarelli (1994), projeto não é simplesmente um processo de mediação de alternativas e opções contra algumas condições de performance dadas, tudo pode ser negociado. As limitações não são completamente um produto da imaginação social, mas também não são tão definitivas quanto aparecem.

O objeto é certo, determinado, enquanto o processo de projeto é ambíguo e incerto. Estas ambigüidades e incertezas são especialmente evidentes nas interfaces onde os participantes de mundos objetos diferentes devem concordar, reunir e harmonizar suas propostas e preocupações. O objeto prevê as expectativas e recompensas dos participantes, sendo assim sua própria recompensa.

Analisando as afirmações acima, pode-se concluir que o projeto é feito da atuação de indivíduos diferentes e interesses diferentes e coletivos. A definição dos contextos para uma legítima tarefa de projeto forma a essência dessa tarefa, uma vez que o contexto pode degradar significativamente a performance. Contextos para projetos são formulados, construídos, mantidos e destruídos. Para entender o processo de um projeto, a pessoa deve aceitar esse contexto fazendo e desfazendo como parte do processo. Deve haver negociação e, se considerarmos o projeto como um processo social, devemos incluir aí, a invenção e elaboração do próprio ambiente dentro do qual os participantes trabalham.

Quando o projeto está em processo, esse processo está vivo, com certezas e ambigüidades, é isso que faz dele o desafio que é. Quando o projeto está completo, quando o produto é enviado, a documentação é impressa e mais importante, quando a equipe se desfaz, então o processo acabou.

Finalizando, existem outros mundos objetos dentro dos quais o artefato pode ser visto e usado de maneiras diferentes. Outras culturas ou consumidores podem apropriar o artefato e torná-lo seu objeto. A tecnologia é objeto e técnica, porém objeto e técnica dentro da cultura, não externa a ela. É íntegra, constitui-se de uma rede, porém transcendente a ciência e sua lógica, o poder político, as infra-estruturas e mercado globais. Passa por nosso pensamento de todo dia, educação, família, crença, passatempo e mão-de-obra. A realidade objetiva do artefato tecnológico é uma construção social.

Usuários diferentes podem apropriar o artefato diferentemente como objeto; Robert Pirsig sugere que o artefato tenha responsabilidade e seja conjuntamente construído com seu usuário.

A Ciência, no sentido mais amplo, é o modo de pensar dentro de mundos objetos. Também estrutura o modo que os participantes constroem seu processo de trabalho e interações. O mercado então, interpretado e usado no processo de projeto, é usado para justificar formas alternativas, e nada é sagrado, nem as especificações de performance, pois estes também são negociados, alterados ou até descartados completamente enquanto os projetos que importam são enfeitados e tornados rígidos com o tempo, conforme o projeto procede. Portanto, as especificações se tornam artefatos de um processo social, reinterpretados num compromisso de perspectivas diferentes, de mundos objetos diferentes.

Porém, trabalhar em mundos objetos é apenas uma peça do projeto, a tecnologia contemporânea é uma intercessão de múltiplos mundos objetos e o projeto não pode ser dividido em uma coleção de tarefas separadas independentemente conquistadas, isto exige ao invés, o engajamento contínuo e troca entre indivíduos escolarizados e treinados em uma extensão de disciplinas.

Cada perspectiva e interesse do indivíduo são colocadas em suas responsabilidades e experiências especiais. Portanto, podemos dizer que projeto é um processo de trazer coerência a estas perspectivas e interesses ou fixando no artefato. Os participantes do projeto trabalham para trazer harmonia em seus esforços através de uma “negociação, projeto é um processo social”.

Desta forma, como podemos entender o processo de projeto dentro das empresas de engenharia de hoje, como um processo de construção social que envolve diversas variáveis? Mostrando o modo como os participantes em um projeto de qualquer natureza, constroem seu processo e suas interações de trabalho, assumindo assim, um sentido social que controla o

processo do projeto, possibilitando formas e caminhos alternativos para o sucesso ou fracasso de qualquer tipo de projeto.

A qualidade do projeto e do artefato final dependerá do processo social engajado pelos participantes e isso transcende o processo racional e instrumental.

Equipes multidisciplinares de projetos ou também denominadas engenharia simultânea tem sido adotadas para desenvolvimento de novos projetos. A maioria das metodologias de processos e gestão de projetos que está nas diferentes áreas de conhecimento como: Gerenciamento de Tempo, Escopo, Custo, Qualidade, entre outras, depende da comunicação social entre os participantes e usuários para que no final o projeto atinja suas metas com resultado satisfatório.

## **2.2. Definição do Termo “Ergonomia”**

O termo “ergonomia” é originário da composição de dois radicais gregos: ERGON (trabalho) e NOMOS (princípio ou lei) e há várias definições para este termo. Wisner (1987) define “ergonomia” como sendo o conjunto de conhecimentos científicos relacionados ao homem, necessários na concepção de instrumentos, máquinas e dispositivos que possam ser utilizados com o máximo de conforto, segurança e eficiência no trabalho. O autor também define “ergonomia” como a arte que utiliza o saber tecno-científico e o saber dos trabalhadores sobre a sua própria situação de trabalho.

Enfim, pode-se dizer que a maioria das definições de ergonomia estão diretamente relacionados a dois aspectos fundamentais: a saúde e a eficiência no trabalho (produtividade).

Na ergonomia, essa eficiência está diretamente dependente da eficiência e eficácia humana. Desta forma, a ergonomia pode ser utilizada para buscar esta eficiência e eficácia, possibilitando ações no processo produtivo, projeto de desenvolvimento do produto (fase conceitual) e adaptando-os à necessidade identificada (demanda).

Numa definição concisa da ergonomia:

Ergonomia é o estudo do relacionamento entre o homem e o seu trabalho, equipamento e ambiente, e particularmente a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas surgidos desse relacionamento. (Ergonomics Research Society, Inglaterra).

Atualmente, a ergonomia considera o homem que trabalha não como um executor, mas, como um operador. Ele é um operador que adapta seu comportamento às variações tanto de seu estado interno (fadiga), quanto dos elementos da situação (relações de trabalho, variação da produção, disfunções, etc.); ele decide a melhor maneira de proceder para que atenda aos seus objetivos. Assim, sua atividade real difere sempre da tarefa prescrita pela organização do trabalho. Ele não responde a estímulos, mas expressa um saber e uma vivência profissional enraizados numa história individual e coletiva, inscritas num contexto sócio-econômico pré-determinado (Wisner, 1987).

A ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem. O trabalho aqui tem uma aceção bastante ampla, abrangendo não apenas aquelas máquinas e equipamentos utilizados para transformar os materiais, mas também toda a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e seu trabalho. Isto envolve não somente o ambiente físico, mas também os aspectos organizacionais de como esse trabalho é programado e controlado para produzir os resultados desejados.

Observa-se que a adaptação sempre ocorre do trabalho para o homem. A recíproca nem sempre é verdadeira. Neste caso poderíamos dizer que a definição seria economia (adaptação do homem ao trabalho). Isso significa que a ergonomia parte do conhecimento do homem para fazer o projeto do trabalho, ajustando-se às capacidades e limitações humanas.

Para realizar o seu objetivo, a ergonomia estuda diversos aspectos do comportamento humano no trabalho e outros fatores importantes para o projeto de sistemas de trabalho, que são:

- O homem – características físicas, fisiológicas, psicológicas e sociais do trabalhador; influência do sexo, idade, treinamento e motivação;
- Máquina – entende-se por máquina todas as ajudas materiais que o homem utiliza no seu trabalho, englobando os equipamentos, ferramentas, mobiliários e instalações;
- Ambiente – estuda as características do ambiente físico que envolvem o homem durante o trabalho, como temperatura, ruídos, vibrações, luz, cores, gases, etc.;
- Informação – refere-se às comunicações existentes entre os elementos de um sistema, a transmissão de informações, o processamento e a tomada de decisões;
- Organização – é a conjugação dos elementos acima citados no sistema produtivo, estudando aspectos horários, turnos de trabalho e formação de equipes;
- Conseqüências do trabalho – aqui entram mais as questões de controles como tarefas de inspeções, estudos dos erros e acidentes, além dos estudos sobre gastos energéticos, fadiga e “stress”.

Os objetivos práticos da ergonomia são a segurança, a satisfação e o bem estar dos trabalhadores no relacionamento com sistemas produtivos. Desta forma, poderíamos dizer que ergonomia é o balanceamento entre saúde e produtividade.

### **2.3. Histórico da Ergonomia**

Wisner (1987) relata um breve histórico da ergonomia que, apesar da sua utilização datar dos anos 40, seu modo de pensar já se apresentava esporadicamente desde Taylor (1911). Se o nascimento “oficial” da ergonomia pode ser definido com certa precisão, o período de sua gestação foi muito longo. Começou provavelmente com o primeiro homem pré-histórico que escolheu uma pedra do formato que melhor se adaptasse à forma e movimentos de sua mão, para usá-la como arma. A preocupação de adaptar os objetos artificiais e o ambiente natural ao homem sempre esteve presente desde os tempos da produção artesanal, não-mecanizada.

Entretanto, a revolução industrial ocorrida a partir do Século XVIII, tornou mais dramático o problema. As primeiras fábricas surgidas não tinham nenhuma semelhança com a fábrica moderna. Eram sujas, barulhentas, perigosas, escuras e as jornadas de trabalho chegavam a 16 horas diárias, sem férias, em regime de semi-escravidão, imposto por empresários autoritários.

Estudos mais sistemáticos do trabalho começaram a serem realizados a partir do final do século passado. Nessa época, surge nos Estados Unidos, o movimento da administração científica que ficou conhecido como taylorismo. O taylorismo é um termo que se deriva de Frederick Winslow Taylor (1856-1915), um engenheiro americano que iniciou, no final do

século passado, o movimento de “administração científica” do trabalho e se notabilizou pela sua obra *Princípios de Administração Científica*, publicada originalmente em 1912. Taylor defendia que o trabalho deveria ser cientificamente observado de modo que, para cada tarefa, fosse estabelecido o método correto de executá-la, com um tempo determinado, usando ferramentas corretas. Haveria uma divisão de responsabilidades entre os trabalhadores e a gerência da fábrica, cabendo a esta determinar os métodos e os tempos, de modo que o trabalhador pudesse se concentrar unicamente na sua tarefa produtiva.

Na realidade, estudos sistemáticos do trabalho aparecem com destaque, no período da Renascença, representado por Leonardo da Vinci (1442-1519). Neste período, surgem estudos com medidas e observações sistemáticas do homem em relação às suas atividades de trabalho. Porém, o estudo do trabalho humano, sob a óptica da organização do trabalho, começa realmente no século XX com Taylor (1911).

Entretanto, de acordo com Wisner (1987), a ergonomia com finalidade civil só começa a ganhar destaque a partir dos anos 60, quando se verifica um acréscimo significativo no número de publicações sobre o tema.

A abordagem sistêmica do trabalho também ganha força nos últimos 30 anos com o foco da ergonomia voltado aos produtos, equipamentos e dados quantificáveis do trabalho, semelhante à ênfase determinista e simplificadora da engenharia clássica. Além disto, para a indústria é atrativa a idéia de uma contribuição ergonômica de baixo custo, em que o ergonomista recorre a alguns especialistas e coleta a descrição do problema feita por alguém da direção. Eventualmente, o analista visita os locais de trabalho para obter uma análise sumária da situação.

Apesar da demanda por estudos simplificados da situação de trabalho, a necessidade de administrar a distância entre o “prescrito e o real”, presente nos sistemas produtivos, acaba motivando o desenvolvimento de abordagens mais abrangentes. Baseado nessa linha de pensamento é que surge o método “Análise Ergonômica do Trabalho” em 1955, proposto por A. Ombredane e J. M. Faverge, através do livro intitulado “A Análise do Trabalho”. Através deste livro, a idéia da tarefa prescrita pela direção é substituída pela análise das atividades do trabalho.

A “Análise Ergonômica do Trabalho” surge, portanto, para analisar as estratégias utilizadas pelos funcionários no ambiente do trabalho e para administrar a distância entre o “prescrito” e “o que é necessário realizar para que o trabalho realmente aconteça” (Guérin, 2001).

Começa-se, então, a considerar que apenas alguns aspectos da tarefa realizada pelo funcionário estão previstos e inscritos nos ensinamentos da formação profissional. Porém, há outros fatores que não estão previstos e que estão sujeitos à descoberta do trabalhador; que nem sempre tem consciência plena do que está sendo por ele descoberto, atribuindo esses “macetes” ao seu dom natural.

Essa gama de estratégias, macetes e impressões é a principal razão da realização da análise do trabalho real, ou seja, das observações e questionamentos realizados junto aos funcionários da empresa que atuam diretamente no ambiente do trabalho e que são dirigidos, não apenas às ações, mas ao manuseio das informações e às tomadas de decisões. Assumir tal definição é útil para a ergonomia por possibilitar esclarecer a distinção entre trabalho prescrito (tarefa) e trabalho real (atividade), no interior da própria definição de trabalho.

O trabalho prescrito é aquilo que resulta das características de coordenação e dos critérios adotados, prescritos em termos de uma tarefa. O trabalho real é aquilo que o sujeito realiza a fim de atender aos objetivos das prescrições.

Portanto, levando em consideração que o método da “Análise Ergonômica do Trabalho” auxilia no entendimento do trabalho real, baseando-se na análise da atividade, alguns conceitos referentes à diferenciação entre tarefa e atividade serão detalhados para um melhor entendimento e posterior discussão deste método dentro do processo de desenvolvimento de produtos considerando a prática ergonômica.

#### **2.4. A Análise Ergonômica do Trabalho (AET) para Projeto de Produto**

A estratégia utilizada para aplicar o método “Análise Ergonômica do Trabalho” em campo varia de um autor para outro, assim como em função das circunstâncias da intervenção. Porém, Wisner (1987) sugere um método cuja eficácia fundamentou-se através de diversos estudos nas mais diversas áreas. O método se divide em cinco fases, as quais estão descritas abaixo:

1. Análise da demanda e proposta do contrato;
2. Análise do ambiente técnico, econômico e social;
3. Análise da atividade e da situação de trabalho, incluindo a restituição dos resultados;
4. Recomendações ergonômicas;
5. Validação da intervenção e eficiência das recomendações.

Dessa forma, revela-se progressivamente, o funcionamento da empresa do ponto de vista da atividade de trabalho.

Para alguns, a leitura do funcionamento da empresa acontece do ponto de vista da atividade, porém, essa leitura pode ter o seu foco nas situações de trabalho coletivas e multidisciplinares. De qualquer forma, esclarecer o funcionamento da empresa contribui com a geração de discussões legítimas que objetivam a busca de meios para reconduzir as atividades dos funcionários, vistas como desencadeadoras do trabalho.

Portanto, para o ergonomista, esse tipo de análise só se justifica se ela permitir a transformação do trabalho, o que implica freqüentemente em ter acesso a uma leitura crítica do funcionamento da empresa. Essa leitura tem um caráter particular já que ela assume, como ponto de partida, a matéria pela qual os funcionários efetivamente realizam o trabalho que lhes foi confiado e em um determinado momento (Guérin, 2001).

Dessa forma, aceitar esse tipo de procedimento não é apenas mudar a forma de gerir os recursos humanos ou de conhecer os meios de trabalho, mas também, de permitir a melhor articulação entre o social e o econômico. Além disso, supõe-se com esse tipo de leitura, que os elementos do funcionamento do sistema, antes intangíveis, passem a ser passíveis de análises, questionamentos e justificativas, visando a compreensão do trabalho (Guérin, 2001).

Em relação às diretrizes da ação ergonômica, voltada para análise do trabalho, de acordo com Guérin (2001), não existe apenas um caminho. Tirando alguns princípios comuns importantes, a construção de cada análise assume um procedimento particular. Certamente, existem conhecimentos gerais na ergonomia, porém, eles não fornecem soluções prontas, para que possam ser simplesmente aplicadas nos problemas levantados.

Sugere-se que a análise do trabalho se inscreva na relação entre as necessidades sociais e as possibilidades de transformação da situação, estando em sintonia constante com a vida e as necessidades da empresa. Isso contribui para que o analista compreenda os limites do estudo que será realizado. Além dos limites existentes nos ambientes de desenvolvimento, causado por variáveis nem sempre controláveis, o analista também deve ter consciência de que, em geral, existem outras limitações que o impedem de transformar uma situação de trabalho sozinho.

Guérin (2001) mostra isso através de várias afirmações resumidas em duas razões principais, a seguir:

1. Desde 1974, ficou claramente estabelecido que a contribuição da pesquisa científica para a melhoria das condições do trabalho não é determinada apenas pela produção de conhecimento. Não há nenhuma necessidade natural que faça com que os conhecimentos produzidos no campo da pesquisa determinem a transformação e a melhoria das condições de trabalho. Portanto, a prática ergonômica contribui mais com o conhecimento científico, do que com um programa político de transformação e a melhoria das condições de trabalho.
2. A transformação das condições de trabalho é responsabilidade dos parceiros sociais. Na empresa, as mudanças resultam de um jogo contraditório de interesses e de relações de poder entre os seus integrantes.

Visando minimizar essas limitações, uma ação ergonômica voltada para análise do trabalho não deve requerer somente a concordância dos sujeitos envolvidos na análise, mas deve, principalmente, envolvê-los na construção do modelo representativo do trabalho e nas discussões que visam construir as novas relações e configurações desse ambiente. Nesse

sentido, a explicitação e a confrontação dos vários pontos de vista sobre o trabalho contribuem com a construção da representação consensual do processo de desenvolvimento (Terssac, 1992).

Durante o período de análise, o estudo deve ser retomado de maneira realista, sem a preocupação de atingir exatamente as previsões iniciais. Entretanto, todas as atividades verificadas que não estiverem se desenvolvendo satisfatoriamente devem ser objeto da análise do trabalho, a fim de se conhecerem as razões da diferença entre o “prescrito e o real”, para que as melhorias necessárias possam ser realizadas (Wisner, 1987).

Esse procedimento deve atender a uma dupla preocupação: levar em conta a globalidade da situação e escolher um nível de análise adequado para se compreender os problemas presentes (Guérin, 2001).

Em função da dinâmica desse tipo de estudo, a abrangência da ação deve ser permanentemente ajustada em todos os estágios da análise. Visando compreender com esses estágios se desenvolvem na prática desse tipo de estudo, as diretrizes do método “Análise Ergonômica do Trabalho” serão brevemente descritas no próximo item.

## **2.5. Diretrizes da “Análise Ergonômica do Trabalho”**

Considerando as diretrizes anteriores citadas, Guérin (2001) sugere um roteiro para que as mesmas sejam aplicadas em campo. Iniciando pela “análise da demanda”, pode-se dizer que a “demanda” refere-se ao objetivo da empresa contratante ao requisitar o estudo e “a sua análise” tem como meta compreender melhor a natureza e o objetivo do pedido.

Como será visto, posteriormente, nem sempre a demanda requisitada em um primeiro momento é compatível com a demanda percebida em um segundo momento, o que está de acordo com as diretrizes da ergonomia.

Após a identificação do que realmente está em jogo e por trás da demanda inicial, o analista deve preparar a proposta de ação. Essa deve apresentar os resultados que podem ser esperados, os meios necessários e os prazos, dentre outros detalhes.

Antes de analisar, em detalhes, uma ou várias situações de trabalho o analista deve procurar entender o funcionamento geral da empresa. Para isso, deve-se conversar com diferentes interlocutores e trabalhar sobre documentos. Essas investigações ajudam a avaliar melhor as dificuldades encontradas, o contexto a ser levado em consideração na análise, as evoluções previsíveis da empresa e as margens de manobra para as transformações. Devem permitir, também, formular hipóteses que ajudem a escolher a situação de trabalho que deve ser analisada em detalhes, retirando desta, os elementos que respondam às questões colocadas.

Ao longo dessas investigações, o analista deve ter em mente os elementos que motivaram a demanda, visando estabelecer relações entre os constrangimentos da situação de trabalho e a atividade desenvolvida pelos funcionários, o que contribui para a formulação de um pré-diagnóstico.

A partir dos registros das explicações fornecidas pelos funcionários, pode-se formular um diagnóstico local que seja útil à empresa. Ao se ater à “atividade real” dos funcionários, a empresa deve ter condições de entender melhor os pontos que, por estarem obstruindo o processo, devem ser objeto de transformações e melhorias.

De posse desse diagnóstico, o analista deve sugerir indicações de soluções e deve acompanhar as transformações, com o objetivo de assegurar que os aspectos relacionados com

as atividades dos indivíduos sejam considerados da melhor forma possível na nova configuração do trabalho.

Entretanto, é importante ressaltar que o roteiro previamente apresentado não deve ser entendido como uma série de métodos a aplicar, um após o outro. Pelo contrário, os ajustes e as transformações introduzidas no decorrer desse tipo de trabalho são necessários para adaptar o estudo à realidade da empresa, podendo condicionar o seu sucesso.

## **2.6. Trabalho Prescrito (Tarefa) e Trabalho Real (Atividade)**

É na metade do século XIX, quando emerge a indústria como conhecemos hoje, que a coordenação adquire o status de disciplina científica por meio da administração e engenharia de produção. O legado de Frederick Winslow Taylor (1856-1915), no movimento de administração científica do trabalho denominado Taylorismo por associar as técnicas de padronização do trabalho e dos modos operatórios, é bastante conhecido principalmente pela sua obra “Princípios de Administração Científica”, publicada originalmente em 1912.

Além do modelo, hoje superado em sua essência (Zilbovicius, 1994), a mais importante contribuição abstrata de Taylor foi a separação promovida por ele entre sujeito (planejador) e objeto (produção). Ao fazê-lo, reivindicando-se do método científico, confere à coordenação do trabalho e por sua consequência às prescrições, o caráter de conhecimento científico, dentro de um modelo de racionalidade produtiva.

Segundo Zilbovicius (1994), a dissociação entre sujeito e objeto promovida por Taylor é absolutamente coerente com o paradigma e o método científico positivista, vigentes no final

do século XIX. Para a aplicação do método, o objeto – os fatores de produção, incluindo o trabalho – deve estar completamente separado do sujeito – o engenheiro. A vinculação entre o sujeito e o objeto se estabelece a partir do projeto do trabalho, produto da ação do engenheiro. O projeto é um instrumento de prescrição àqueles que executam o trabalho direto, das ações a serem executadas.

Leplat e Hoc (1992) definem tarefa e atividade através da distinção de três categorias, referentes à tarefa prescrita, à tarefa efetiva e à atividade, conforme segue:

- A tarefa prescrita é definida por quem concebe o sistema de trabalho, em termos de meta a alcançar e das condições para a execução, através do estabelecimento das operações e das seqüências dessas operações;
- A tarefa efetiva é constituída por metas e regras provenientes da tarefa prescrita, porém, alteradas. Pois para que a tarefa se realize na prática, o sujeito muda certas regras e insere outras, resultando na tarefa efetivamente realizada pelo indivíduo;
- A atividade é tudo aquilo que o sujeito faz ou pensa para realizar a tarefa prescrita. O que o sujeito faz, compõe as atividades físicas, e o que o sujeito pensa, compõe as atividades cognitivas (Falzon, 1999). Pela própria definição, constata-se que as atividades físicas podem ser observadas, enquanto as cognitivas, não.

Segundo Leplat (1992), tanto a tarefa efetiva como a atividade não coincidem, necessariamente, com a tarefa prescrita.

De acordo com Leplat e Hoc (1992), a tarefa efetiva pode ser vista como um modelo representativo de atividade que pode ser explicitada através da sua descrição, pelo próprio

sujeito que a realiza. Ela pode ser descrita de forma mais ou menos detalhada mantendo um lado implícito maior ou menor, de acordo com o foco da análise pretendida. Com essa descrição, é possível captar as estratégias individuais adotadas pelo funcionário para concluir a sua tarefa prescrita.

Sendo assim, constata-se que a tarefa prescrita não é o trabalho, mas o que é imposto ao funcionário pelos dirigentes da organização. Ela serve para impor um modo de definição do trabalho em relação ao tempo. Ela está relacionada à necessidade de se estabelecer métodos de gestão que permitam definir e medir a produtividade, decorrente da relação do trabalho dos funcionários com os meios de produção. (Guérin, 2001).

Devido à característica da tarefa prescrita, ou seja, à sua exterioridade em relação ao trabalhador envolvido, as particularidades dos trabalhadores e o que eles pensam sobre as escolhas impostas, normalmente, são desconsiderados. Entretanto, na quase totalidade das situações de trabalho, esses constrangimentos acabam sendo administrados ativamente pelos funcionários.

Nesse caso, a definição da tarefa serve para fornecer um modelo de referência para que o funcionário formalize o trabalho. Por outro lado, os resultados desse trabalho desencadeiam uma nova representação dele, gerando um novo modelo, normalmente desconhecido pela organização.

Pode-se dizer que através do modelo representativo da tarefa prescrita são enviadas as regras para que o engenheiro formalize o processo de trabalho, ao mesmo tempo em que, os resultados do trabalho apresentam uma nova representação do processo desencadeando, portanto, um novo modelo (Pomian, 1997). Esse novo modelo é o que denominaremos aqui por trabalho real, pois, no dia-a-dia das empresas, é essa representação do trabalho que faz com

que o produto seja desenvolvido e concluído, através do gerenciamento individual e coletivo das inúmeras dificuldades, imprevistos e limites existentes.

Nesse sentido, a ergonomia questiona até que ponto é possível entender esse novo modelo através de documentações pré-existentes, de dados do produto ou através de relatos daqueles que coordenam o trabalho. Outro questionamento diz respeito à eficiência do controle imposto ao trabalho, que ocorre através de medições baseadas em tarefas prescritas, as quais desconsideram as variabilidades e limitações existentes.

Quando se analisam as definições atribuídas para os termos tarefa e atividade, segundo a engenharia clássica, constata-se que a própria definição desses conceitos atinge um patamar abstrato e teórico. Em geral, o controle imposto ao trabalho acaba se baseando em uma representação teórica, com o objetivo de reduzir, ao máximo, o trabalho improdutivo e otimizar o trabalho produtivo, a partir dos indicadores da empresa.

Esseling e Nimwegen (1997) definem, por exemplo, atividade como os acontecimentos que ocorrem no desenvolvimento do produto ou em um de seus sub-processos. Nesse caso, essa atividade pode ser conduzida por uma pessoa ou por um grupo de pessoas. Normalmente, a atividade é documentada pela empresa e serve como uma instrução para quem a conduz. Já o termo tarefa é definido pelos autores como o que é feito para conduzir a atividade prescrita pela organização, podendo se referir a um indivíduo ou a um grupo de indivíduos.

Pourcel (1987) e Lorino (1995) definem atividade como um processo que permite a evolução de um objeto informacional ou físico, de um estado a outro.

Enfim, considerando que os termos acima descritos não se aproximam do nível operacional dos processos de desenvolvimento, serão adotados neste trabalho de pesquisa os termos anteriormente descritos, referentes às conceituações atribuídas pela ergonomia de

acordo com Ombredane e Faverge (1955), Leplat e Hoc (1992), Wisner (1987), Falzon (1999), Guérin (2001) e outros previamente citados.

## **2.7. A Abordagem da Prática Ergonômica no Processo de Projeto**

A estrutura de associar a gestão de um projeto dentro de um processo social também pode existir dentro de um projeto de intervenção ergonômica para análise de um determinado posto de trabalho, isto porque se considerarmos a definição da Ergonomia Participatória e compararmos com a proposta de Bucciarelli (1996), com a afirmação de que projeto é um processo social, veremos que esta informação é válida para as duas áreas de conhecimento – Projeto e Ergonomia.

“Projeto de Engenharia é um processo no qual envolve diferentes indivíduos cada um com diferentes maneiras de enxergar o objeto do projeto, indivíduos estes que em colaboração um com outro, devem trabalhar juntos para criar, imaginar, deduzir, analisar, testar e desenvolver um novo produto de acordo com certos objetivos e requisitos – Projeto como Processo Social”.

“Ergonomia Participatória é o envolvimento de pessoas no planejamento e controle das atividades significantes dentro de seus próprios trabalhos, com conhecimento e poder suficiente para influenciar processos e resultados a fim de atingir os objetivos desejáveis – Ergonomia como Processo Social”, (Wilson, 1995).

O propósito da ergonomia participatória é usado para implementar uma mudança particular ou para ser o método de organização do trabalho ou sob de condições de mudança ou

não. O uso de ergonomia participatória em processo de projeto poderia ser visto como um caso particular de implementação ou como um outro propósito distinto.

Participantes em qualquer escopo de projeto, por mais simples que seja, trabalhando em diferentes domínios e características do sistema, terão responsabilidades diferentes, criações, achados e propostas diferentes entre o grupo de projeto, necessitando às vezes de “trade-offs”, negociações e esforços para chegar a um consenso. Diferentes participantes trabalham dentro de diferentes mundos objetos. Desta forma, as colocações sugerem que projeto independente de sua natureza é um processo dinâmico, feito em fases discretas.

Participantes em um projeto dividem a língua comum, podendo ser a nativa do país onde o projeto está sendo executado e cada linguagem do mundo objeto de um engenheiro ou ergonomista é enraizada em um paradigma científico particular do qual serve de base para a conjuntura, análise, teste e projeto dentro de um mundo. Estes termos têm especializado significado, dependendo de pessoa para pessoa e são mais do que palavras, são compostos de linguagem própria mostrada por um paradigma científico particular.

A atividade de negociação é uma das maneiras diretas de fazer a translação entre diferentes linguagens próprias de um mundo objeto, comparando as proposições e requerimentos dos diferentes participantes.

Portanto, podemos concluir que projeto, independente de seu escopo e área de conhecimento, não é apenas composto por formas e especificações, mas sim por pessoas, comportamentos, conhecimentos e principalmente entender a função primária de como as coisas funcionam, interagem e acontecem.

Tudo pode influenciar um projeto e tudo deve ser acordado antes de seu início, portanto projetar é um processo social e um negócio de sub-cultura própria de cada empresa, isto porque

não surpreendentemente as visões dos participantes deste processo social de projetar são fortemente influenciadas pelo conhecimento e entendimento das necessidades do projeto e da organização. Para os participantes deste projeto, o objeto ou a forma é apenas um tipo de ícone que empurra o conjunto de atitudes e caminhos de como pensar em resolver um problema, e estes conjuntos de atitudes e caminhos precisam ser negociados.

Isto nos leva a crer na hipótese que projeto não é um processo autônomo (depende de inúmeros fatores), não é apenas um princípio científico; mais do que isto, é a evolução da técnica que os humanos precisam para interagir com tecnologia, leis, mercados, culturas, pessoas e todos os demais ingredientes de um processo de projeto, práticas de sub-culturas que cada empresa possui, levando-nos a concluir que projeto é um processo social!

No capítulo anterior foram apresentados os fundamentos de projeto e ergonomia, e os objetivos dos mesmos. Na seqüência, iremos apresentar a contribuição da análise ergonômica do trabalho no desenvolvimento de novos produtos, bem como em uma eventual intervenção ergonômica de um reprojeto (produto já existente).

Para um melhor entendimento de como a Análise Ergonômica do Trabalho (AET) pode ser útil para uma situação de reprojeto, fornecendo informações úteis oriundas do diagnóstico e recomendações ergonômicas, quando se quer considerar o fator ergonomia no projeto do produto, iremos detalhar de forma mais abrangente o método da Análise Ergonômica do Trabalho.

Análise da Demanda: o ponto de partida de toda intervenção ergonômica é a delimitação do objeto de estudo de acordo com a demanda. Independentemente da relação que o ergonomista tenha com a situação em estudo, a análise da demanda deve ser realizada. A formulação da demanda, ou seja, identificados os problemas no campo da ergonomia que

deverão ser estudados, permite estabelecer as possibilidades e limites para a intervenção e definir as técnicas a serem utilizadas no processo de análise/síntese. São fundamentais nesta fase, dados do serviço médico e os indicadores gerais de produção.

Para compreender a demanda, o ergonômista deve estudar ou estar familiarizado com os aspectos técnicos, econômicos e sociais da empresa, conhecer a tecnologia que os homens operam e a linguagem correspondente que adotam. É necessário considerar os aspectos econômicos que delimitarão as soluções que serão propostas. Levar-se-á em conta os dados sociais como tempo de serviço na profissão, perfil geral dos trabalhadores, grau de escolaridade e as condições de vida.

Em paralelo, a abordagem de qualquer situação exige a realização de uma revisão bibliográfica a respeito do objeto em estudo. Revistas e periódicos especializados, livros da área, relatórios de trabalhos anteriores e dados de Internet relacionados a empresas do setor, deverão ser consultados.

A análise da demanda constitui-se numa fase preliminar onde o analista de ergonomia confronta os conhecimentos adquiridos sobre a situação concreta de trabalho com aqueles que já possui sobre o homem em atividade. Desta confrontação surgem hipóteses explicativas para a carga de trabalho que orientarão o prosseguimento do estudo. Em cada fase da análise estas hipóteses irão sendo refinadas e aprofundadas, na medida em que o estudo avança. Ainda durante a análise da demanda, os ergonômistas buscam:

- a) Discutir os objetivos do estudo com o conjunto das pessoas envolvidas;
- b) Obter a aceitação dos trabalhadores que ocupam o posto (ou postos) a ser estudado. A participação destes trabalhadores é, de fato, indispensável para realizar uma boa análise das atividades;

- c) Esclarecer as respectivas responsabilidades, tanto do analista, quanto da direção da empresa, dos trabalhadores e das organizações destes, em relação ao desenvolvimento do estudo e da utilização dos resultados.

Ao final da análise da demanda, o ergonomista deverá ter reunido dados acerca da situação ergonômica da empresa, o sistema produtivo, a população de trabalhadores envolvida e a situação de trabalho.

Análise da Tarefa: é o estudo daquilo que o trabalhador deve realizar e as condições ambientais, técnicas e organizacionais desta realização. É fundamental conhecer como o trabalho é organizado e prescrito no interior da organização pela engenharia de métodos. Nesta fase, as interações se dão fundamentalmente entre os analistas de ergonomia e o corpo técnico e gerencial da empresa. A análise da tarefa encerra-se com o refinamento de hipóteses acerca das condicionantes do trabalho, indicando as situações onde o estudo deverá ser aprofundado e quais as variáveis deverão ser investigadas com maior rigor.

Dois tipos de instrumentos são fundamentais nesta etapa: um primeiro, visando conhecer o trabalho prescrito e as condicionantes para a sua realização; outro que visa captar a percepção dos trabalhadores acerca dos problemas na execução da tarefa.

A confrontação entre a percepção dos trabalhadores, as variáveis identificadas pelos ergonomistas e a revisão da literatura, possibilita ao final desta etapa estabelecer quais tarefas deverão ser analisadas com maior profundidade. O que se realiza na etapa de análise da atividade.

Análise da Atividade: é o que o trabalhador realiza para executar a tarefa. É a análise das condições reais de execução e das condutas do homem no trabalho. Assim como na fase anterior deve-se proceder a uma descrição o mais detalhada possível das atividades do

trabalho. No geral são avaliadas as posturas, ações, gestos, comunicações, direção do olhar, movimentos, verbalizações, raciocínios, estratégias, resolução de problemas, modos operativos, enfim, tudo que possa ser observado ou inferido das condutas dos indivíduos. Ainda, tal descrição é obtida a partir da interação com os operadores, em entrevistas pessoais ou coletivas. Os resultados destas entrevistas devem ser retornados aos mesmos, realizando o que se chama na ergonomia de auto-confrontação, verificando se a descrição realizada pelo analista corresponde à representação que os operadores possuem da atividade de trabalho.

Do ponto de vista instrumental, são duas as principais técnicas utilizadas nesta fase. Uma voltada para estabelecer as diferenças entre o trabalho prescrito e o trabalho real. Outra para aprofundar as análises do ponto de vista fisiológico e biomecânico.

Paralelamente, análises cinesiológicas e biomecânicas das atividades são realizadas. Tais análises consistem em descrições detalhadas das posturas assumidas pelos sujeitos e das exigências sobre os seguimentos corpóreos em termos de cargas e posturas.

Os dados obtidos devem ser confrontados com os conhecimentos científicos e com as diferentes interpretações no interior da organização acerca da situação de trabalho em estudo. Ao final da análise da atividade, os analistas refinam as hipóteses explicativas da carga de trabalho, corroborando ou refutando as hipóteses anteriores. A análise da atividade é encerrada com a formulação de uma explicação global para a atividade de trabalho, para a qual se utiliza o Modelo Integrador da Atividade de Trabalho.

Diagnóstico: a síntese da análise ergonômica do trabalho inicia-se com o diagnóstico da situação de trabalho que fundamentará o caderno de encargos de recomendações ergonômicas. O diagnóstico representa a recomposição das análises parciais realizadas. Os dados levantados

anteriormente servirão como argumentos a serem confrontados e integrados numa síntese que reflita os aspectos determinantes da situação de trabalho.

As conclusões de uma análise ergonômica devem conduzir e orientar modificações para melhorar as condições de trabalho em específico e da situação de trabalho, em termos gerais, equacionando os critérios de saúde e produtividade. As soluções apontadas no diagnóstico deverão ser testadas na forma de protótipos ou em ambientes virtuais.

A aprovação de uma solução deve obedecer dois critérios: deve ser adequada à atividade, sob o ponto de vista dos trabalhadores e dos gestores envolvidos, assim como sobre critérios ergonômicos.

Caderno de encargos: as propostas testadas e aprovadas passam a constituir um caderno de encargos, tornando-se referência para projetos futuros e das práticas cotidianas no posto estudado. Estes deverão conter:

- a) Descrição geral do setor ao qual se destina;
- b) Descrição dos principais problemas encontrados;
- c) Revisão da literatura sobre as questões evidenciadas;
- d) Listagem dos princípios que orientam o projeto do trabalho no setor;
- e) Dispositivos técnicos e organizacionais recomendados para cada atividade.

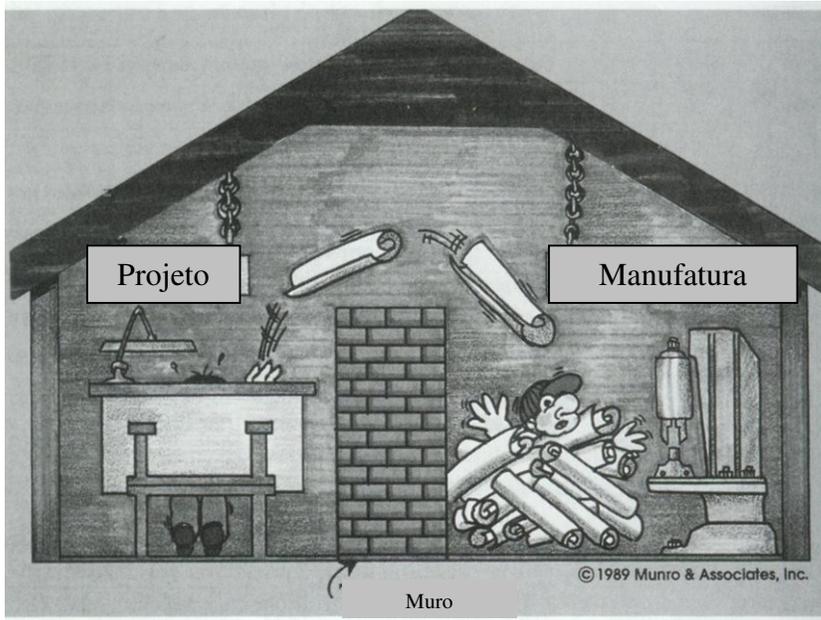
Considerações: a apresentação geral do método AET e das principais técnicas utilizadas no decorrer do projeto visam estabelecer um referencial comum no interior da rede de relacionamentos necessária para o sucesso do estudo. Ergonomia, como qualquer outra disciplina, torna-se simples a partir do momento que se compreendem seus métodos e pressupostos. Nesse sentido, o próximo tópico apresenta a definição do método DFA – Design

for Assembly – método este contido no escopo da mentalidade enxuta para o desenvolvimento de novos produtos e para reprojeto de produtos existentes.

O objetivo da proposição do uso do método DFA nos processos de desenvolvimento de produtos é que sirva de apoio para os engenheiros tanto no ponto de vista de se projetar um “produto enxuto”, bem como atuar preventivamente nos fatores relacionados à ergonomia do processo de montagem do produto, quando este vier a ser manufaturado em uma determinada organização.

## **2.8. Design for Manufacturing and Assembly – DFMA**

Boothroyd (2002) cita que durante muito tempo as atividades de projeto eram tratadas separadamente das de fábrica. Adotava-se a visão de que os projetistas tinham a função de conceber o produto e projetá-lo ao seu modo, não restando escolha aos responsáveis pelo processo produtivo a não ser encontrar uma solução viável para produzi-lo. De forma resumida, os projetistas impunham seus projetos e os especialistas em processo tinham que adaptar a linha de produção aos novos produtos. Essa forma de pensamento, de acordo com o referido autor citado acima é ilustrada pela expressão “nós projetamos, você fabrica” e também é conhecida por abordagem “por cima do muro”, na qual o projetista fica sentado de um lado do muro e joga seus projetos para os engenheiros de manufatura, que ficam do outro lado do muro. Estes têm que lidar com os problemas de manufatura que surgem no momento da produção.



**Figura 01:** Ilustração da abordagem “por cima do muro”. Fonte: adaptado de Boothroyd (2002).

Como consequência da falta de comunicação entre os projetistas de produto e processo, muitas das características definidas durante a fase de projeto exigiam operações de fabricação e montagem complexas, consideradas até impossíveis de serem realizadas. Dessa forma, essas características tinham que ser novamente projetadas, o que além de incorrer em custos, atrasava o lançamento do produto implicando em perdas competitivas.

Uma forma de resolver este problema consiste em consultar os engenheiros de manufatura durante o projeto. Os grupos de trabalhos resultantes são chamados de times de Engenharia Simultânea.

Esses times necessitam de algumas ferramentas para ajudá-los a analisar as propostas de projeto e avaliá-las do ponto de vista da manufatura e montagem. Essas ferramentas são as técnicas de DFMA. (Boothroyd, 2002).

Basicamente o DFMA consiste em considerar os processos de fabricação e montagem durante o projeto do produto. Para tanto, existem diversas técnicas, ferramentas e métodos que utilizam conceitos variados, que vão desde a análise de valor até o formato das partes (peças ou componentes) e produtos. Essa consideração beneficia tanto o processo de fabricação e montagem manual quanto o automático.

Para que os benefícios provenientes dessa tecnologia sejam alcançados, é indispensável que o projeto seja concebido e desenvolvido por times multifuncionais, isto é, um grupo composto por especialistas de diferentes áreas, também chamado de time de Engenharia Simultânea. Assim, em vez de o projetista se especializar em processo, os especialistas da produção que realmente conhecem as dificuldades e limitações dos processos, auxiliam no desenvolvimento do produto, avaliando e sugerindo melhorias.

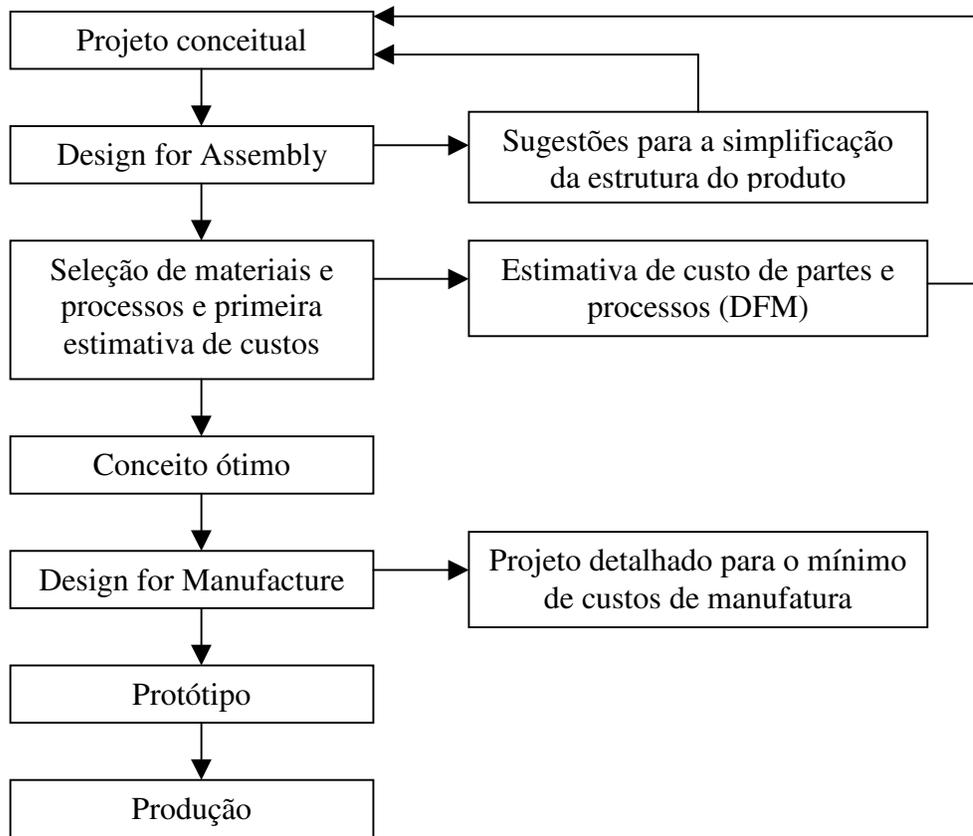
O DFMA desdobra-se em DFM (Design for Manufacturing) e DFA (Design for Assembly). Ambos possuem, em síntese, o mesmo objetivo do DFMA, isto é, aumentar a eficiência dos processos de produção do produto (fabricação e montagem), ou melhor, facilitar a obtenção do produto. Dessa forma, ambos possuem técnicas similares.

O DFM, também conhecido como “projeto do produto voltado à manufatura”, consiste em assegurar que as partes individuais dos produtos (que serão agrupadas/montadas formando o produto final), assim como os produtos finais (caso este seja uma peça única), sejam fáceis de serem fabricados ou manufaturados. O DFM objetiva eliminar características desnecessárias das peças que as tornam difíceis de serem manufaturadas. Com isso, por exemplo, previne-se que se desperdice tempo e recursos na obtenção de produtos com acabamentos e tolerâncias melhores que o necessário.

Já o DFA, também conhecido como “projeto voltado à montagem”, consiste em assegurar que a montagem do produto seja realizada de forma fácil e rápida. Esta abordagem será detalhada nos tópicos que se seguem.

O procedimento de DFMA, como visto anteriormente, se inicia na aplicação do DFA após a primeira definição do conceito do produto. Boothroyd (2002) defendem que, embora a utilização do DFMA demande mais tempo nesta fase do que a abordagem tradicional, esse tempo é mais que compensado na fase de protótipo, pois é neste estágio que começam a surgir os problemas de fabricação e montagem, que impõe a necessidade de modificações no projeto, sendo que algumas dessas são consideráveis e resultam, além de aumento de custo, em um atraso para a conclusão do projeto.

Da execução do DFA, conforme acredita Boothroyd (2002), surgem várias alternativas de projeto (simplificação da estrutura do produto), de modo que a cada avaliação feita as características do produto vão sendo aperfeiçoadas e este é novamente desenhado. Em seguida ao DFA, faz-se uma prévia avaliação dos materiais e processos a serem empregados, assim como uma estimativa de custos. Com isso, atinge-se um conceito ótimo. A partir de então, faz-se uma completa análise dos processos e materiais e obtém-se um desenho detalhado das partes. De posse desse desenho detalhado, o protótipo pode ser construído e, por fim, se este for aprovado, a produção pode ser iniciada. Esse procedimento encontra-se ilustrado na figura 02:



**Figura 02:** O Processo de DFMA. Fonte: adaptado de Boothroyd (2002)

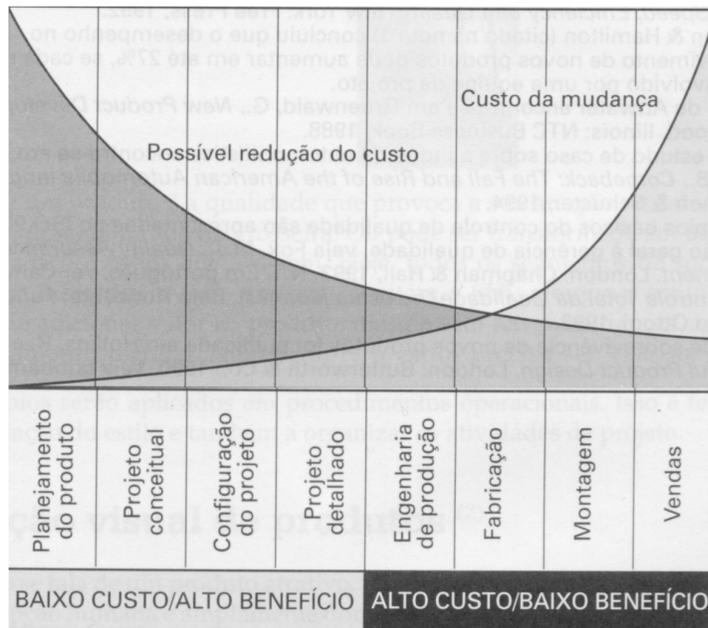
## 2.9. Design for Assembly (DFA)

DFA é uma metodologia de análise que fornece ao projetista uma estrutura de raciocínio ou orientações para que o produto seja desenvolvido de forma a facilitar o processo de montagem. Em outras palavras, o DFA é um método de projeto de produto, voltado para a produção, que visa reduzir o esforço e o custo associado ao processo de montagem. Esta metodologia parte da idéia de que não há vantagem em melhorar o processo se o próprio produto é problemático. Assim, durante a criação de um novo produto, o DFA deve ser

aplicado desde a fase inicial do projeto, isto é, desde o conceito do produto, pois é nessa fase que, além de se identificar as necessidades que o produto objetiva suprir, definem-se suas especificações, que influenciam diretamente nas opções de métodos de projeto, os quais devem ser considerados cuidadosamente, já que as decisões do projetista definirão as características do processo de montagem do produto.

O DFA também pode ser aplicado para analisar, criticar e refazer o projeto de produtos já existentes, porém, pesquisas têm mostrado que as decisões feitas durante a fase de projeto determinam 70% dos custos dos produtos, enquanto as decisões feitas durante a produção respondem a apenas por 20% desses custos. Outra observação importante relata que, decisões feitas durante os primeiros 5% do projeto do produto podem determinar a vasta maioria dos custos do produto e características de qualidade e fabricação. Dessa forma, o estágio inicial do desenvolvimento é crucial para a definição do custo do produto.

Na figura 03, pode-se observar que o início do projeto do produto determina a maior parte do custo do novo produto, pois as possibilidades de redução de custo são maiores na fase inicial do projeto e o custo de fazer qualquer tipo de modificação aumenta conforme se avança no processo de desenvolvimento (é mais fácil modificar desenhos do que protótipos). Assim, a chave para o sucesso do produto é investir na fase inicial do projeto.



**Figura 03:** Custos e benefícios em diferentes estágios do processo de desenvolvimento. Fonte: Baxter (1998)

A metodologia fundamenta-se na redução de partes, isto é, diminuição do número de peças por produto e do número de tipos de peças (atingir um número mínimo de componentes). Para isso, esta filosofia utiliza soluções simples e criativas. Essa simplificação na estrutura do produto pode ser resultado da eliminação de partes, da conjugação dessas (agrupar várias peças em uma, eliminando operações de montagem) ou também, do melhoramento do formato da peça.

Companhias que usam DFA têm informado uma redução do número de partes, fornecedores, ferramentas e operações de montagem, diminuição do espaço e tempo necessário para a montagem em até 85%. (Stark, 1998).

Como citado anteriormente, a redução de peças não diz respeito somente à diminuição do número de partes pertencentes ao produto (por exemplo: reduzir o número de parafusos),

mas também está relacionada à redução da variedade de peças (por exemplo: diminuir o número de tipos de parafusos, isto é, procurar usar um número menor de modelos). Esse aspecto possibilita a utilização do enfoque modular, o qual defende o uso de componentes e subconjuntos ou módulos comuns aos produtos fabricados. Com isso, pode-se aumentar a variedade de produtos através da diferente combinação desses módulos. A idéia do projeto modular é aumentar a diversidade de produtos, exigida pelo mercado, sem aumentar a variedade de processos. O projeto modular proporciona a redução de ajustes de montagem, pois os módulos podem ser testados antes de serem montados no produto final, facilita a desmontagem e a troca de peças (menos peças para desmontar e menor necessidade de ferramentas).

## **2.10. Vantagens do DFA**

Basicamente, o DFA se baseia na redução do número de partes. Com isso, há uma redução do volume de matéria-prima estocada e, conseqüentemente, redução do custo e espaço de armazenagem. Ainda, traz a redução das operações de montagem (que ocasiona a diminuição do tempo de montagem, reduzindo o lead time de produção e aumentando a produtividade) e, como conseqüência, reduz o número de operadores (reduzindo o custo do processo), de ferramentas (a redução de ferramentas além de trazer diminuição de custo, pode também representar um aumento de segurança), de verificações de qualidade associadas às operações de montagem (além de reduzir custo causa o aumento de qualidade, pois diminui a probabilidade de ocorrer uma montagem mal feita) e do espaço necessário para se efetuar a

montagem. Além disso, se o número de tipos de peças é reduzido, há uma diminuição do número de fornecedores, do custo de inspeção, do custo de pedido e da possibilidade de serem utilizadas peças defeituosas.

Contudo, o objetivo de reduzir o número de partes pode levar a criação de peças altamente integradas e complicadas, o que pode trazer grande dificuldade e aumento de custo durante a sua fabricação. Porém, como citado, o DFA não pretende somente reduzir o número de partes, mas também promover a simplificação dessas, o que além de melhorar o processo de fabricação, facilita o manuseio, torna mais fácil e agiliza os testes de peças/subconjuntos/produto final e simplifica as operações e métodos de montagem, contribuindo assim, para a redução do custo e lead time de montagem, aumento da segurança e saúde dos operadores e qualidade do produto final. Assim, além de trazer benefícios de custo e tempo, o DFA também promove a melhoria da qualidade, segurança e saúde (Ergonomia).

Em adição, quando o produto já é projetado sob esse aspecto, isto é, buscando antever e prevenir-se contra possíveis necessidades de mudança e dificuldades de adaptação do processo ao novo produto, a transição da fase de projeto para a produção ocorre de forma mais rápida, menos penosa e onerosa. Com isso, há uma redução do tempo decorrido entre a criação do produto e a entrega deste ao cliente, o que traz vantagens competitivas, pois a dinâmica do mercado exige que as empresas aumentem a variedade de produtos oferecida e façam os lançamentos em prazos cada vez mais curtos.

Outra vantagem a ser considerada é que, como o enfoque é reduzir o número de partes, o tempo de projeto é reduzido, pois um número menor de peças será projetado. Esse tempo é ainda mais reduzido se o projetista procurar utilizar peças facilmente encontradas, isto é, as chamadas “peças de prateleiras”, pois considerando que o produto será constituído

relativamente por poucas peças, estas podem ser padronizadas, o que facilita o projeto (o projetista pode utilizar desenhos prontos como rascunho ou reutilizá-los no novo projeto) e o controle de estoque, reduzindo custos. Além disso, a padronização de peças favorece a padronização de processos.

Esse enfoque de projeto proporciona um aprimoramento do sistema de produção como um todo, que engloba desde o fornecedor até os sistemas de distribuição, incluindo o sistema de movimentação de materiais, o sistema de armazenamento de materiais, o processo de montagem e os operadores da linha. Os fornecedores têm a fabricação de seus produtos facilitada; os sistemas de armazenamento e movimentação de peças têm sua complexidade reduzida, já que peças com desenhos simplificados utilizam contentores mais simples e, conseqüentemente, menos dispendiosos (exigem menos cuidados), facilitando o processo de embalagem e transporte; peças simples são mais fáceis de manusear, posicionar, orientar/alinhar e encaixar, facilitando a operação de montagem e reduzindo o desgaste físico e mental dos operadores.

O uso do DFA permite também uma contínua avaliação do projeto, já que é um processo metódico (passo-a-passo) que envolve disciplina, fornece resultados quantitativos (medida de eficiência de projeto em relação à montagem), promove soluções criativas para os desafios de projeto e proporciona um foco para os grupos de Engenharia Simultânea.

Vale ressaltar que partes eliminadas nunca serão projetadas, seus protótipos não serão construídos, não serão produzidas, testadas, descartadas, inspecionadas, rejeitadas, estocadas, processadas, montadas e compradas; sua validade nunca será atingida e sua entrega nunca será atrasada. A execução dessas atividades para peças desnecessárias são custos que não agregam valor ao produto.

## 2.11. Integração entre Ergonomia e Design for Assembly

A preocupação de integrar o projeto do produto (design), projeto do processo e ergonomia tem origem nas evidências de que no processo de concepção tanto do produto, como nos dispositivos técnicos necessários para a montagem, os engenheiros de produtos e processos partem de uma representação do homem no trabalho que irá condicionar qualquer atividade, aqui entendida no sentido conceituado pela ergonomia.

A hipótese é sustentada no conceito de técnica: ato tradicional eficaz, o qual comporta a categoria trabalho, atividade coordenada útil (Dejours, 1997). A consideração de que a técnica pressupõe um ato do corpo cujo conteúdo no campo do trabalho é representado pela atividade, leva a ergonomia a buscar uma aproximação com o projeto do produto e projeto do processo na fase conceitual, bem como com as atividades dos engenheiros e projetistas.

Daniellou (1989) aborda a questão das representações implícitas dos processos de concepção industrial e da necessidade de explicitação destes modelos, preocupando-se com o desenvolvimento das colaborações entre os ergonomistas e os atores da concepção. Garrigou (1994) discute o posicionamento da ergonomia:

O papel do ergonomista está em transformação; deste modo ele não é mais somente um fornecedor de dados ergonômicos ou conhecimentos sobre o funcionamento do homem. Ele também é um ator de trabalho do ponto de vista da saúde e sua eficácia; para atingir estes objetivos ele vai buscar transformar as representações dos projetistas atuantes sobre o ser humano em situações de trabalho.

Neste capítulo será estabelecido a partir da teoria que fundamenta o Projeto, Ergonomia e Design for Assembly um referencial conceitual para a intervenção ergonômica que, em sua

dimensão material, irá assumir as diferentes formas dos produtos e componentes, cujo fim estará associado tanto aos clientes internos (fases de execução do produto – montagem) como aos clientes externos (consumidores finais do produto).

Para buscar um melhor entendimento entre a integração da Ergonomia e o método Design for Assembly (DFA) será tratado neste capítulo, numa primeira etapa, da adoção de um modelo entre Ergonomia e Projeto e, na sequência, a aplicação deste modelo nas variáveis de respostas em uma etapa da análise ergonômica do trabalho (recomendações ergonômicas), obtidas num estudo de caso conduzido sob o enfoque da ergonomia e projeto.

Objetiva-se avaliar a capacidade do modelo de desenvolvimento do produto em apresentar soluções em nível de intervenção ergonômica com eficácia e eficiência, absorvendo conceitos e técnicas do campo da ergonomia.

O processo de obtenção de um produto se inicia com a sua concepção, na qual surge a idéia do produto e se define, entre outros fatores, as suas principais características. Depois de concebido, o produto é conceituado, detalhado e, por fim, fabricado e/ou montado.

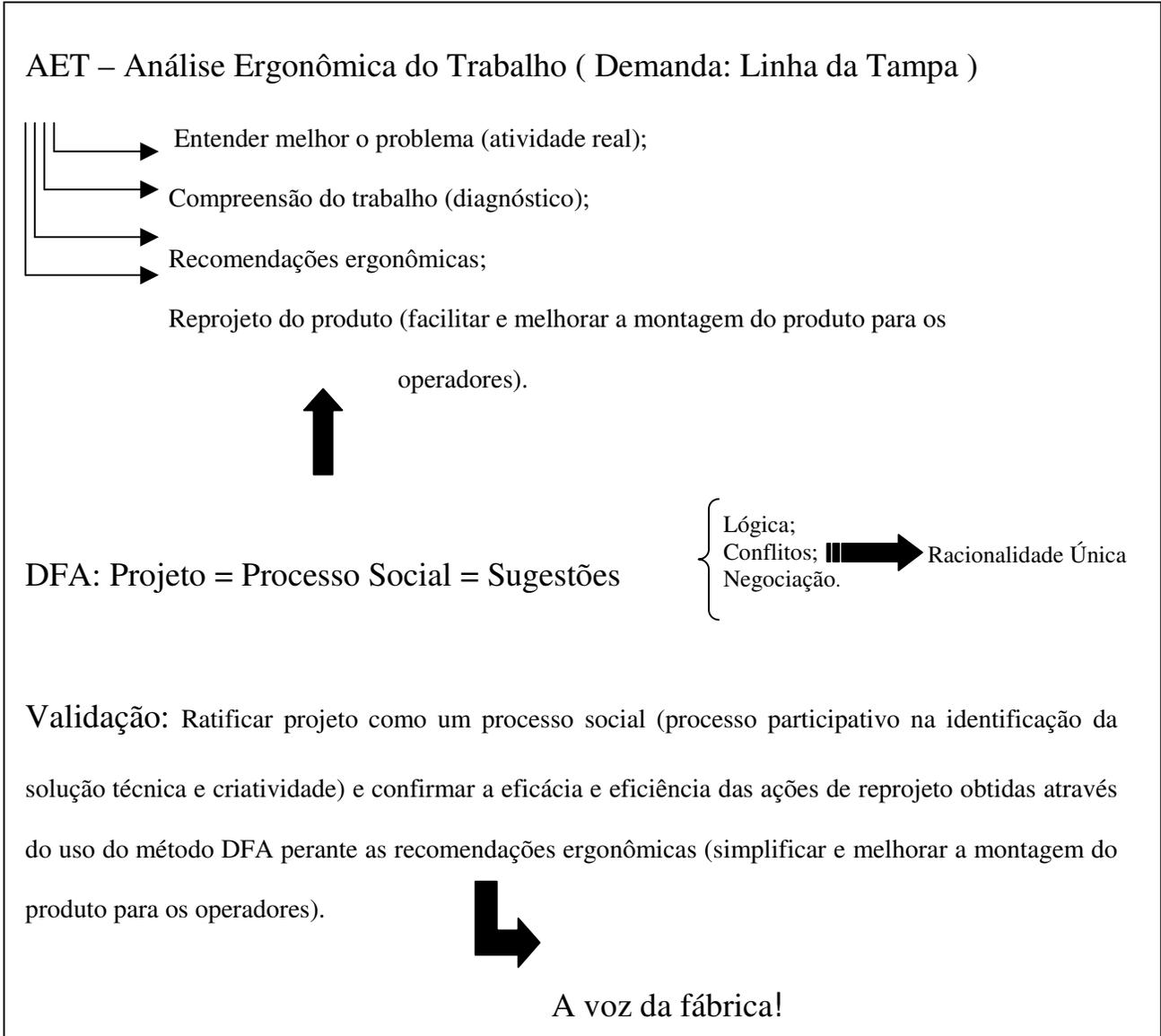
Muitas vezes, no momento da produção surgem dificuldades na execução dos métodos propostos e na utilização dos equipamentos, ferramentas e dispositivos estabelecidos que prejudicam, e até mesmo impossibilitam, o funcionamento do processo produtivo. Com isso, surge a necessidade de se refazer o projeto, o que além de desperdiçar recursos monetários, atrasa o lançamento do produto, implicando em perdas competitivas.

Além da influência das características de procedimentos e equipamentos de trabalho, existe ainda o fator humano. De modo geral, muitas operações de montagem são executadas por pessoas que introduzem subjetividade e incertezas no processo. Isso ocorre porque, em primeiro lugar, a natureza humana é diversificada, isto é, as pessoas são diferentes (enxergam,

pensam, raciocinam e executam as atividades de formas diferentes); ainda, o ser humano não é constante, ou seja, ao longo do dia, as pessoas sofrem tanto variações físicas como emocionais, o que faz com que o mesmo operador não trabalhe sempre do mesmo modo e no mesmo ritmo. Essas variações, aliadas às complicações do processo produtivo, contribuem para o surgimento de desperdícios que podem ser representados por atrasos e erros de montagem. Esses desperdícios se revelam na forma de custos, dos quais pesquisas realizadas na área revelam que mais de 40% dos custos totais de produção ocorrem devido ao processo de montagem manual.

Dessa forma, o processo de fabricação e/ou montagem e as pessoas que o executam são alguns dos principais responsáveis pela produtividade, isto é, definem a quantidade de produtos produzidos para um determinado uso de recursos. Este volume de produção está relacionado ao tempo de processamento que, por sua vez, depende da forma como o processo foi projetado, de como o processo é executado e, principalmente, do projeto do produto, já que o desenvolvimento dos métodos de fabricação e/ou montagem tem como base as características do produto.

Por estes motivos, devemos acreditar que o projetista deve ser capaz de ver as conseqüências e efeitos que suas decisões irão causar no processo de montagem. Assim, durante o desenvolvimento do produto, o projetista deve considerar tanto as limitações de processo quanto as limitações humanas, isto é, deve considerar as restrições dos operadores. Com isso, conclui-se que, se o projeto do produto visar à simplicidade tanto da estrutura do produto (menor número de partes e de tipos de partes) como do seu formato e de suas peças, o processo será menos complexo, mais compreensível e, portanto, mais produtivo.



**Figura: 04** – Modelo de Integração entre Ergonomia (AET) e Projeto (DFA).

## 2.12. Questões da Pesquisa e Hipóteses

A filosofia da qualidade de vida no trabalho pregada atualmente faz com que as empresas se preocupem cada vez mais com a saúde e a segurança de todos os seus funcionários e colaboradores, dedicando atenção especial aos operadores de linha de montagem, cujas atividades envolvem, muitas vezes, movimentos inadequados sob o ponto de vista ergonômico, o que pode trazer prejuízos consideráveis tanto para os funcionários quanto para a própria empresa.

Ainda, a redução de custos e o aumento da produtividade são fatores de grande preocupação contemporânea e que, portanto, recebem uma ênfase elevada. Uma forma de se obter tais vantagens é projetar de modo a simplificar o processo produtivo, pois quanto mais simples o produto, menor será a dificuldade, o esforço, o tempo e o custo necessários para produzi-lo, gerando produtos de qualidade e de baixo custo, assim como trabalhadores satisfeitos e produtivos.

Nesse sentido, a Ergonomia, realizada pelo método Análise Ergonômica do Trabalho dos operadores, através do levantamento dos problemas ocorridos em situações reais de trabalho na montagem de um determinado produto, pode contribuir fornecendo diretrizes aos projetistas para o desenvolvimento de novos produtos ou reprojeto dos mesmos, no sentido de facilitar o processo de montagem através de soluções técnicas geradas a partir do conhecimento da causa raiz.

A AET cumpre o papel de revelar as diferentes determinantes sobre o trabalho no campo material e imaterial, articulando-as em uma base conceitual derivada dos conhecimentos acerca do homem no trabalho.

Já o projeto do produto deve objetivar a transformação das recomendações ergonômicas em soluções integradas com os diferentes aspectos que determinam a situação do trabalho, pois a integração entre estas duas disciplinas passa necessariamente por uma racionalidade derivada do campo da ação. Tal racionalidade constitui uma reinterpretação da situação de trabalho cuja síntese deriva das colaborações individuais de trabalhadores, supervisores, gerentes, engenheiros, pesquisadores e profissionais envolvidos no projeto.

O QFD, a Análise de Kano e a Matriz de Pugh são alguns exemplos de métodos e técnicas utilizadas para integrar métodos participativos da ergonomia com a mesma perspectiva em projeto. Entretanto, se uma das características da metodologia DFA é a de reduzir o número de operações de montagem reduzindo o número de componentes e tornar as operações de montagem mais fáceis de desempenhar, esta metodologia poderia ser aplicada em ergonomia, uma vez que auxilia a atividade de projeto das situações de trabalho, mais precisamente na etapa de geração de alternativas e análise viabilidades para a simplificação da estrutura do produto.

Desta forma, a principal hipótese desta pesquisa é mostrar que o uso do método Design for Assembly pode ser estendida aos reprojatos de produtos para obtenção de soluções técnicas nas situações de intervenções ergonômicas.

### **2.13. Conclusão**

Baseando-se nas revisões bibliográficas feitas nos capítulos anteriores, podemos dizer que há uma aderência entre Ergonomia, representada pelo método AET e DFA, pois os mesmos interagem buscando simplificar ou facilitar a vida dos operadores, através da análise da atividade e simplificação da estrutura do produto.

Desta forma, seria factível adotar o método DFA após a avaliação ergonômica de postos de trabalho, pois os projetistas poderiam simplificar as operações de montagem atuando nas fontes geradoras dos potenciais de riscos ergonômicos no projeto do produto.

### **3.0. METODOLOGIA**

#### **3.1. Introdução**

Em razão da empresa onde a pesquisa foi realizada aceitar fornecer informações e dados referentes ao assunto pertinente ao tema, foi adotada a metodologia de estudo de caso, em que através de treinamento para um determinado grupo de pessoas, foi realizada a AET em um setor específico da empresa; no caso, uma linha de montagem de um modelo de produto onde havia uma demanda relacionada a problemas de ergonomia (potencial de DORT), com o objetivo de capacitar o grupo na disciplina ergonomia, bem como gerar melhorias no processo de montagem através de modificações no projeto do produto, utilizando para isto, o método DFA (Design for Assembly).

Através da pesquisa bibliográfica procurou-se explicar o problema a partir de referências teóricas publicadas em documentos, livros e teses, buscando conhecer e analisar as contribuições culturais e científicas do passado, existentes sobre o assunto Projeto e Ergonomia.

## **3.2. Procedimentos de Pesquisa**

### **3.2.1. Estudo de Caso**

A demanda pelo projeto em questão, teve origem na manifestação da Gerência de Manufatura da empresa em capacitar um grupo de pessoas para a realização de projetos de ergonomia, através do método AET para, posteriormente, executarem melhorias e laudos técnicos ergonômicos nos projetos existentes ou em novos projetos.

O trabalho demandado envolvia postos de trabalho de uma linha de montagem, denominada linha da tampa; processo este que apresentava uma maior quantidade de queixas associadas a parestesias, perda de força nas mãos, fadiga, dor em região tênar entre outros sintomas, aparentemente relacionados às características intrínsecas ao processo de montagem, tais como conexões de redes elétricas, parafusamentos, montagens, inspeções visuais, etc. A linha é responsável pela montagem da tampa de lavadoras. Nesta linha, trabalham em média 12 pessoas. O número de postos varia de acordo com o modelo de produto que está sendo produzido.

A negociação do contrato deu-se sobre alguns princípios básicos que julgamos essenciais para este tipo de trabalho: livre acesso às informações, participação dos trabalhadores no processo, divulgação negociada e compartilhada de informações. Tais princípios foram condições *sine qua non*, pois, ao mesmo tempo em que possibilitou a realização do projeto de ergonomia, resguardaram o sigilo industrial da empresa.

O contrato firmado acima, estabeleceu os seguintes resultados:

- a) um diagnóstico da situação ergonômica de trabalho;

- b) recomendações ergonômicas através de reprojeto do produto e processo;
- c) as prioridades do reprojeto do produto e processo;
- d) o período para a realização e término do projeto de ergonomia.

### **3.2.2. Análise Ergonômica do Trabalho, Diagnóstico e Recomendações**

Nesta fase, dois diferentes grupos de trabalho denominados prescrito e atividade estavam atuando de forma interdependente, procuraram responder questões relacionadas à saúde dos trabalhadores e ao sistema produtivo, para entender os inter-relacionamentos entre fatores de produção com os fisiológicos, seus sintomas e as atividades desenvolvidas. Simultaneamente, os diferentes grupos de trabalho realizaram uma revisão objetivando estabelecer uma conceituação teórica para DORT, suas causas, formas de tratamento e prevenção. As principais questões levantadas pelo estudo realizado nesta etapa foram:

- a) os postos críticos de trabalho, relacionando o potencial de surgimento de lesões com as atividades;
- b) os padrões das lesões em potencial relacionadas a cada atividade;
- c) postos críticos de trabalhos e suas relações diretas de causalidades.

Os estudos realizados possibilitaram ao grupo do projeto, após um período de 6 meses de investigação, formar uma representação e contextualizar os possíveis casos com potenciais sugestivos de DORT no sistema de produção da empresa em questão. O tratamento, cruzamento e análise dos dados levantados apontaram alguns fatores significativos na unidade. Esta etapa encerrou com a apresentação do diagnóstico e de recomendações envolvendo:

- a) regularização dos ritmos de produção, balizando os níveis de produção desejados com os rendimentos da linha de montagem;
- b) adequação dos postos de trabalho às características antropométricas e biomecânicas dos indivíduos;
- c) mudanças organizacionais envolvendo pausas, relações funcionais e pessoais, formação e treinamento.

A tabela 1 abaixo sistematiza as atividades realizadas e as técnicas empregadas durante a realização da AET na Linha da Tampa.

Atividade	Técnicas	Resultados
Informações gerais sobre os indivíduos	Entrevistas; Consulta aos dados do serviço médico da empresa.	Dados etários e de gênero; Setores de ocorrência; Severidade; Padrões das lesões; Afastamentos; Tempo médio das lesões; Incidência atual; Ocasão da incidência; Localização inicial dos sintomas; Estágio das lesões; Lesões por tipo de atividades; Histórico dos indivíduos.
Análise Cinesiológica Biomecânica da atividade	Entrevistas; Filmagens; Simulação de esforços; Medição de esforços.	Métodos de trabalho; Ciclos; Posturas e movimentos; Esforços; Tempos; Autoconfrontação.
Macro-indicadores do sistema produtivo.	Consulta aos dados da empresa; Entrevistas; Filmagens; Representações gráficas.	Absenteísmo; Tempo de emprego; Evolução da produção e da produtividade; Turnos e produtividade.
Estudo dos fatores de produção.	Entrevistas; Filmagens; Computação gráfica.	Produtos e processo; Tecnologia; Organização do trabalho; Layout; Planejamento de produção; Postos de trabalho; Métodos de trabalho; Autoconfrontação.
Análise Antropométrica e Espaços de Trabalho.	Medição; Computação gráfica.	Antropometria; Layout detalhado; Posturas; Zonas de alcance.

**Tabela 01:** Atividades desenvolvidas e algumas técnicas utilizadas na AET da Linha da Tampa.

### **3.2.3. Reprojeto dos Postos de Trabalho**

A partir dos relatórios apresentados, deu-se início a segunda etapa do projeto, denominada fase II, objetivando o reprojeto dos postos críticos de trabalho na unidade. A fase II realizou-se em cinco etapas envolvendo:

1. levantamento das características desejáveis;
2. geração de alternativas;
3. validação;
4. especificação;
5. implantação da solução técnica escolhida.

Todas as etapas acima foram enfocadas do ponto de vista dos métodos de desenvolvimento de produtos e ergonomia participativa e envolveram uma equipe de engenharia simultânea incluindo membros da equipe universitária. É nesta etapa que será defendida a tese de que o método DFA pode ser utilizado para facilitar a montagem do produto através da simplificação de sua estrutura. Para isto, foram escolhidos três postos de trabalho para a aplicação do método DFA, objetivando eliminar os fatores potenciais geradores de DORT, através da simplificação da estrutura do produto em questão (lavadora de roupa).

Para os demais postos de trabalho utilizou-se a abordagem tradicional para o detalhamento das soluções, ou seja, o uso das ferramentas Quality Function Deployment (QFD) e Matriz de Pugh.

Através da utilização do QFD, difundiu-se entre os participantes a lista de problemas e soluções levantadas pela equipe em conjunto com os usuários ou trabalhadores. Coube à equipe do reprojeto, durante as reuniões de trabalho, analisar cada um dos requisitos desejáveis

do usuário e avaliar a sua viabilidade. O QFD auxiliou a etapa seguinte, de transformar os requisitos em especificações de engenharia, detalhamento do projeto e sua implantação. A Matriz de Pugh foi útil para estimular a criatividade em busca de um conceito ótimo dentro da equipe do reprojeto. A aplicação do método DFA foi facilitada pelo uso de um software específico, com o objetivo de acelerar a análise e resultado da atividade (solução técnica para o reprojeto). A abaixo apresenta as atividades desenvolvidas, as técnicas aplicadas e os resultados obtidos.

<b>Atividade</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Resultados</b>
1. Determinação das Variáveis de Interesse.	Focus Group (QFD); Design for Assembly (DFA).	Características desejáveis dos postos de trabalho.
2. Geração de Alternativas e Análise de Viabilidade.	Focus Group (QFD); Design for Assembly (DFA); Brainstorm; Estudos de tempos; Balanceamento de linha; Computação gráfica.	Cenários possíveis de curto e longo prazo.
3. Validação das Alternativas.	Protótipos; Simulações; Computação gráfica; Focus Group (QFD); Design for Assembly (DFA).	Aperfeiçoamento dos protótipos; Medidas de produtividade; Efeitos de matéria-prima; Dimensionamento de efetivos; Viabilidade econômica.
4. Especificação.	Computação gráfica; PERT.	Memória descritiva do reprojeto; Cronograma de execução.
5. Implantação.	Equipe de Implantação	Treinamento; Comitê de Ergonomia

**Tabela 02:** Atividades desenvolvidas, técnicas e ferramentas aplicadas, resultados obtidos.

## 4.0. ANÁLISE DOS DADOS

### 4.1 Introdução

A análise cinesiológica das atividades desenvolvidas na linha da tampa foi realizada com o objetivo de analisar os movimentos e esforços decorrentes dos modos operatórios adotados nos postos de trabalho da linha da tampa em análise. O estudo foi realizado em duas etapas:

- Observação em campo;
- Análise das imagens capturadas.

Primeiramente, se observou *in loco* os diferentes modos operatórios adotados pelos trabalhadores durante a fabricação de um determinado modelo de produto. Essa primeira fase de coleta de dados permitiu a descrição geral das posturas adotadas de cada segmento corporal, observação dos tipos de ferramentas utilizadas e seleção dos modos operatórios mais recorrentes. Em seguida, foram feitas filmagens das situações reais de trabalho nos planos anterior/posterior, superior e lateral dos ciclos principais e anexos de cada posto de trabalho.

Num segundo momento, os modos operatórios observados foram confrontados com as imagens filmadas permitindo a análise cinesiológica de cada etapa das atividades. Para a identificação das situações críticas de cada posto de trabalho da linha da tampa, foram realizadas as seguintes análises:

- Descrição dos padrões de posturas;
- Movimentos das principais articulações corporais;
- Movimentos diferenciados;

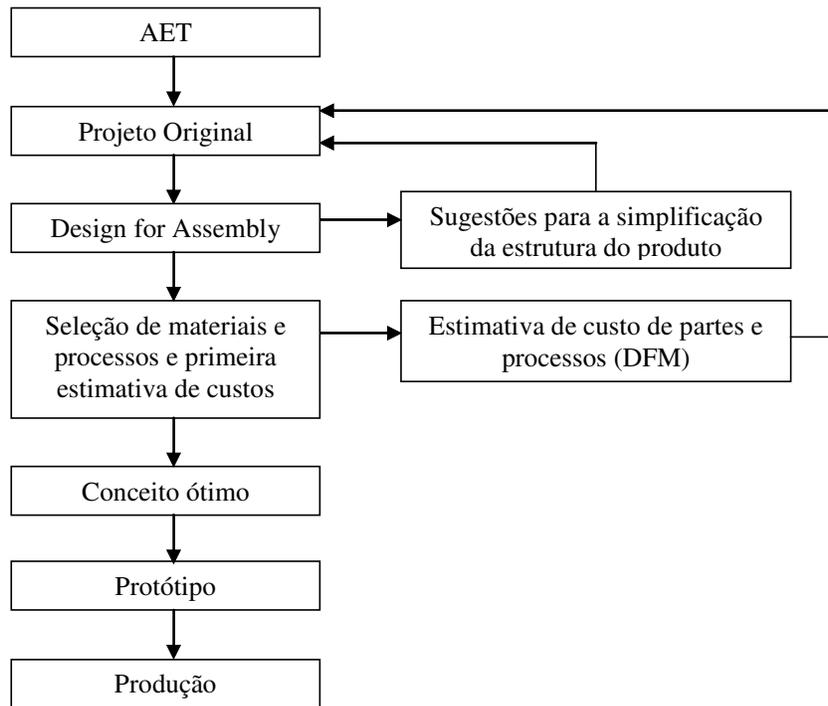
- Tipos de pegas adotadas;
- Cargas manuseadas;
- Tipos de ação muscular;
- Localização dos pontos de compressão;
- Ângulos assumidos (amplitude de movimento).

A seguir apresentam-se os resultados referentes aos principais fatores observados em cada um dos três postos de trabalho analisados. Os dados foram sistematizados em tabelas considerando a estrutura corporal acometida, tipos de contrações, movimentos adotados, atividades disparadoras e potenciais de riscos encontrados.

#### **4.2. Análise dos dados**

Neste capítulo, serão apresentados e discutidos os dados capturados na análise de três postos de trabalho conciliando Ergonomia e Projeto através dos métodos AET e DFA para o reprojeto dos postos de trabalho, através da simplificação da estrutura do produto (projeto). Para facilitar a apresentação dos dados, a análise foi dividida em três etapas, sendo cada uma referente a um posto de trabalho onde o método DFA foi aplicado posteriormente para o reprojeto do produto.

Tabelas e análises através do software DFA serão apresentadas, organizando os dados e modelando os resultados para refletir a importância para as questões da pesquisa. O fluxograma abaixo exemplifica a sequência proposta para soluções técnicas em intervenções ergonômicas após a realização da AET, através do uso do método DFA.



**Figura 05:** Fluxograma de Integração entre AET e DFA.

### 4.3. Análise do Produto nos Postos de Trabalho e Reprojeto

Após a realização da AET na linha da tampa, foram escolhidos três postos de trabalho para a aplicação do método DFA durante a fase de reprojeto do produto como estudo de caso para a proposição de uma nova sistemática de intervenções ergonômicas em postos de trabalho através da simplificação da estrutura do produto (alteração no projeto do produto). Na seguinte ordem serão apresentadas as análises e reprojeto dos produtos considerando o processo de montagem nos postos de trabalho:

1. Posto de Trabalho 110 – Fixação do Dispenser;
2. Posto de Trabalho 102 – Montagem do Puxador ;

### 3. Posto de Trabalho 001 – Montagem do Amortecedor da Tampa.

Desta forma, primeiramente, algumas informações coletadas durante a AET, como análise cinesiológica, sobrecarga física, entre outras utilizadas para servir de dados de entrada para o uso do método DFA, serão apresentadas.

É importante destacar que a escolha dos três postos acima foi meramente aleatória, sendo que o objetivo principal desta pesquisa é apenas mostrar a possibilidade de conciliar dados e informações de Ergonomia com outro método para melhorar ou eliminar potenciais riscos ergonômicos no processo de montagem através de modificações no Projeto do Produto – Integração entre Ergonomia e Projeto. O aprofundamento da teoria das metodologias AET e DFA fora feito nos capítulos anteriores, principalmente no capítulo 2, onde a revisão bibliográfica foi elaborada de maneira mais aprofundada.

Neste capítulo, veremos principalmente a seqüência do método proposto pela pesquisa para obter uma solução técnica para validar a intervenção ergonômica. Sendo assim, uma série de dados coletados durante a fase de reprojeto do produto buscando a simplificação de sua estrutura, serão apresentados.

Seguindo a ordem de estudo de caso, o primeiro posto de trabalho avaliado foi o número 110, referente à atividade de fixação do dispenser na tampa principal do produto. A seguir, alguns dados de avaliação do posto de trabalho são apresentados para, em seguida, servir de entrada para a fase de aplicação do método DFA.

### Posto de Trabalho 110 – MONTAGEM DO DISPENSER

FIT 110 - FIXAÇÃO DO DISPENSER	
Movimentos / Posturas	Observações
1. Trás a ferramenta até próximo ao seu corpo, realizando rotação interna do ombro direito. Em seguida, posiciona o parafuso no soquete da parafusadeira angular. Ocorre a flexão dos cotovelos, rotação interna do ombro esquerdo.	Segura o parafuso em pinça bidigital polpa a polpa.
2. Vista lateral - Observa-se que para colocar o parafuso, o operador mantém o ombro direito em extensão 23 graus, e a coluna cervical em flexão próximo a 20 graus.	A extensão do ombro direito é mantida durante toda a operação com a parafusadeira pneumática (colocação e fixação dos parafusos). Exceto nos casos onde o operador rotaciona o tronco à direita.
3. Vista lateral - O operador segura a parafusadeira angular em pega palmar plena.	O acionamento da ferramenta é feito através da flexão do segundo artelho.
4. Vista lateral - Fixa na parte externa da tampa o primeiro parafuso. Ocorre a rotação do tronco à direita, inclinação lateral do tronco à direita, flexão cervical estática acima de 30 graus, rotação externa estática do ombro direito e flexão dos cotovelos.	O operador auxilia com a mão esquerda o posicionamento da ferramenta no local exato da fixação (furos - alojamento dos parafusos).
5. Vista lateral - Observa-se desvio radial de punho direito 25 graus e ulnar do punho esquerdo 19 graus.	
6. Coloca um parafuso no soquete da parafusadeira e, em seguida, fixa o segundo parafuso na parte externa da tampa. É possível observar que alguns operadores flexionam o tronco durante a fixação reduzindo a angulação necessária de flexão dos cotovelos durante a fixação dos parafusos	Repete os movimentos dos itens 1 e 4.
7. Solta a parafusadeira pneumática angular. Realiza, primeiramente, rotação externa do ombro direito e extensão do cotovelo direito e, em seguida, abdução do ombro direito maior que 45 graus.	

**Tabela 03:** Principais Movimentos e Posturas do Posto 110.

Antes de iniciar a fase de reprojeto, foi feita a análise da distribuição da sobrecarga física no aparelho músculo-esquelético, auxiliando na visualização da sobrecarga física durante a execução da atividade.

Fixação do Dispenser - FIT 110			
Estrutura / Segmento	Atividade	Contração / Movimento	Risco
Cinturão escapular	Parafusar	Contração estática	Fadiga muscular
Punho esquerdo	Parafusar	Força de compressão palmar	Neuropatias compressivas
Punho direito	Parafusar	Contração isométrica + força	Fadiga muscular, Tendinite
Antebraços	Colocar parafusos na parafusadeira	Supinação antebraço + flexão estática de cotovelo.	Fadiga muscular, Tendinite
Antebraço direito	Parafusar	Compressão da quina viva da tampa na região medial do antebraço	Neuropatias compressivas
Ombros	Pegar parafusadeira / parafusar	Movimentação repetitiva rotadores internos flexores e abdutores	Bursites, Tendinites, Miosites
Membro superior direito	Parafusar	Contração isométrica	Fadiga muscular
Pescoço	Parafusar	Contração estática dos músculos flexores	Fadiga muscular, Tensão

**Tabela 04:** Análise de Sobrecarga Física no Posto 110.

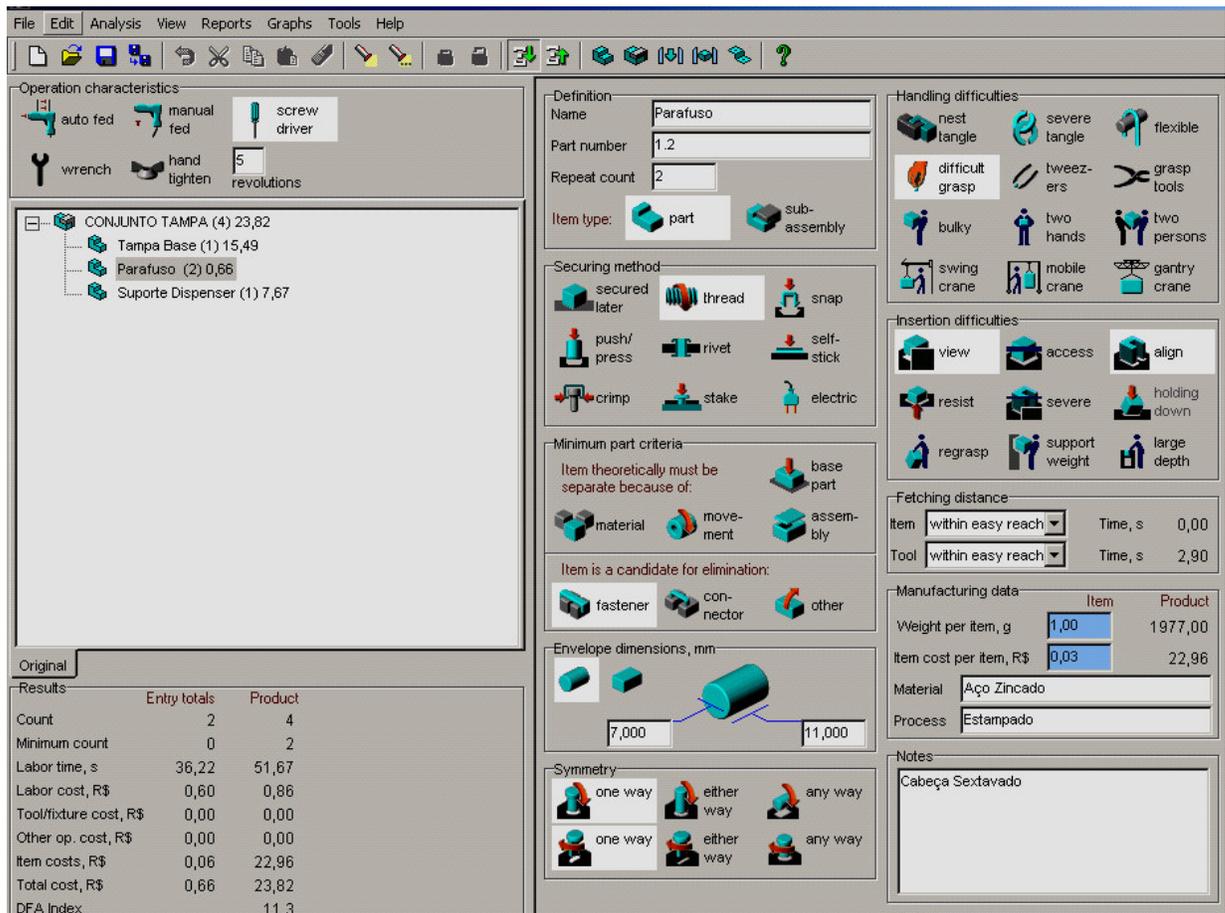
#### 4.4. Análise DFA nos Sistemas, Subsistemas e Componentes – SSC`s



**Figura 06:** Estrutura do Produto no Posto de Trabalho 110.

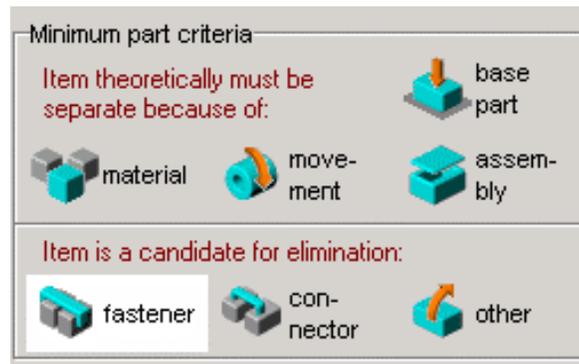
Através da identificação e posterior separação para análise dos SSC's envolvidos no processo, elaborou-se a arquitetura do produto relacionada aos componentes pertencentes à atividade do posto de trabalho, segundo a FIT 110. Desta forma, neste posto de trabalho o operador irá interagir com três diferentes componentes, num total de quatro (dois parafusos).

Uma vez elaborada a arquitetura parcial do produto, foi alimentado o software DFA da Boothroyd Dewhurst, com a finalidade de organizar e sistematizar a análise do produto. A figura abaixo mostra o carregamento das informações no software DFA:



**Figura 07:** Tela principal do software DFA da Boothroyd Dewhurst, Insc.

A alimentação das informações solicitadas para o carregamento do software foi baseada seguindo a metodologia DFA, onde os seguintes critérios são adotados para obter a variável de resposta – Critério Mínimo de Peças:



**Figura 08:** Critério Mínimo de Peças

Um determinado item, teoricamente, deve ser separado de outro porque:

- a) Diferente Material – A peça em análise precisa ser de material diferente de sua interface?
- b) Possui Movimento Relativo – A peça em análise possui movimento relativo com relação a sua interface?
- c) Peça Base – A peça em análise irá suportar a montagem de outros componentes?
- d) Montagem – A peça em análise uma vez separada, não permite a operação seguinte?

Se todas as respostas para as quatro perguntas acima for “Não”, significa que o item em análise é um candidato a eliminação porque, provavelmente, é:

- a) Fixador;
- b) Conector;
- c) Outro motivo.

Neste momento, outros tipos de informações foram adicionadas à análise DFA para obtenção do índice Eficiência do Design (DE), número este que mede a eficiência do projeto considerando a seguinte equação:

$$DE = \frac{3 \times \text{Número Teórico de Peças} \times 100\%}{\text{Tempo Total da Montagem}}$$

Onde 3 é o tempo em segundos necessário para alcançar uma peça na zona de alcance.

Na atividade do posto de trabalho 110, o índice de eficiência do projeto foi 11,3.

#### **DFA Index**

Theoretical minimum number of items	2
DFA Index	11,3

**Figura 09:** Índice de Eficiência do Projeto.

#### **4.5. Análise dos Dados do Projeto no Posto de Trabalho 110**

A análise dos dados obtidos aplicando a metodologia DFA para reprojeter o produto objetivando a simplificação de sua estrutura e conseqüentemente eliminando os fatores críticos referentes à ergonomia, foram obtidos diretamente na análise dos resultados. Quando se obtém 0 (zero) no critério de item mínimo, significa que podemos eliminar ou incorporar tal peça, sem que a função do produto seja prejudicada.

No caso desta análise, obtivemos o valor “zero” para os dois parafusos de fixação do dispenser, sinalizando que podemos reprojeter o produto, simplificando a sua estrutura e contribuindo com a eliminação do fator de risco ergonômico.

Devemos comentar que durante a realização da análise cinesiológica, a atividade de fixação do dispenser na tampa fixa apontou um potencial de risco ergonômico, significando que a análise DFA está aderente com um dos estudos realizados na análise ergonômica do trabalho.

Outros fatores relacionados à ergonomia também foram revelados pela análise DFA durante a avaliação do posto de trabalho 110. A figura abaixo relaciona os principais problemas potenciais relacionados ao processo de fixação: problemas de alcance (handling problem), problemas de inserção (insertion problem) e problemas de ergonomia (ergonomic problem).

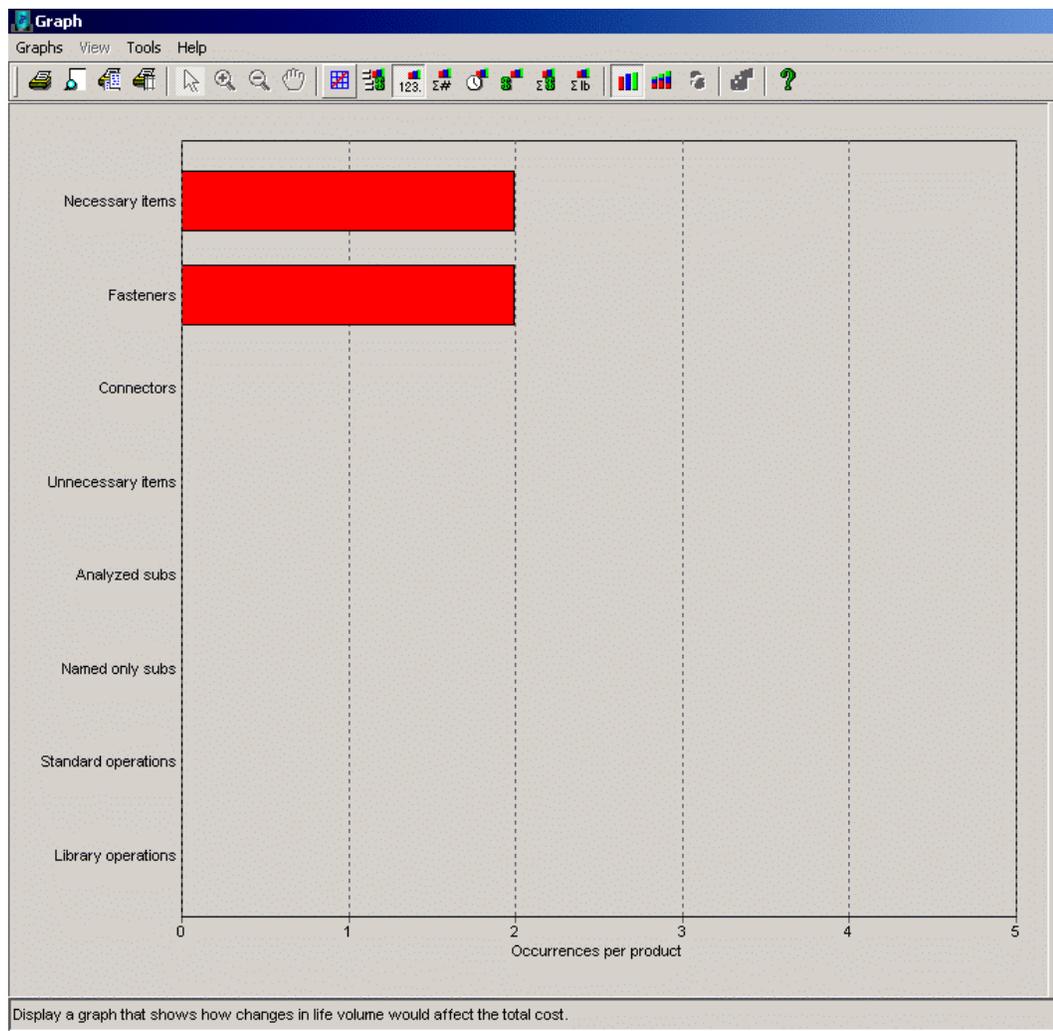
Outra informação importante obtida na análise DFA reside no fato de contribuirmos com a solução de problemas potenciais de alcance, inserção e ergonomia. Eliminando-se os dois parafusos de fixação iremos obter um ganho de aproximadamente 10,97 segundos, permitindo uma futura regulação nas atividades de trabalho (tempos de alcance e operação).

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria
1	☐	CONJUNTO TAMPA	1	Main					
2		Tampa Base	1.1	Part	1	1	Sep. op	1	Base part
3		Parafuso	1.2	Part	2	2	Thread	0	Fastens
4		Suporte Dispenser	1.3	Part	1	1	Thread	1	Material
5	△	Totals for CONJUNTO TAMPA				4		2	

No.		Name	Handling problems	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, s	Item fetching time, s	Item handling time, s	Insertion/operation time, s
1	☐	CONJUNTO TAMPA							
2		Tampa Base	X		X	0,00	0,00	3,00	2,30
3		Parafuso	X	X	X	2,90	0,00	2,57	8,40
4		Suporte Dispenser		X		2,90	0,00	1,95	5,30
5	△	Totals for CONJUNTO TAMPA							

**Figura 10:** Análise de Ganhos DFA

Outras informações referentes ao atual conceito do projeto – análise DFA



**Figura 11:** Gráfico: Ocorrência de Itens por Produto.

#### 4.6. Reprojetado do Produto no Posto de Trabalho 110 – Método DFA

A etapa do reprojetado do posto de trabalho baseia-se nas entradas sugeridas na análise DFA da estrutura do produto. Há uma variável de resposta denominada “Suggestions for Redesign” (Sugestão para Reprojetado) onde são sugeridas algumas ações de alteração no projeto do produto, objetivando-se eliminar os componentes identificados como candidatos para eliminação. A análise dos dados obtidos aplicando a metodologia DFA para reprojetado o produto objetivando a simplificação de sua estrutura e conseqüentemente eliminando os fatores críticos referentes à ergonomia foram obtidos simultaneamente na análise dos resultados.



### Suggestions for Redesign *Boothroyd Dewhurst, Inc.*

Incorporate integral fastening elements into functional parts, or change the securing methods, in order to eliminate as many as possible of the following separate fastening elements.

Parent assembly	Name	Repeat count	Time savings, s	Percentage reduction
CONJUNTO TAMPÁ	Parafuso	2	24,84	61,65
Totals			24,84	61,65

**Figura 12:** Sugestão para o Reprojetado – Posto de Trabalho 110.

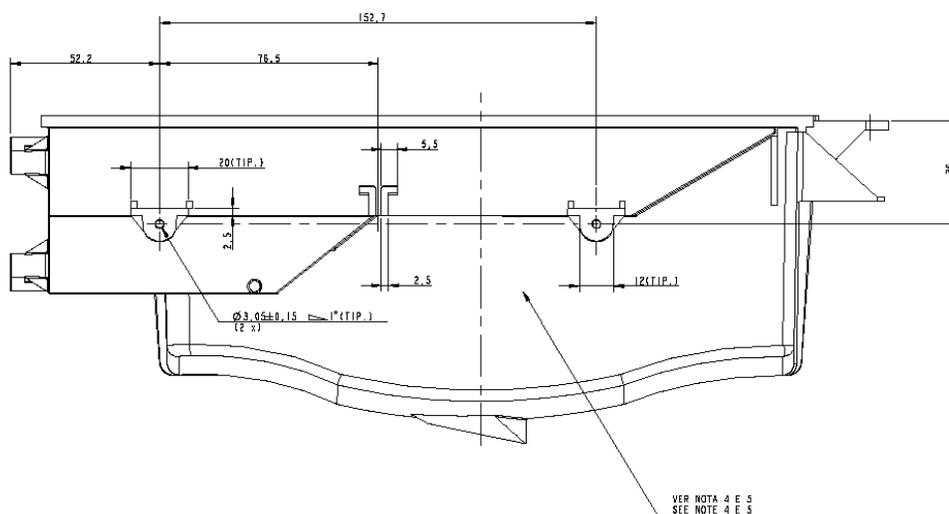
Verifica-se nesta secção que a seguinte sugestão para o reprojetado do produto foi emitida: “Incorporar integralmente os elementos de fixação (parafusos) dentro das peças

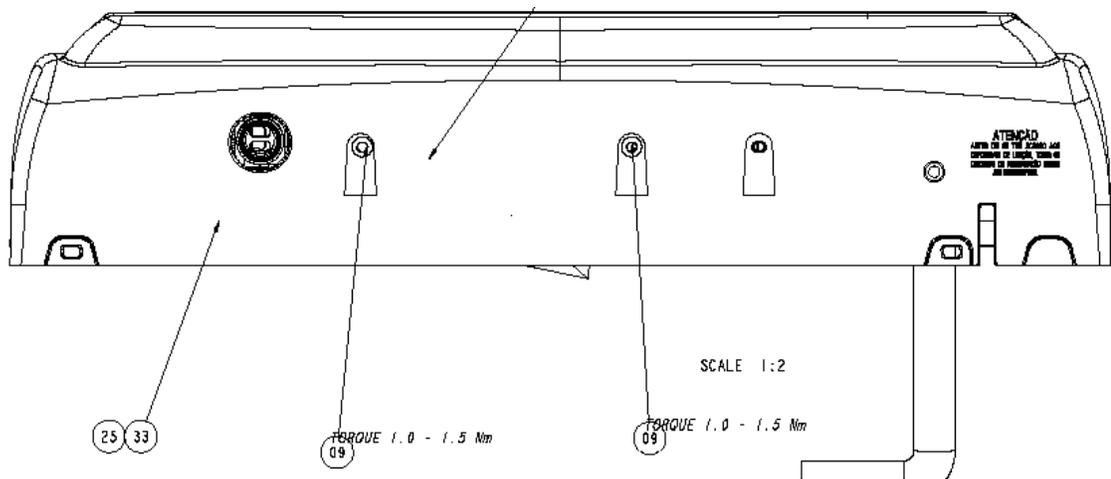
funcionais do produto (dispenser ou tampa), ou trocar o método de fixação, na ordem para eliminar os elementos de fixação separados”.

Seguindo-se a sugestão, o grupo de projeto foi novamente reunido com a finalidade de converter as sugestões em especificações, validando as afirmações de Bucciarelli (1996) na afirmação que “projeto é um processo social”, pois o mundo objeto de diferentes pessoas dentro de um determinado projeto irá resultar em um consenso para uma solução técnica.

Baseado na sugestão de incorporar os elementos de fixação (parafusos), o grupo de projeto optou pela incorporação no dispenser, eliminando-se os dois componentes. As figuras abaixo exemplificam a solução técnica encontrada para se eliminar os elementos de fixação (parafusos), incorporando no dispenser dois pinos com a mesma função de fixação e apoio.

### Situação 01 – Projeto Original do Sub-Conjunto Tampa/Dispenser

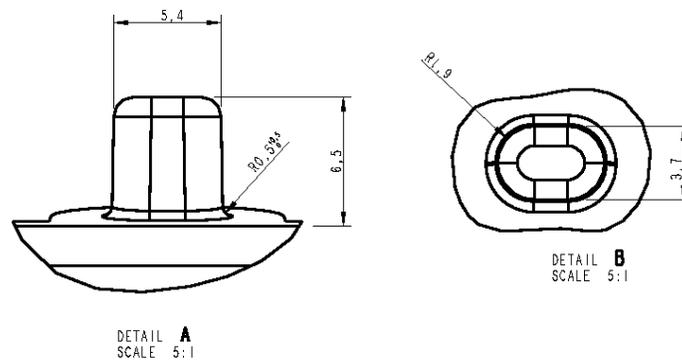




**Figura 13:** Desenho Conjunto Tampa/Dispenser.

Observa-se que o sistema de fixação do dispenser é feito via dois parafusos onde o torque deve ser controlado. Outro fator cognitivo presente neste conceito de projeto é o fato de o operador ter que fazer a inspeção visual dos parafusos e ter que garantir o valor mínimo do torque de aperto (1,0 N.m).

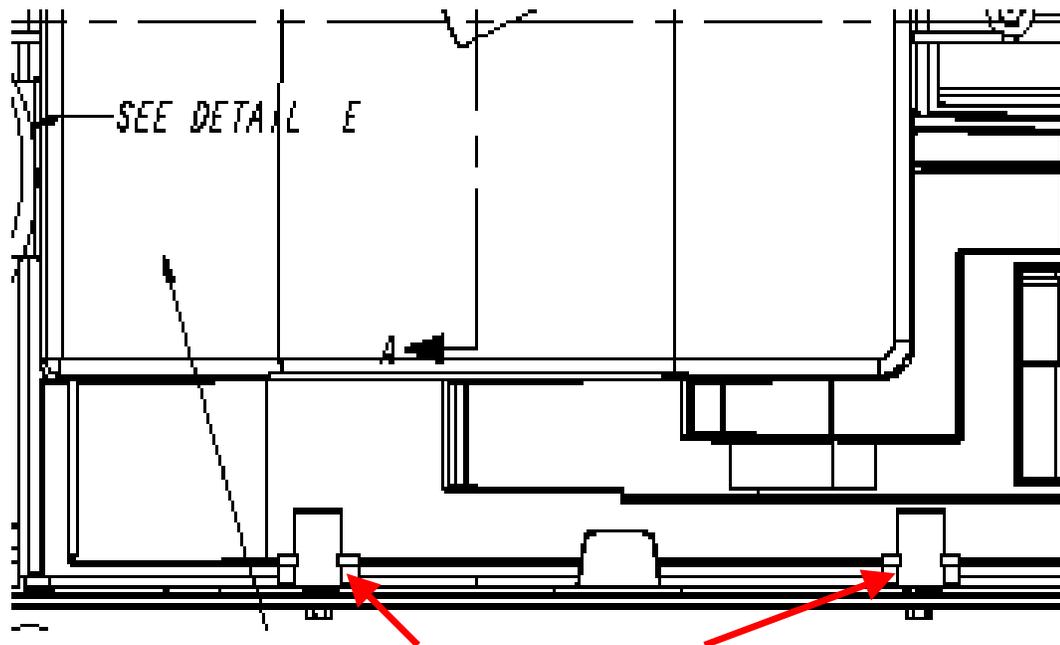
### Situação 02 – Reprojeto do Conjunto Tampa/Dispenser (Pinos Incorporados)



**Figura 14:** Detalhe do Pino no Dispenser.

Observa-se que dois pinos foram incorporados ao dispenser com a função de fixação e apoio do componente na tampa fixa. Com este conceito, eliminaram-se dois parafusos de fixação e todo o processo de montagem envolvido nesta atividade.

### Pinos de Fixação



**Figura 15:** Desenho Dispenser Reprojetoado.

No desenho acima, percebe-se que os pinos incorporados ao dispenser para cumprir a função de fixação e apoio do dispenser na tampa fixa apresentam maior facilidade de montagem, pois agora a peça é apenas encaixada na tampa, sem resistência à inserção, fixação e outros fatores levantados na análise cinesiológica da atividade.

Podemos observar que a estrutura do produto foi alterada, pois menos dois componentes agora não fazem parte da nova estrutura, uma vez que a simplificação foi

executada. Com isto, um novo índice de Eficiência do Design (DE) foi obtido, saltando-se de 11,3 para 42,6 representando que o projeto é muito mais simples e fácil de ser montado.

### DFA Index

Theoretical minimum number of items	2
DFA Index	42,6

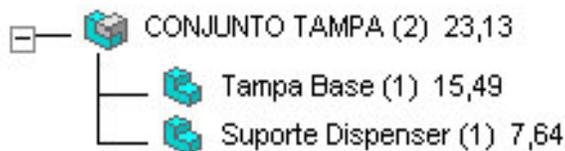
**Figura 16:** Índice DE após Reprojeto.

]

Nova estrutura do produto após o reprojeto – SSC's:



### Structure Chart *Boothroyd Dewhurst, Inc.*



**Figura 17:** Estrutura do Produto após Reprojeto.

Nesta situação de reprojeto o número teórico de peças para que o sub-conjunto mantenha a função reduziu de quatro para dois, conforme nova estrutura do produto sugerida pela equipe de projeto para simplificação e eliminação das atividades de risco ergonômico

(fixação do dispenser na tampa). Devemos relatar que um outro efeito colateral desta nova proposta de projeto, apesar de não ter sido o foco neste estudo de caso, foi a redução de custo no produto, eliminação dos estoques, meios de controle, parafusadeiras, etc. Entretanto, o principal benefício foi a eliminação das atividades de riscos ergonômicos e as sobrecargas físicas do posto de trabalho 110.

#### 4.7. Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto do Produto no Posto de Trabalho 110



### Executive Summary - DFA *Boothroyd Dewhurst, Inc.*

Product life volume	10.000
Number of entries (including repeats)	2
Number of different entries	2
Theoretical minimum number of items	2
DFA Index	42,6
Total labor time, s	13,75
Total weight, g	1975,00
Total labor cost, R\$	0,23
Tool or fixture cost per product, R\$	0,00
Other operation cost per product, R\$	0,00
Item costs (including tooling), R\$	22,90
Manufacturing tooling cost per product, R\$	0,00
Total cost per product, R\$	23,13

**Figura 18:** Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto do Produto.

Os seguintes resultados foram obtidos pelo grupo de projeto ao adotar a solução técnica de incorporar os elementos de fixação no dispenser:

- Eliminação dos fatores de risco ergonômico, pois a atividade de fixar ou unir as partes deixaram de existir, ficando apenas a operação de encaixe sem solicitação de esforços físicos, alcance de ferramentas (parafusadeira), inserção e outros movimentos;
- Simplificação da estrutura do produto (menos dois itens);
- Redução de custo no subconjunto;
- Maior flexibilidade e regulação da atividade, pois o encaixe das peças remanescentes pode ser feito em qualquer outro posto de trabalho devido ao fato de não necessitar de ferramentas exclusivas como a parafusadeira pneumática, por exemplo;
- Redução das sobrecargas físicas;
- Melhoria de qualidade (eliminou-se controle e variações de torque, falta de parafusos, fixação inadequada, etc.);
- Aumento da confiabilidade do sistema – quanto menor o número de peças, menor a probabilidade de interação e conseqüentemente maior a confiabilidade.

## Posto de Trabalho 102 – MONTAGEM DO PUXADOR

<b>FIT 102 - MONTAGEM DO PUXADOR</b>	
<b>Movimentos / Posturas</b>	<b>Observações</b>
1. O operador pega o puxador da gaveta na caixa do lado direito. Realiza rotação cervical à direita entre 45 graus e 90 graus, rotação externa do ombro direito, flexão do cotovelo direito e flexão do punho direito em 26 graus.	Segura o puxador em pega digitopalmar. Puxador pesa aproximadamente 150 gramas.
2. Vista posterior - Para pegar os puxadores localizados posteriormente, dentro da caixa, o operador realiza rotação do tronco à direita, extensão do ombro direito, extensão do cotovelo direito e rotação cervical próximo a 90 graus.	
3. Pega o conjunto dispenser na esteira ao lado esquerdo. Ocorre rotação cervical à esquerda maior que 15 graus, rotação de tronco à esquerda, flexão do ombro esquerdo maior que 20 graus.	A amplitude de movimento do ombro varia de acordo com a localização do conjunto dispenser na esteira. Conjunto pesa cerca de 1 Kilo.
4. É comum o operador pegar ao mesmo tempo o conjunto dispenser e o puxador, ocorrendo abdução dos ombros acima de 60 graus e rotação cervical à direita entre 45 e 90 graus.	Força de preensão digitopalmar nas duas mãos.
5. O operador começa o encaixe do puxador no dispenser. Realiza rotação interna dos ombros em 80 graus e flexão dos cotovelos. Mantém durante toda a opeeração flexão da coluna cervical acima de 30 graus.	Contração estática dos flexores da coluna cervical por 3 segundos.
6. Encaixa com a mão direita o puxador no conjunto dispenser, realizando primeiramente pequena pronação do antebraço direito e depois supinação do mesmo antebraço até finalizar o encaixe. Mantém o punho direito em extensão maior que 45 graus, o antebraço esquerdo em posição neutra e o punho esquerdo em extensão acima de 30 graus para estabilizar o conjunto.	Segura o puxador com a mão direita em força de preensão pentadigital e, com a mão esquerda, segura o conjunto em pega digitopalmar.
7. Após encaixar o puxador no dispenser, o operador começa a girar o conjunto, ocorrendo pronação dos antebraços, desvio ulnar do punho direito maior que 30 graus e abdução do ombro direito em 37 graus. Termina de girar e disponibiliza o conjunto na esteira.	Passa a segurar o puxador com a mão direita em pega digitopalmar.

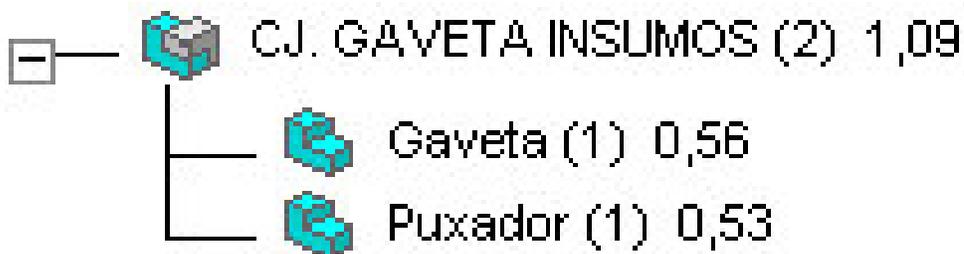
**Tabela 05:** Principais Movimentos e Posturas do Posto de Trabalho 102.

Antes de iniciar a fase de reprojeto, foi feita a análise da distribuição da sobrecarga física no aparelho músculo-esquelético, auxiliando na visualização da sobrecarga física durante a execução da atividade.

Montagem do Puxador - FIT 102			
Estrutura / Segmento	Atividade	Contração / Movimento	Risco
Ombros	Encaixe do puxador no dispenser.	Rotação externa e interna de ombros, além de abdução.	Bursite, Tendinite, Fadiga.
Tronco	Pegar o puxador do dispenser na caixa ao lado.	Rotação para a direita.	Tensão, Fadiga.

**Tabela 06:** Sobrecarga Física do Posto de Trabalho 102.

#### 4.8. Análise DFA nos Sistemas, Subsistemas e Componentes – SSC's

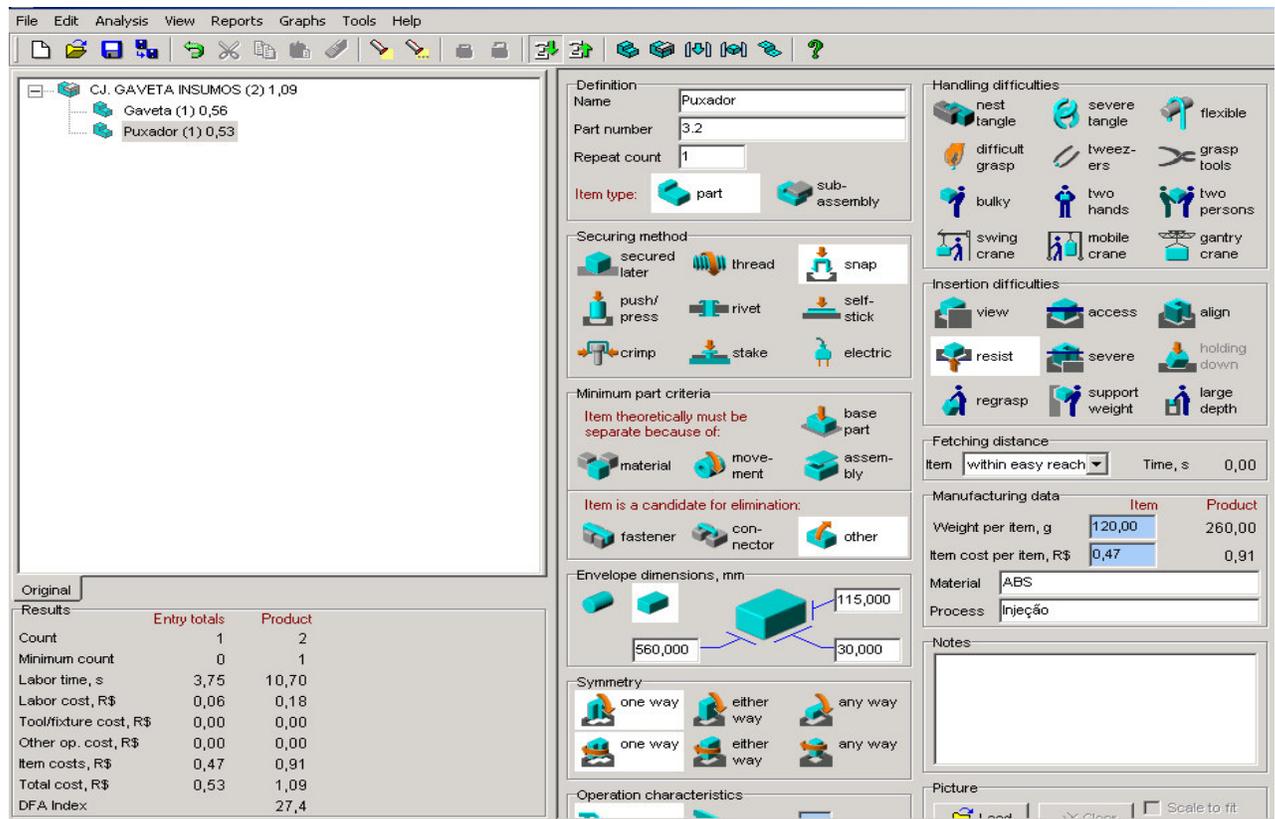


**Figura 19:** Estrutura do Produto no Posto de Trabalho 102.

Através da identificação e posterior separação para análise dos SSC's envolvidos no processo, elaborou-se a arquitetura do produto relacionada aos componentes pertencentes à

atividade do posto de trabalho, segundo a FIT 102. Desta forma, neste posto de trabalho o operador irá interagir com dois diferentes componentes.

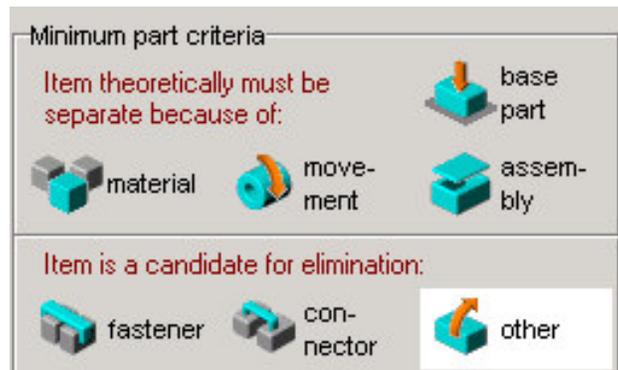
Uma vez elaborada a arquitetura parcial do produto, foram alimentadas no software DFA da Boothroyd Dewhurst, as informações referentes aos componentes e suas dificuldades de montagem, tais como: dimensões, distância de alcance, dificuldades de coleta, inserção, simetria entre outras, com a finalidade de organizar e sistematizar a análise do produto. Os dados alimentados no software são produtos das respostas das perguntas padrões referentes à metodologia adotada pela ferramenta DFA. A figura abaixo mostra o carregamento das informações no software DFA:



**Figura 20:** Tela principal do Software DFA da Boothroyd Dewhurst, Inc.

A alimentação das informações solicitadas para o carregamento do software foi baseada seguindo a metodologia DFA, onde os seguintes critérios são adotados para obter a variável de resposta – Critério Mínimo de Peças:

### Critério Mínimo de Peças – Metodologia DFA:



**Figura 21:** Critério Mínimo de Peças.

Um determinado item, teoricamente, deve ser separado de outro porque:

- a) Diferente Material – A peça em análise precisa ser de material diferente de sua interface?
- b) Possui Movimento Relativo – A peça em análise possui movimento relativo com relação a sua interface?
- c) Peça Base – A peça em análise irá suportar a montagem de outros componentes?
- d) Montagem – A peça em análise uma vez separada, não permite a operação seguinte?

Se todas as respostas para as quatro perguntas acima for “Não”, significa que o item em análise é um candidato a eliminação porque, provavelmente, é:

- a) Fixador;
- b) Conector;
- c) Outro motivo.

Neste momento, outros tipos de informações foram adicionadas à análise DFA para obtenção do índice DE – Eficiência do Design, número este que mede a eficiência do projeto considerando a seguinte equação:

$$DE = \frac{3 \times \text{Número Teórico de Peças} \times 100\%}{\text{Tempo Total da Montagem}}$$

Onde 3 é o tempo em segundos necessário para alcançar uma peça na zona de alcance.

Na atividade do posto de trabalho 102, o índice de eficiência do projeto foi 27,4.

### **DFA Index**

Theoretical minimum number of items	1
DFA Index	27,4

**Figura 22:** Índice de Eficiência do Projeto – Posto de Trabalho 102.

#### 4.9. Análise dos Dados do Projeto no Posto de Trabalho 102

A análise dos dados obtidos aplicando a metodologia DFA para reprojeter o produto objetivando a simplificação de sua estrutura e conseqüentemente eliminando os fatores críticos referentes à ergonomia foram obtidos diretamente na análise dos resultados. Quando se obtém 0 (zero) no critério de item mínimo, significa que podemos eliminar ou incorporar tal peça, sem que a função do produto seja prejudicada. No caso desta análise, obtivemos o valor “zero” para o puxador da gaveta, sinalizando que podemos reprojeter o produto, simplificando a sua estrutura e contribuindo com a eliminação do fator de risco ergonômico.

Devemos considerar que durante a realização da análise cinesiológica, a atividade montagem do puxador do gaveta na gaveta apontou um potencial de risco ergonômico, significando que a ferramenta DFA está aderente com a análise ergonômica do trabalho. Outros fatores relacionados à ergonomia também foram revelados pela análise DFA durante a avaliação do posto de trabalho 102. A figura abaixo relaciona os principais problemas potenciais relacionados ao processo de montagem: problemas de alcance (handling problem), problemas de inserção (insertion problem) e problemas de ergonomia (ergonomic problem).

Outra informação importante obtida na análise DFA é que além de contribuirmos com os problemas potenciais de alcance, inserção e ergonomia, incorporando o puxador da gaveta na gaveta iremos obter um ganho de aproximadamente 3,75 segundos, permitindo uma futura regulação nas atividades de trabalho (Tempos de Alcance e Operação).

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria
1	☐	CJ_GAVETA INSUMOS	3	Main					
2		Gaveta	3.1	Part	1	1	Push	1	Assembly
3		Puxador	3.2	Part	1	1	Snap	0	None
4	△	Totals for CJ_GAVETA INSUMOS				2		1	

No.		Name	Handling problems	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, s	Item fetching time, s	Item handling time, s	Insertion/operation time, s
1	☐	CJ. GAVETA INSUMOS							
2		Gaveta				0,00	0,00	1,95	5,00
3		Puxador		X	X	0,00	0,00	1,95	1,80
4	△	Totals for CJ. GAVETA INSUMOS							

**Figura 23:** Análise de Ganhos DFA.

#### 4.10. Reprojetado do Produto no Posto de Trabalho 102

A etapa do reprojetado do posto de trabalho baseia-se nas entradas sugeridas na análise DFA da estrutura do produto. Há uma variável de resposta denominada “Suggestions for Redesign” (Sugestão para Reprojetado) onde são sugeridas algumas ações a nível de alteração no projeto do produto, objetivando-se eliminar os componentes identificados como candidato para eliminação. A análise dos dados obtidos aplicando a metodologia DFA para reprojetado o produto objetivando a simplificação de sua estrutura e conseqüentemente eliminando os fatores críticos referentes à ergonomia foram obtidos simultaneamente na análise dos resultados. A figura abaixo exemplifica esta variável de resposta:



### Suggestions for Redesign *Boothroyd Dewhurst, Inc.*

Reduce the number of items in the assembly by combining with others or eliminating the following parts or subassemblies. Note that combining an item with another may eliminate further items such as fasteners or operations, resulting in much larger time reductions than those indicated.

Parent assembly	Name	Repeat count	Time savings, s	Percentage reduction
CJ. GAVETA INSUMOS	Puxador	1	3,75	35,05
Totals			3,75	35,05

Consider redesign of the individual assembly items listed below to eliminate resistance to insertion or severe insertion difficulties.

Review the following items and operations that may cause ergonomic difficulties for the assembly worker.

**Figura 24:** Sugestões para o Reprojetado.

Verifica-se nesta secção que as seguintes sugestões para o reprojeto do produto foram emitidas: “Considerar no reprojeto dos itens individuais de montagem listados acima a resistência à inserção ou dificuldade severa de inserção; Rever os seguintes itens e operações que talvez possa causar problemas ergonômicos para a atividade de montagem do operador; Reduzir o número de itens na montagem combinando com outros componentes – incorporar na tampa”. O desenho abaixo exemplifica a solução técnica encontrada para se reprojeto o produto e eliminar os problemas identificados relacionados à montagem.

### Situação 01: Projeto Original – Gaveta + Puxador Separados

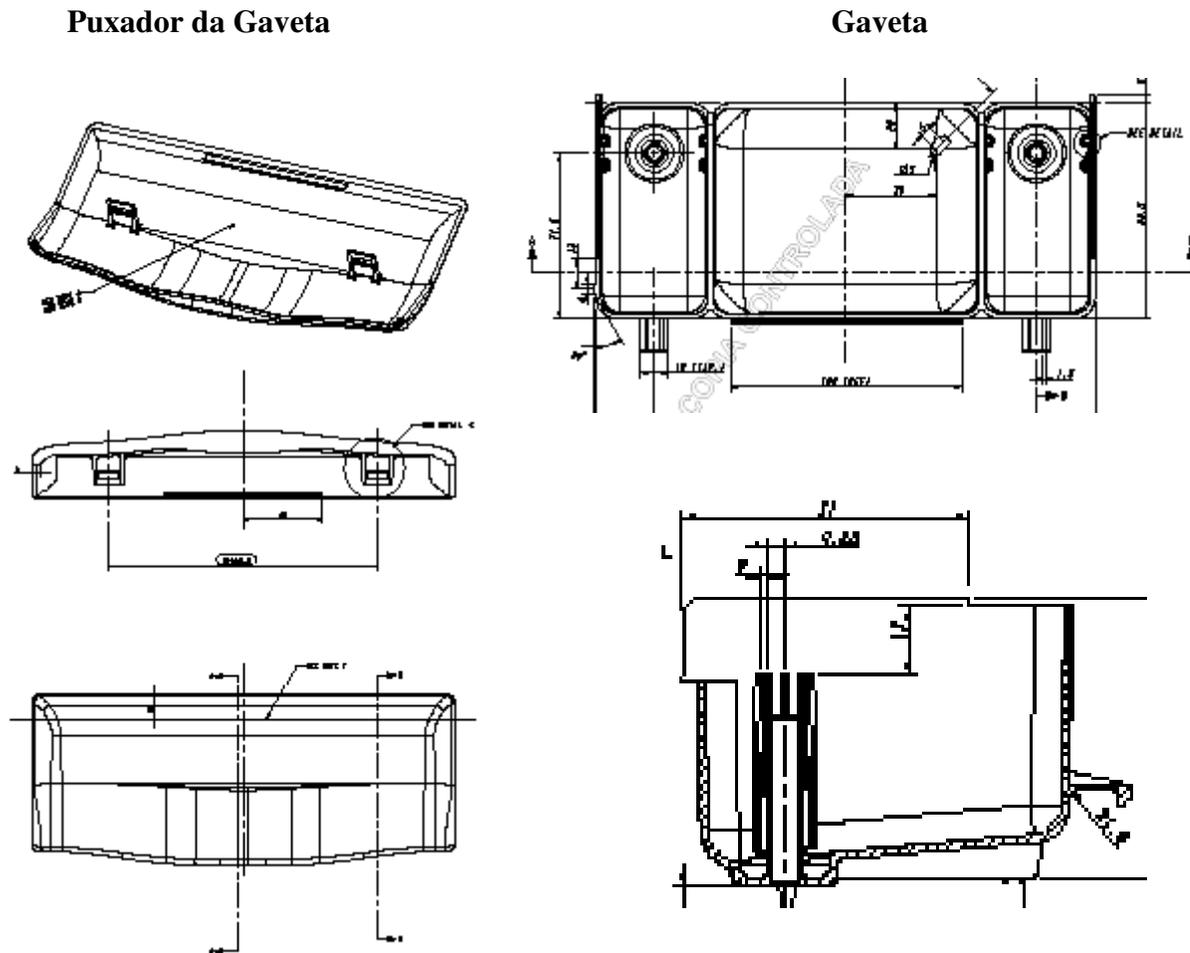
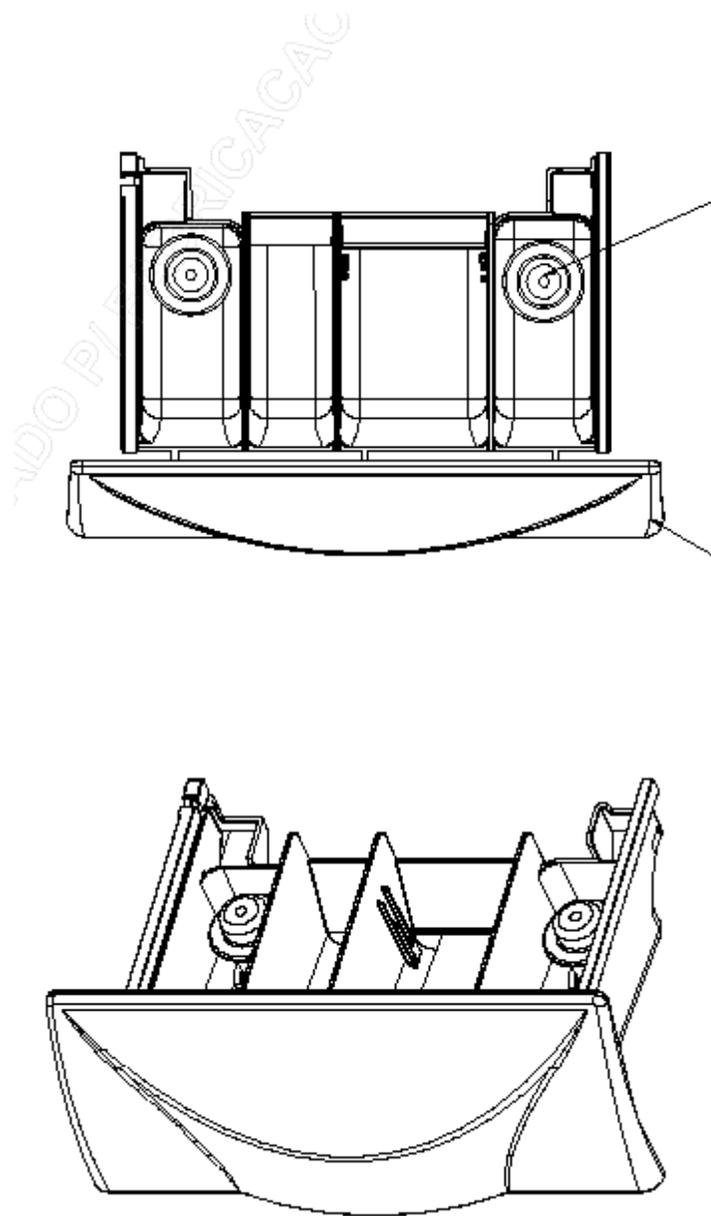


Figura 25: Desenho Original do Produto.

**Situação 02: Reprojeto – Puxador incorporado na Gaveta (monobloco)**



**Figura 26:** Desenho do Produto Reprojetoado.

Podemos observar que a estrutura do produto foi alterada, pois o puxador da gaveta foi incorporado à gaveta, após a simplificação ser executada. Com isto, um novo índice de Eficiência do Design (DE) foi obtido, saltando-se de 27,4 para 42,2 representando que o projeto é muito mais simples e enxuto. Eliminou-se a operação de montagem do puxador na gaveta.

### DFA Index

Theoretical minimum number of items	1
DFA Index	42,2

**Figura 27:** Índice de Eficiência do Projeto após Reprojeto.

Nova estrutura do produto após o reprojeto – SSC`s:



**Figura 28:** Estrutura do Produto após Reprojeto.

Nesta situação de reprojeto, o número teórico de peças para que o sub-conjunto mantenha a função reduziu de dois para um, conforme nova estrutura do produto sugerida pela equipe de projeto para simplificação e eliminação das atividades de risco ergonômico (montagem do puxador da gaveta na gaveta). Um outro efeito colateral desta nova proposta de projeto, apesar de não ter sido o foco neste estudo de caso, foi a redução de custo no produto,

eliminação dos estoques e inspeção visual (integridade dos encaixes), melhoria de qualidade e disponibilidade de carga máquina das injetoras (necessário apenas um molde e uma injetora). Entretanto, o principal benefício foi a eliminação das atividades de riscos ergonômicos e as sobrecargas físicas do posto de trabalho 102.

#### 4.11. Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto do Produto no Posto de Trabalho 102



#### Executive Summary - DFA *Boothroyd Dewhurst, Inc.*

Product life volume	10.000
Number of entries (including repeats)	1
Number of different entries	1
Theoretical minimum number of items	1
DFA Index	42,2
Total labor time, s	6,95
Total weight, g	140,00
Total labor cost, R\$	0,12
Tool or fixture cost per product, R\$	0,00
Other operation cost per product, R\$	0,00
Item costs (including tooling), R\$	0,44
Manufacturing tooling cost per product, R\$	0,00
Total cost per product, R\$	0,56

**Figura 29:** Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto do Posto de Trabalho 102.

Os seguintes resultados foram obtidos pelo grupo de projeto ao adotar a solução técnica de incorporar os amortecedores da tampa na tampa fixa – método DFA:

- Eliminação dos fatores de risco ergonômico, pois a atividade de inserir ou encaixar as partes deixaram de existir, ficando apenas a operação de injeção da

gaveta do dispenser com o puxador já incorporado, sem solicitação de esforços físicos e outros movimentos;

- Simplificação da estrutura do produto (menos um item);
- Redução de custo no subconjunto;
- Maior flexibilidade e regulação da atividade, pois o tempo de encaixe da peça removida (incorporada) pode ser utilizado em qualquer outro posto de trabalho (rebalanceamento da linha);
- Redução das sobrecargas físicas;
- Melhoria de qualidade (eliminou-se a inspeção visual, modo de falha – trinca dos encaixes, mal fixado, solto, puxador quebrado, etc.).

#### Posto de Trabalho 001 – MONTAGEM DO AMORTECEDOR DA TAMPA

FIT 001 - AMORTECEDOR DA TAMPA	
Movimentos / Posturas	Observações
1. O operador pega o amortecedor da tampa na caixa do lado direito. Realiza rotação interna de ombro 45 graus, rotação externa do ombro direito, flexão de antebraço e flexão do punho direito em 26 graus.	Segura o amortecedor em movimento de pinça.
2. Pressiona o amortecedor com o polegar esquerdo na posição de encaixe.	
3. Repete as operações 1 e 2.	Segura o amortecedor em movimento de pinça.

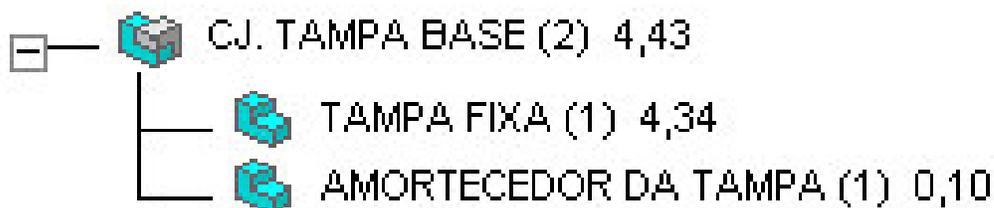
**Tabela 07:** Movimentos e Posturas do Posto de Trabalho 001.

Antes de iniciar a fase de reprojeto, foi feita a análise da distribuição da sobrecarga física no aparelho músculo-esquelético, auxiliando na visualização da sobrecarga física durante a execução da atividade.

Montagem do Amortecedor - FIT 001			
Estrutura / Segmento	Atividade	Contração / Movimento	Risco
Dedos	Encaixe dos amortecedores na tampa (2X).	Movimento de pinça e pressão do polegar.	Tendinite.
Dedos	Puxar os amortecedores na posição de encaixe na tampa.	Movimento de pinça e pressão do polegar.	Tendinite.

**Tabela 08:** Sobrecarga Física do Posto de Trabalho 001.

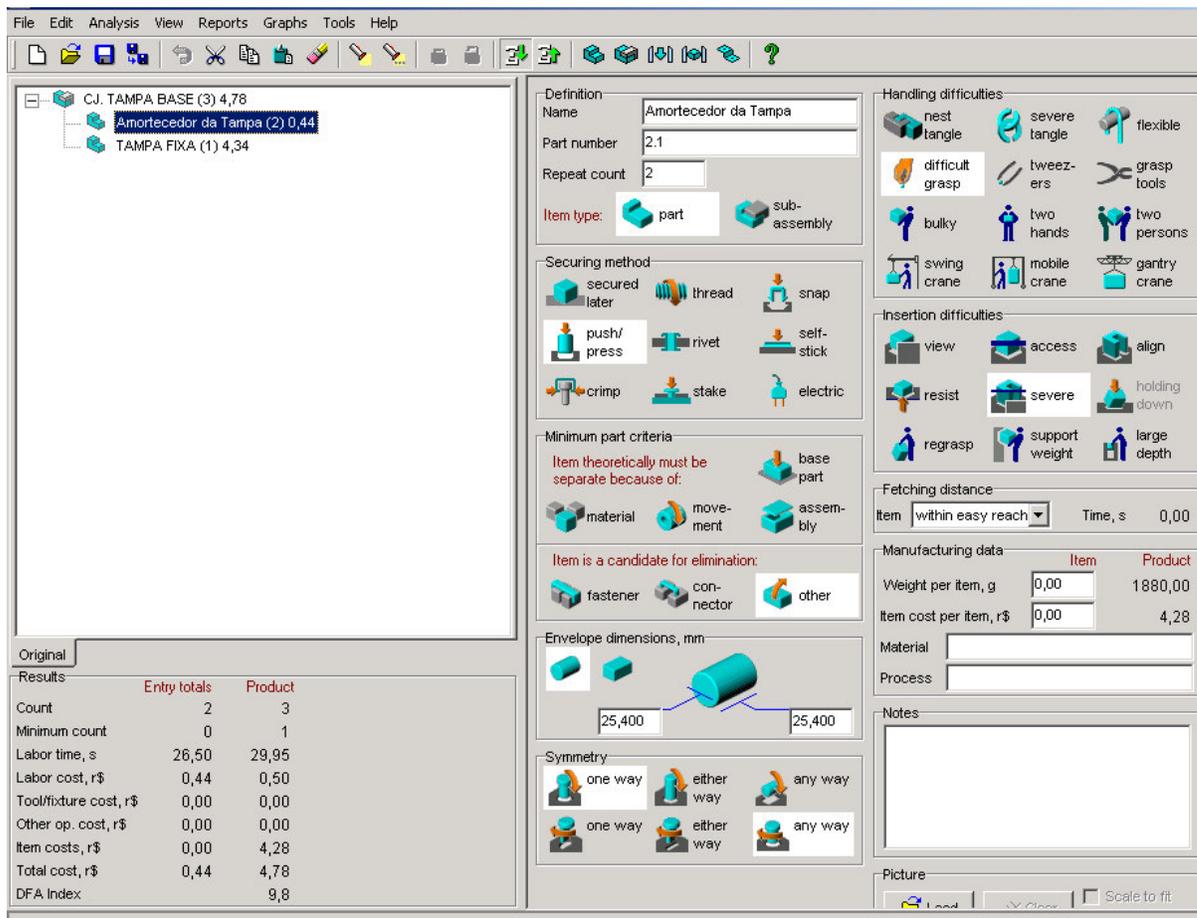
#### 4.12. Análise DFA nos Sistemas, Subistemas e Componentes – SSC`s



**Figura 30:** Estrutura do Produto no Posto de Trabalho 001.

Através da identificação e posterior separação para análise dos SSC's envolvidos no processo, elaborou-se a arquitetura do produto relacionada aos componentes pertencentes à atividade do posto de trabalho, segundo a FIT 001. Desta forma, neste posto de trabalho o operador irá interagir com dois diferentes componentes, num total de três (dois amortecedores).

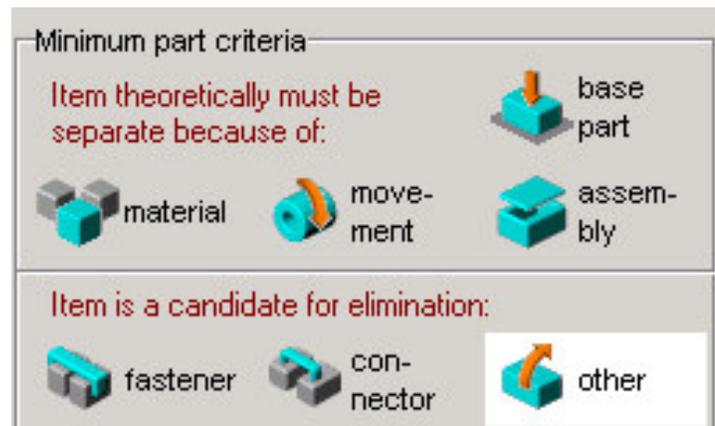
Uma vez elaborada a arquitetura parcial do produto, foram alimentadas no software DFA da Boothroyd Dewhurst, as informações referentes aos componentes e suas dificuldades de montagem, tais como dimensões: distância de alcance, dificuldades de coleta, inserção, simetria entre outras, com a finalidade de organizar e sistematizar a análise do produto. Os dados alimentados no software são produtos das respostas das perguntas padrões referentes à metodologia adotada pela ferramenta DFA. A figura abaixo mostra o carregamento das informações no software DFA:



**Figura 31:** Tela principal do Software DFA da Boothroyd Dewhurst, Inc.

A alimentação das informações solicitadas para o carregamento do software foi baseada seguindo a metodologia DFA, onde os seguintes critérios são adotados para obter a variável de resposta – Critério Mínimo de Peças:

### **Critério Mínimo de Peças – Metodologia DFA: Posto de Trabalho 001**



**Figura 32:** Critério Mínimo de Peças.

Um determinado item teoricamente deve ser separado de outro porque:

- a) Diferente Material – A peça em análise precisa ser de material diferente de sua interface?
- b) Possui Movimento Relativo – A peça em análise possui movimento relativo em relação a sua interface?
- c) Peça Base – A peça em análise irá suportar a montagem de outros componentes?
- d) Montagem – A peça em análise uma vez separada, não permite a operação seguinte?

Se todas as respostas para as quatro perguntas acima for “Não”, significa que o item em análise é um candidato a eliminação porque provavelmente é:

- a) Fixador;
- b) Conector;
- c) Outro motivo.

Neste momento, outros tipos de informações foram adicionadas à análise DFA para obtenção do índice de Eficiência do Design (DE), número este que mede a eficiência do projeto considerando a seguinte equação:

$$DE = \frac{3 \times \text{Número Teórico de Peças} \times 100\%}{\text{Tempo Total da Montagem}}$$

Onde 3 é o tempo em segundos necessário para alcançar uma peça na zona de alcance.

Na atividade do posto de trabalho 001, o índice de eficiência do projeto foi 9,8.

#### **DFA Index**

Theoretical minimum number of items	1
DFA Index	9,8

**Figura 33:** Índice de Eficiência do Projeto.

### **4.13. Análise dos Dados do Projeto no Posto de Trabalho 001**

A análise dos dados obtidos aplicando a metodologia DFA para reprojetar o produto objetivando a simplificação de sua estrutura e conseqüentemente eliminando os fatores críticos referentes à ergonomia foram obtidos diretamente na análise dos resultados. Quando se obtém

0 (zero) no critério de item mínimo, significa que podemos eliminar ou incorporar tal peça, sem que a função do produto seja prejudicada.

No caso desta análise, obtivemos o valor “zero” para os amortecedores da tampa, sinalizando que podemos reprojeter o produto, simplificando a sua estrutura e contribuindo com a eliminação do fator de risco ergonômico. Durante a realização da análise cinesiológica, a atividade montagem dos amortecedores da tampa na tampa fixa apontou um potencial de risco ergonômico, significando que a ferramenta DFA está aderente com a análise ergonômica do trabalho. Outros fatores relacionados à ergonomia também foram revelados pela análise DFA durante a avaliação do posto de trabalho 001. A figura abaixo relaciona os principais problemas potenciais relacionados ao processo de montagem: problemas de alcance (handling problem), problemas de inserção (insertion problem) e problemas de ergonomia (ergonomic problem). Outra informação importante obtida na análise DFA é que além de contribuímos com os problemas potenciais de alcance, inserção e ergonomia, eliminando-se os dois amortecedores iremos obter um ganho de, aproximadamente, 13,25 segundos, permitindo uma futura regulação nas atividades de trabalho.

No.		Name	Part number	Type	Repeat count	Total count	Securing method	Minimum items	Minimum part criteria
1	☐	CJ. TAMPA BASE	2	Main					
2		Amortecedor da Tampa	2.1	Part	2	2	Push	0	None
3		TAMPA FIXA	2.2	Part	1	1	Sep. op	1	Base part
4	△	Totals for CJ. TAMPA BASE				3		1	

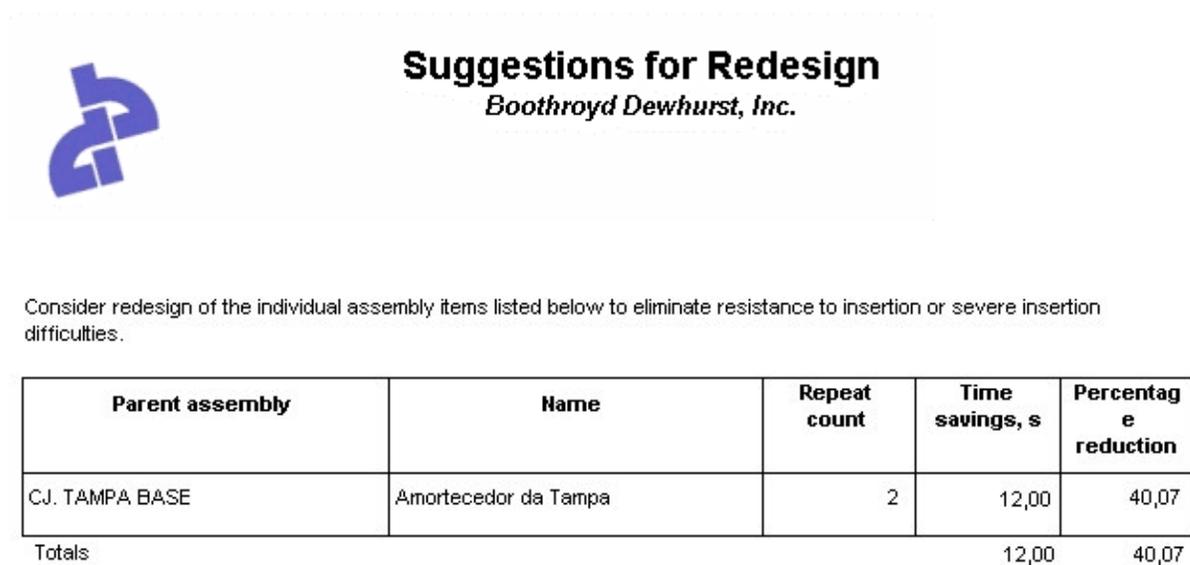
No.		Name	Handling problems	Insertion problems	Ergonomic problems	Tool fetching and preparation time, s	Item fetching time, s	Item handling time, s	Insertion/operation time, s
1	☐	CJ. TAMPA BASE							
2		Amortecedor da Tampa	X	X	X	0,00	0,00	2,25	11,00
3		TAMPA FIXA				0,00	0,00	1,95	1,50
4	△	Totals for CJ. TAMPA BASE							

**Figura 34** – Análise de ganhos FDA.

#### 4.14. Reprojetado do Produto no Posto de Trabalho 001

A etapa do reprojetado do posto de trabalho baseia-se nas entradas sugeridas na análise DFA da estrutura do produto. Há uma variável de resposta denominada “Suggestions for Redesign” (Sugestão para Reprojetado) onde são sugeridas algumas ações de alteração no projeto do produto, objetivando-se eliminar os componentes identificados como candidato para eliminação. A análise dos dados obtidos aplicando a metodologia DFA para reprojetado o produto objetivando a simplificação de sua estrutura e conseqüentemente eliminando os fatores

**Figura 34:** Análise de Ganhos – Método DFA ente na análise dos resultados. A  
figura abaixo exemplifica esta variável de resposta:



Review the following items and operations that may cause ergonomic difficulties for the assembly worker.

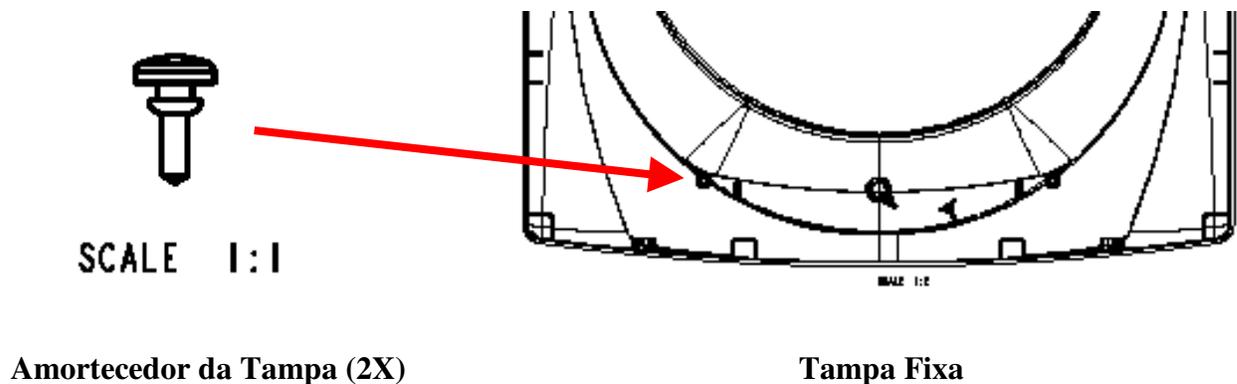
Reduce the number of items in the assembly by combining with others or eliminating the following parts or subassemblies. Note that combining an item with another may eliminate further items such as fasteners or operations, resulting in much larger time reductions than those indicated.

**Figura 35:** Sugestões para Reprojetado do Produto.

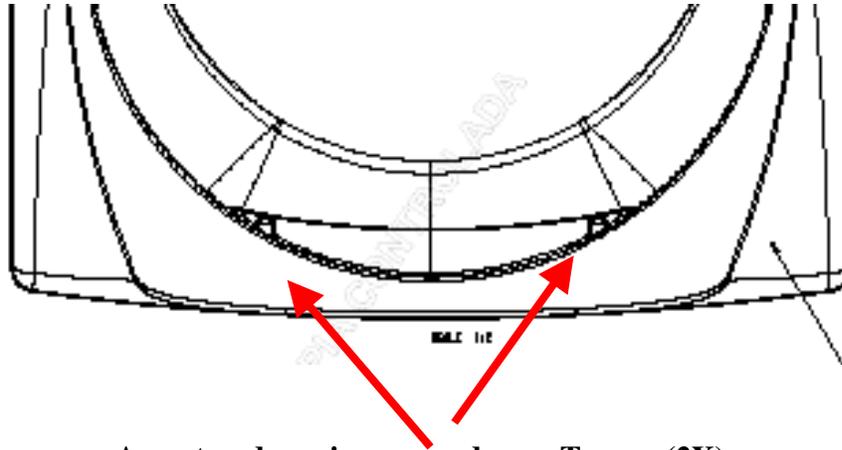
Verifica-se nesta secção que a seguinte sugestão para o reprojeto do produto foi emitida: “Considerar no reprojeto dos itens individuais de montagem listados acima a resistência à inserção ou dificuldade severa de inserção; Rever os seguintes itens e operações que talvez possa causar problemas ergonômicos para a atividade de montagem do operador; Reduzir o número de itens na montagem combinando com outros componentes – incorporar na tampa”.

O desenho abaixo exemplifica a solução técnica encontrada para reprojeto do produto, buscando facilitar a montagem através da eliminação dos amortecedores da tampa, incorporando-os à tampa fixa.

#### Situação 01: Projeto Original – 02 Amortecedores



## Situação 02: Reprojeto – Amortecedores Incorporados na Tampa Fixa



**Amortecedores incorporados na Tampa (2X)**

**Figura 36:** Desenhos do Produto.

Podemos observar que a estrutura do produto foi alterada, pois menos dois componentes agora não fazem parte da nova estrutura, uma vez que a simplificação foi executada. Com isto, um novo índice de Eficiência do Design (DE) foi obtido, saltando-se de 9,8 para 84,9 representando que o projeto é muito mais simples e enxuto. Eliminou-se a operação de montagem dos amortecedores na tampa.

### **DFA Index**

Theoretical minimum number of items	1
DFA Index	84,9

**Figura 37:** Índice de Eficiência do Projeto após Reprojeto.

Nova estrutura do produto após o reprojeto – SSC`s:



**Figura 38:** Estrutura do Produto após Reprojeto.

Nesta situação de reprojeto, o número teórico de peças para que o sub-conjunto mantenha a função, reduziu de três para um conforme nova estrutura do produto sugerida pela equipe de projeto para simplificação e eliminação das atividades de risco ergonômico (montagem dos amortecedores na tampa). Outro efeito colateral desta nova proposta de projeto, apesar de não ter sido o foco neste estudo de caso, foi a redução de custo no produto, eliminação dos estoques e inspeção visual (presença dos amortecedores na tampa). Entretanto, o principal benefício foi a eliminação das atividades de riscos ergonômicos e as sobrecargas físicas do posto de trabalho 001.

#### 4.15. Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto do Produto no Posto de Trabalho 001



### Executive Summary - DFA

*Boothroyd Dewhurst, Inc.*

Product life volume	10.000
Number of entries (including repeats)	1
Number of different entries	1
Theoretical minimum number of items	1
DFA Index	84,9
Total labor time, s	3,45
Total weight, g	1880,00
Total labor cost, r\$	0,06
Tool or fixture cost per product, r\$	0,00
Other operation cost per product, r\$	0,00
Item costs (including tooling), r\$	4,28
Manufacturing tooling cost per product, r\$	0,00
Total cost per product, r\$	4,34

**Figura 39:** Resumo dos Resultados obtidos no Reprojeto do Posto de Trabalho 001.

Os seguintes resultados foram obtidos pelo grupo de projeto ao adotar a solução técnica de incorporar os amortecedores da tampa na tampa fixa:

- Eliminação dos fatores de risco ergonômico, pois a atividade de inserir ou puxar as partes deixaram de existir, ficando apenas a operação de injeção da tampa fixa com os amortecedores já incorporados, sem solicitação de esforços físicos e outros movimentos;
- Simplificação da estrutura do produto (menos dois itens);
- Redução de custo no subconjunto;

- Maior flexibilidade e regulação da atividade, pois o tempo de encaixe das peças removidas (incorporadas) pode ser utilizado em qualquer outro posto de trabalho (rebalanceamento da linha);
- Redução das sobrecargas físicas;
- Melhoria de qualidade (eliminou-se a inspeção visual, modo de falha – ausência de amortecedores, mal encaixado, etc.).

## **5.0. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES**

### **5.1 Introdução**

O Design for Assembly (DFA) deveria ser considerado em todos os estágios do processo de projeto e, especialmente, nos estágios anteriores ou logo na fase conceitual. Como a equipe de projeto conceitualiza soluções alternativas, isto deveria dar sérias considerações para facilitar a montagem do produto ou sub-montagens, análises ergonômicas das atividades, etc. A equipe de projeto precisa do método DFA para analisar efetivamente a facilidade da montagem dos produtos ou sub-montagens na fase conceitual do projeto. A ferramenta de projeto deveria fornecer resultados rápidos, ser simples e fácil de usar. Isto deveria estar claro consistentemente e internalizado nas avaliações da montagem do produto. Também deveriam ser eliminados julgamentos subjetivos de uma avaliação do projeto, permitindo livres associações de idéias, capazes de fácil comparação de alternativas de projeto, tendo certeza que soluções serão avaliadas logicamente, identificando postos com problemas de montagem e sugerir abordagens alternativas para simplificar a estrutura do produto, refletindo na análise ergonômica da atividade, entretanto, também reduzindo custos de manufatura e montagem.

Utilizando o método DFA, a comunicação entre manufatura e engenharia de produtos é melhorada; idéias, razões e decisões feitas durante o processo de desenvolvimento de produtos tornam-se bem documentadas para futuras referências.

O guia de “Projeto de Produto para Montagem” foi originalmente desenvolvido como resultado de uma extensa pesquisa universitária e, mais recentemente, versões expandidas em forma de software fornecem um procedimento sistemático para avaliação e melhoria no projeto

do produto para facilitar a montagem. Este objetivo é alcançado pelo fornecimento de informações de montagem no estágio de conceitualização do processo de desenvolvimento do projeto em uma lógica organizada. Esta abordagem sugerida também oferece um procedimento definido claramente para avaliar um projeto com respeito à facilidade de montagem, incluindo o fator ergonomia. Neste sentido, um retorno é fornecido para ajudar projetistas em medir resultados de melhorias específicas em mudanças no projeto.

Este procedimento funciona, ainda, como uma ferramenta para motivar projetistas e engenheiros: através desta abordagem eles podem avaliar seus próprios projetos e, se possível, melhorá-los. Em ambos os casos, o projeto pode ser estudado e melhorado no estágio de conceito quando puder ser simplificado e sem custo, modificado. O método DFA alcança estes objetivos através de:

- a) Fornecendo uma ferramenta para os engenheiros e projetistas ou equipe de projeto como garantir que considerações da complexidade e montagem podem ser feitas o mais cedo possível na fase conceitual do projeto. Isto elimina o perigo de focar exclusivamente na fase inicial do projeto, as funções do produto com inadequadas considerações para o custo do produto e competitividade, saúde e segurança;
- b) Guiando os projetistas, engenheiros e equipe de projeto para simplificar o produto que posteriormente irá resultar em redução de custo, menor número de peças e melhores condições de montagem (ergonomia);
- c) Coletando informações normalmente possuídas pela experiência de engenheiros e projetistas e possibilitando serem utilizadas convenientemente para uso de engenheiros e projetistas com menos experiência em projetos de produtos;

- d) Estabelecendo uma base de dados que consiste em tempos de montagem e fatores de custo para várias situações de projeto e condições de produção, ergonomia e índice de eficiência do projeto – Índice DE.

A análise de um projeto de produto para facilitar a montagem depende de uma larga extensão se um produto é para ser montado manualmente, com especial propósito de automação, com propósito geral de automação (robôs) ou uma combinação destes. Neste estudo de caso nós iremos considerar a introdução do projeto exclusivamente para a montagem manual.

Entretanto, se já tivermos dados de entrada referentes aos problemas ergonômicos levantados através da análise ergonômica do trabalho (AET), podemos utilizar tais informações para reprojeter o produto utilizando o método DFA. Neste caso, a acurácia da solução técnica para eliminação do problema será maior, pois a simplificação da estrutura do produto estará focada na eliminação das etapas de montagem referentes às atividades que possam gerar riscos potenciais ergonômicos, sobrecarga física, etc.

## **5.2. Conclusão acerca das hipóteses ou questões da pesquisa**

A importância da realização da análise ergonômica do trabalho (AET) associada ao uso do método Design For Assembly (DFA) para soluções técnicas em intervenções ergonômicas pode ser uma possibilidade para equipes de projetos que buscam associar projeto e ergonomia.

Como vimos neste estudo de caso, ao associarmos AET com DFA, pudemos obter propostas de soluções técnicas que simplificaram o produto e, conseqüentemente, melhoraram as condições de montagem, no caso, o fator ergonomia.

Vimos que a maioria dos projetos de produtos funciona em coordenação com pessoas e a ergonomia está relacionada às características, habilidade e necessidades das pessoas em especial, com as interfaces entre elas e os produtos (projeto).

Pudemos também demonstrar parcialmente uma das técnicas mais utilizadas para analisar problemas de ergonomia associados ao uso, ao trabalho, que é o método proposto pela escola francesa de ergonomia, denominado “Análise Ergonômica do Trabalho (AET)”.

Segundo Guérin (2001), em termos de método, a “Análise Ergonômica do Trabalho” é um procedimento teórico e prático, que permite um contínuo ir e vir entre a atividade de trabalho e o conjunto de seus determinantes. Dessa forma, revela-se progressivamente, o funcionamento da empresa do ponto de vista da atividade de trabalho.

Ao se ater à “atividade real” dos funcionários, a equipe de projeto passará a ter condições de entender melhor os pontos que, por estarem obstruindo o processo, devem ser objeto de transformações e melhorias (reprojeto).

Considerando a intervenção ergonômica tanto no nível de projeto do produto, quanto no projeto do processo, a atividade de análise dos sistemas, subsistemas e componentes (SSC`s) do produto marca um momento importante nas atividades de projeto, pois permite à equipe que esta realizando a AET fazer previsões adequadas na correção do produto sob intervenção, bem como aplicar as lições aprendidas (diagnóstico) no desenvolvimento de novos projetos de produtos.

Em se tratando de Ergonomia e proposição de intervenções ergonômicas através de soluções no projeto do produto, o método Design for Assembly (DFA: Projeto para Montagem) mostrou-se indicado por ter em seu principal objetivo simplificar a estrutura do produto a fim de reduzir custos, facilitar a montagem através da eliminação de componentes desnecessários ou incorporação de peças e reduzindo o número de sistemas de fixação; fatores estes que podem maximizar as soluções técnicas sugeridas para a intervenção ergonômica.

O projeto para montagem também compõe o conhecimento científico necessário à arte de projetar, como uma filosofia, um processo e uma ferramenta. Assim, o conhecimento proporcionado pelo DFA pode ser usado para síntese da qualidade embutida no produto com o emprego de seus princípios ao avaliar qualitativamente o quão simplificado é a arquitetura do produto e o relacionamento entre os componentes e o processo de montagem, incluindo a ergonomia. O DFA na avaliação do processo de montagem, como também na análise de produtos, examina cada componente individualmente e a sua relação com os demais a fim de conhecer o produto em detalhes, desvendando os pontos fortes e fracos do projeto.

A análise DFA realizada através do uso de um software exclusivo ao método permitiu que esta ocorresse de maneira mais rápida e amigável, uma vez que o software auxilia de maneira sistematizada e simplificada, onde todos os integrantes da equipe de projeto se tornam capacitados em seu uso, bem como na internalização da metodologia.

Concluindo, podemos concordar que o método AET associado à ferramenta DFA contribui com a equipe de projeto na busca de soluções técnicas nas situações de intervenção ergonômica, através da simplificação da estrutura do produto, onde as atividades críticas com potenciais de riscos ergonômicos podem ser melhoradas ou até mesmo eliminadas.

### **5.3. Conclusão acerca do problema de pesquisa**

Confrontando a pesquisa em relação aos resultados obtidos no estudo de caso, identificamos várias concordâncias com os pesquisadores examinados no capítulo 2 durante a revisão bibliográfica. Na etapa de execução do método DFA para a busca de soluções técnicas durante a fase de reprojeto, por exemplo, iremos recorrer ao desenvolvimento da tese de Bucciarelli (1994) onde todo projeto é um processo social e a realização de um consenso se faz necessária para identificar a melhor opção no conjunto de idéias levantadas e sugeridas pelo grupo de projeto.

Cada engenheiro ou projetista possui seu “mundo objeto” que, resumidamente, é caracterizado pelo domínio do conhecimento, ação e artefato com os quais os participantes da equipe de engenharia projetam, se movimentam e vivem quando trabalham em qualquer aspecto específico, parte ambiental, subsistema, ou sub-função do produto. Para isto, devemos entender que a ciência e o mercado têm papéis importantes no projeto, mas estão bem longe de serem decisivos (Bucciarelli, 1994).

Para o autor citado acima, a ciência, num sentido mais geral, é o modo de pensar dentro de mundos objetos. Ela estrutura o modo como os participantes constroem seu processo e suas interações de trabalho e, assim, assume um sentido social e controla o processo de design, possibilitando formas e caminhos alternativos para o processo de projeto.

Sendo assim, devemos entender projeto como um trabalho dentro de mundos objetos de participantes diferentes. Mas, estes mundos objetos não podem ser divididos em uma coleção de tarefas separadas, independentemente conquistadas, mas deve ter engajamento contínuo e troca entre os participantes. O objeto não é uma única coisa para todos, cada perspectiva e

interesse de uma pessoa estão atrelados à sua especialidade. Projeto é um processo de trazer coerência a estas perspectivas e interesses, fixando-os no artefato (Bucciarelli, 1994). Desta forma, o autor afirma que a resposta à questão: “O que é projeto?”, em qualquer ponto do processo, existe apenas num sentido coletivo: “Projeto é um processo social”.

Segundo Bucciarelli (1994), projeto não é simplesmente um processo de mediação de alternativas e opções contra algumas condições de performance dadas, tudo pode ser negociado. Analisando as afirmações acima, pode-se concluir que o projeto é feito em contextos para a atuação de indivíduos diferentes e interesses coletivos. A definição dos contextos para uma legítima tarefa de projeto forma a essência dessa tarefa, uma vez que o contexto pode degradar significativamente a performance.

Contextos para projetos são formulados, construídos, mantidos e destruídos. Para entender o processo de um projeto, a pessoa deve aceitar esse contexto fazendo e desfazendo como parte do processo. Deve haver negociação de trocas e, se considerarmos o projeto como um processo social, devemos incluir aí, a invenção e a elaboração do próprio ambiente em que os participantes trabalham.

Comparando-se os resultados da pesquisa, especificamente após o uso do método DFA, a equipe de projeto recebe como variável de resposta o que fazer, mas não o como fazer. Este “como fazer” necessitou de uma negociação, um consenso de qual forma era a mais coerente para atender os requisitos do projeto; no caso, uma alteração através da simplificação da estrutura do produto que eliminasse os fatores críticos relacionados a riscos ergonômicos.

Portanto, as especificações finais se tornam artefatos de um processo social, reinterpretados num compromisso de perspectivas diferentes, de mundos objetos diferentes. Foi o que aconteceu na fase de reprojeto do produto após a análise DFA. Cada perspectiva e

interesse dos indivíduos da equipe de projeto foram colocados em função de suas responsabilidades e experiências anteriores. Portanto, podemos dizer que projeto é um processo de trazer coerência a estas perspectivas e interesses ou fixando no artefato (solução técnica selecionada). Nesta comparação, podemos perceber que os participantes do projeto trabalharam para trazer harmonia em seus esforços através de uma “negociação”, estando em concordância que “projeto é um processo social”, conforme afirmou Bucciarelli (1994).

A qualidade do projeto e do artefato final dependerá do processo social engajado pelos participantes e isso transcende o processo racional e instrumental. Outra concordância dos resultados com os pesquisadores examinados no capítulo 2 foi com relação às diretrizes e estratégias para aplicar o método da AET. Wisner (1987) sugere um método, cuja eficácia fundamentou-se através de diversos estudos nas mais diversas áreas. O método se divide em cinco fases, as quais foram seguidas neste estudo de caso conforme descrito abaixo:

1. Análise da demanda e proposta do contrato;
2. Análise do ambiente técnico, econômico e social;
3. Análise da atividade e da situação de trabalho, incluindo a restituição dos resultados;
4. Recomendações ergonômicas;
5. Validação da intervenção e eficiência das recomendações.

Considerando as diretrizes acima, Guérin (2001) sugere um roteiro para que as mesmas sejam aplicadas em campo, iniciando pela “análise da demanda”. Pode-se dizer que a “demanda” refere-se ao objetivo da empresa contratante ao requisitar o estudo e “a sua análise” tem como meta: compreender melhor a natureza e o objetivo do pedido.

Após a identificação do que realmente está em jogo e por trás da demanda inicial, o analista deve preparar a proposta de ação. Essa deve apresentar os resultados que podem ser esperados, os meios necessários, os prazos, entre outros detalhes. Antes de analisar, em detalhes, uma ou várias situações de trabalho o analista deve procurar entender o funcionamento geral da empresa. Para isso, deve-se conversar com diferentes interlocutores e trabalhar sobre documentos. Essas investigações ajudam a avaliar melhor as dificuldades encontradas, o contexto a ser levado em consideração na análise, as evoluções previsíveis da empresa e as margens de manobra para as transformações. Devem permitir, também, formular hipóteses que ajudem a escolher a situação de trabalho que deve ser analisada em detalhes, retirando desta, os elementos que respondam às questões colocadas.

Ao longo das investigações, o analista deve ter em mente os elementos que motivaram a demanda, visando estabelecer relações entre os constrangimentos da situação de trabalho e a atividade desenvolvida pelos funcionários, o que contribui para a formulação de um pré-diagnóstico.

A partir dos registros das explicações fornecidas pelos funcionários, pode-se formular um diagnóstico local que seja útil à empresa. Ao se ater à “atividade real” dos funcionários, a empresa deve ter condições de entender melhor os pontos que, por estarem obstruindo o processo, devem ser objeto de transformações e melhorias.

Com base no diagnóstico, o analista deve sugerir indicações de soluções e deve acompanhar as transformações, com o objetivo de assegurar que os aspectos relacionados às atividades dos indivíduos sejam considerados da melhor forma possível na nova configuração do trabalho.

Neste estudo de caso, o método sugerido por Wisner (1987) e Guérin (2001) foi utilizado parcialmente. Quando aplicado, percebeu-se a eficácia e eficiência da estratégia de implementação da AET.

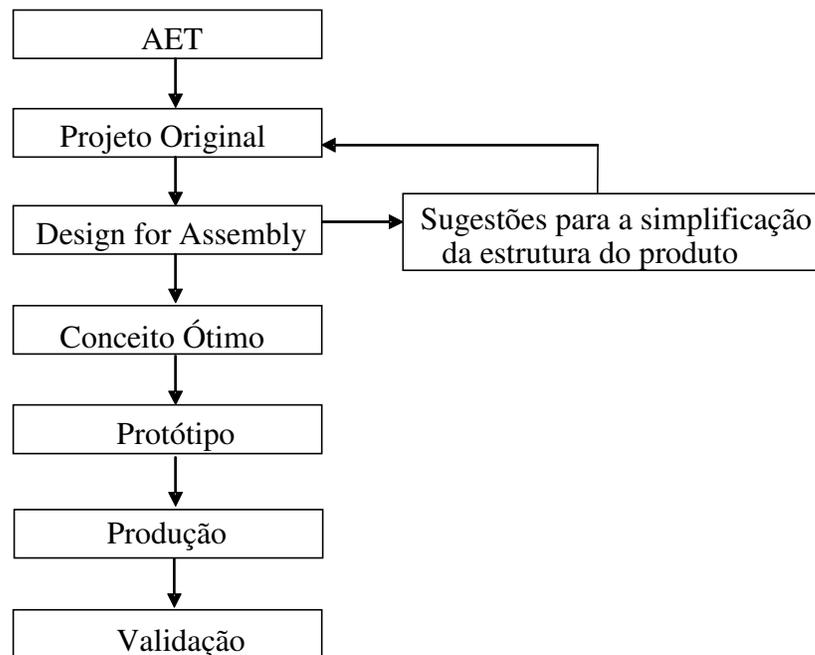
No final do projeto de ergonomia, o diagnóstico encontrado pela equipe foi utilizado como dado de entrada para a análise DFA, sendo possível atacar diretamente as atividades reais de trabalho que possuíam riscos potenciais ergonômicos, bem como sobrecargas físicas. Assim o produto foi reprojeto e a validação das ações da intervenção ergonômica deu-se no acompanhamento das atividades remanescentes, onde entrevistas com os operadores foram feitas para obter a opinião com relação à melhoria do posto de trabalho. Sem a realização da AET, a acurácia do reprojeto poderia estar comprometida, isto porque não seria de conhecimento da equipe de reprojeto as atividades prescritas versus as reais.

#### **5.4. Implicações para teoria e prática**

No capítulo 2 foram apresentados modelos analíticos e questões da pesquisa ou hipóteses. Desta forma, apresentou-se o método AET para futuras intervenções ergonômicas, bem como o método DFA para a identificação das soluções técnicas para a finalização da intervenção ergonômica. A interação entre os métodos AET e DFA possibilitou mostrar que ambas as técnicas possuem uma parcela de contribuição na finalização dos resultados.

A AET analisando as “atividades reais” e produzindo um diagnóstico e o DFA encontrando uma maneira de “como fazer” ou “refazer” o projeto. Na realidade, o DFA através da simplificação da estrutura do produto conseguiu eliminar as atividades de risco identificadas

durante a fase da AET. A conciliação destas duas técnicas resultou na intervenção ergonômica no nível do reprojeto do produto. O fluxograma abaixo mostra a abordagem da seqüência utilizada nesta pesquisa, na qual o autor propõe como um novo padrão de sistema para soluções técnicas em intervenções ergonômicas após a realização da AET, através do uso do método DFA.



**Figura 40:** Fluxograma de Integração entre Ergonomia – AET e Projeto – DFA

Observa-se que o primeiro passo consiste em realizar a AET ou uma análise ergonômica dos postos de trabalho, isto porque estamos buscando confrontar as atividades prescritas versus as reais, ou seja, precisamos utilizar como dados de entrada o diagnóstico final de uma AET ou análise ergonômica que possa direcionar o início do uso do método DFA no reprojeto do produto.

Uma vez executado a AET, aplica-se o método DFA para a simplificação da estrutura do produto. Conforme visto nos capítulos anteriores, uma série de métodos e técnicas tem ganhado destaque nas organizações que possuem um padrão de sistema para desenvolvimento de produtos (PDP) na fase conceitual do projeto, bem como em reprojeto quando necessário.

O QFD, a Análise de Kano e a Matriz de Pugh são alguns exemplos de métodos e técnicas utilizadas para integrar métodos participativos da ergonomia com a mesma perspectiva em projeto, apesar destas ferramentas não terem sido originadas com este objetivo. Entretanto, se uma das características da metodologia DFA é a de reduzir o número de operações de montagem reduzindo o número de componentes e tornar as operações de montagem mais fáceis de desempenhar, esta metodologia pode ser aplicada em ergonomia, uma vez que auxilia a atividade de projeto das situações de trabalho, mais precisamente na etapa de geração de alternativas e análise viabilidades para a simplificação da estrutura do produto.

Desta forma, a principal contribuição desta pesquisa é demonstrar que o uso do método Design for Assembly pode ser estendida em situações de reprojeto de produtos para obtenção de soluções técnicas nas situações de intervenções ergonômicas, ou até mesmo na fase conceitual de um novo projeto, onde a ergonomia será considerada dentro da visão DFA.

Seguindo o modelo proposto pela pesquisa, obtém-se o “conceito ótimo” onde a estrutura do produto foi simplificada e os fatores de risco amenizados ou eliminados. O próximo passo é fazer o protótipo do novo conceito de produto sugerido para reavaliação da atividade do posto de trabalho. Uma vez que o grupo de projeto “aprovou” a solução técnica, o projeto deve ser alterado para início em produção.

A última etapa é a validação das soluções técnicas efetivadas na produção, onde através de entrevistas com os operadores dos postos de trabalho reprojutados, podemos obter a resposta com relação ao sentimento de melhoria e eficácia das ações.

## **5.5. Limitações**

Conforme visto nos capítulos anteriores, o ideal da aplicação do método Design for Assembly (DFA) se dá na fase conceitual de um determinado projeto. Entretanto, nada impede que se possa aplicar a ferramenta na situação de reprojeto do produto. Na verdade, o uso do DFA deveria ser considerado em todos os estágios do processo de projeto, mais especialmente, nos estágios anteriores ou logo na fase conceitual.

Esta sugestão se deve à dificuldade ou até mesmo à impossibilidade da implementação das soluções técnicas nas situações de reprojeto. Pode ocorrer na impossibilidade da alteração de moldes ou ferramentas, no custo inviável da modificação (pay-back), etc. Ocorre que é mais fácil um projeto nascer projetado para atender situações ergonômicas do que fazermos futuras adequações. Por isso, uma das principais limitações deste padrão de sistema para soluções técnicas em situação de intervenção ergonômica proposto pela pesquisa, ocorre quando o reprojeto do produto não se tornar viável ou pela dificuldade técnica ou pelo retorno financeiro.

A outra limitação pode ser a realização da AET, pois atualmente nas avaliações ergonômicas, cada vez mais tem sido utilizado este método devido à sua eficácia e acertividade nas ações. Uma vez identificados os fatores de risco, sobrecargas físicas e outras informações

nas etapas da AET, pode-se obter dados de entrada mais precisos para o uso do método DFA nas soluções técnicas para se eliminar os fatores críticos relacionados à ergonomia. Este objetivo é alcançado pelo fornecimento de informações após a realização da AET e detalhes do processo de montagem no estágio de conceitualização do processo de desenvolvimento do projeto ou em situações de reprojetado.

Entretanto, se já tivermos dados de entrada referentes aos problemas ergonômicos levantados através de outros métodos, nada nos impede de utilizar tais informações para reprojetar o produto com maior segurança utilizando o método DFA. Porém, nos casos onde se utiliza o método AET, poderíamos dizer que a acurácia da solução técnica para eliminação do problema poderia ser maior, pois a simplificação da estrutura do produto estará focada na eliminação das etapas de montagem referentes às atividades reais que possam gerar riscos potenciais ergonômicos, sobrecarga física, etc.

## **6.0. BIBLIOGRAFIA**

AMARAL, D.C. (et al.). **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

BAXTER, Mike. Projeto de Produto: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. 1ª edição, Editora Edgard Blucher Ltda: São Paulo, 1998.

BOOTHROYD, G., DEWHURST, P., KNIGHT, W. **Product Design for Manufacture and Assembly**. Second Edition, Revised and Expanded. Rhode Island: University of Rhode Island Kingston, 2002.

BUCCIARELLI, L. L. **Designing Engineers**. London: MIT Press, 1994.

CHAFFIN, Don B., GUNNAR, B. J., MARTIN, Bernard J. **Biomecânica Ocupacional**. Belo Horizonte: Editora Ergo, 2001.

CLAUSING, D., ANDRADE, R. **Creating innovative products using total design**. Massachusetts: Addison Wesley, 1996.

CLAUSING, D. **Total Quality Development: World Class Concurrent Engineering**. New York: ASME PRESS, 1994.

DANIELLOU, F. **Ergonomic et projects industriels**. Paris: Conservatoire National des Arts et Métiers, 1989.

DEJOURS, F. **O Fator Humano**. São Paulo: Editora FGV, 1997.

DUL, J., WEERDMEEESTER, B. **Ergonomia na Prática**. 2ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2004.

ESTORILIO, A.C.C. **O Trabalho dos Engenheiros em Situações de Projeto de Produtos: Uma Análise de Processo Baseada na Ergonomia**. Tese de Doutorado. São Paulo: USP, Escola Politécnica, 2003.

FALZON, P. **Lês activités cognitives au travail**. Paris: editeur CNAM, 1999.

GARRIGOU, A.; 1994, **La compréhension de l'activité des concepteurs, um enjeu essentiel**. Actes: JOURNÉES DE BORDEAUX SUR LA PRATIQUE DE L'ERGONOME; mars; pág 21 a 25.

GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: Adaptando o trabalho ao homem**. Editora Bookman, 1988.

MENEGON, Nilton Luiz; CAMAROTTO, João Alberto; TORRES, Isaías; COSTA, Miguel Antônio Bueno da; COCKELL, Fernanda Flávia; GUERREIRO, Érico; LOPES, Mariza

Terezinha Rosolen; ISHIBASHI, Larissa; KURATAN, Willian; ROMA, Rogério; KERNBICHLER, Tiago Sanches. **Ergonomia no Processo Produtivo da Multibrás**. 2003.

GUÉRIN, F.; LAVILLE, A.; DANIELLOU, F.; DURAFFOURG, J.; KERGUELEN, A. **Comprender o Trabalho para Transformá-lo**. Editora Edgard Blucher Ltda, 2001.

LEPLAT, J.; HOC J. M. **Tâche et activité dans l`analyse psychologique des situations**. In: **l`analyse du travail em psychologie ergonomique**. LEPLAT, J. (coordinateur). Toulouse: editeur OCTARES, 1992.

LIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. Editora Edgard Blucher Ltda, 2001.

LORINO, Ph. **Comptes et récits de la performance – essai sur le pilotage de l`entreprise**. Paris: Les Éditions d`Organisation, 1995.

MENEGON, Nilton Luiz. **Integration of Engineering Design and Ergonomics**. In: Conference on TQM and Humans Factors, 1999, Linkoping SE. Proceeding of Conference on TQM and Humans Factors, 1999.v.2.p.85-89.

MENEGON, N.L., CAMAROTTO, J.A., MATUSITA, S.M. **LER`s, Diagnóstico, Projeto e Implantação**. Revista Produto & Produção. Porto Alegre, 1998.

OMBREDANE, A.; FAVERGE, J.M. **L`analyse du travail, facteur d`économie humaine et de productivité.** Paris: PUF, 1955.

PAHL, G. & BEITZ, W. **Engineering Design a Systematic Approach.** London: Editora Springer, 1996.

PMI. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge: Third Edition, PMBOK Guide,** 2005.

POMIAN, J. L; PRADÈRE, T; GAILLARD, I. **Ingénierie et ergonomie.** Toulouse: Cépaduès, 1997.

POURCEL, C. **Systèmes automatisés de production.** Toulouse: Cépaduès, 1987.

PUGH, S. **Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering.** Wokinghan: Addison-Wesley, 1991.

PUGH, S. **Concept Selection: A Method that Works, in Creating Innovative Product Using Total Design,** Editora Addison-Wesley, 1996.

RIO, Rodrigo P. **Ergonomia: Fundamentos da Prática Ergonômica.** Editora Health, 1999.

STARK, John. **A Few Words about DFA and DFM**. Copyright 1998. by John Stark.

Disponível em <<http://www.johnstark.com>>

TAYLOR, F.W. **The principles of scientific management**. New York: Harper & Row, 1911.

TERSSAC, G. **Impact de l'analyse du travail sur les relations de travail. In l'analyse du travail em psychologie ergonomique**. LEPLAT, J. (coordinateur). Toulouse: Octarès, 1992.

ZILBOVICIUS, M. **Modelos para a produção, produção de modelos**. São Paulo: Editora Annablume, 1994.

ZILBOVICIUS, M. **Modelos para a produção, produção de modelos: contribuição à análise de gênese, lógica e difusão do modelo japonês**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

WISNER, A. **Por Dentro do Trabalho**. São Paulo: Editora Oboré, 1987.

WISNER, A. (et al.). **A inteligência no trabalho: textos selecionados de ergonomia**. São Paulo: FUNDACENTRO, 1994.