



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MECATRÔNICA
MESTRADO ACADÊMICO EM MECATRÔNICA**

EBENÉZER SILVA CAVALCANTI

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO
INTEGRADO DE PRODUTOS NO PROJETO DE UMA BANCADA PARA
ENSAIOS DE FADIGA EM MATERIAIS PLÁSTICOS**

Salvador
2007

EBENÉZER SILVA CAVALCANTI

**APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO
INTEGRADO DE PRODUTOS NO PROJETO DE UMA BANCADA PARA
ENSAIOS DE FADIGA EM MATERIAIS PLÁSTICOS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia – UFBA, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Armando Sá Ribeiro Júnior
Co-orientador: Prof. Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira

Salvador
2007

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Bernadete Sinay Neves,
Escola Politécnica da UFBA

Cavalcanti, Ebenézer Silva

C376a Aplicação de ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos no projeto de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos / Ebenézer Silva Cavalcanti. – Salvador, 2007.

---f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Armando Sá Ribeiro Júnior.

Co-orientador: Prof. Dr. Cristiano Vasconcellos Ferreira.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2007.

1. Ferramentas, projeto e construção. 2. Qualidade dos produtos I. Ribeiro Júnior, Armando Sá. II. Ferreira, Cristiano Vasconcellos. III. Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. IV. Título.

CDD 20.ed. 621.9

TERMO DE APROVAÇÃO

EBENÉZER SILVA CAVALCANTI

APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS NO PROJETO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS DE FADIGA EM MATERIAIS PLÁSTICOS

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Mecatrônica, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Armando Sá Ribeiro Júnior – Orientador _____
Doutor em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Construção e Estruturas – Universidade Federal da Bahia

André Ogliari _____
Doutor em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina

Paula Frassinetti Cavalcante _____
Doutora em Engenharia Mecânica – Universidade de Campinas
Departamento de Engenharia Mecânica – Universidade Federal da Bahia

Salvador, 27 de fevereiro de 2007.

A
Maiza, querida esposa, pela paciência e compreensão.
Ruama e Aline, filhas amadas, pelo carinho e tempo dispensados a papai.

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles (familiares, amigos, pesquisadores e colegas) que de algum modo contribuíram para concretização deste trabalho, que no decorrer das diversas trajetórias percorridas, alternando sentimentos de motivação e desânimo, perseverança e desilusões, amor e ódio; despertou um *modus* diferente de perceber nossas idiosincrasias.

Por mais especialista, solitário e pretensioso que seja a natureza deste trabalho, seria injusto e irreal atribuir todo o mérito e resultados aqui alcançados, apenas àquele que o fez. Parafrazeando, Sir. Isaac Newton “certamente chegamos onde estamos por estarmos sobre ombros de gigantes”. Pessoas de inestimável valor e que trouxeram valiosa colaboração, cada qual de seu modo e com diferenciada dedicação.

Em primeiro lugar minha gratidão ao Ser Supremo, Maravilhoso Conselheiro e doador da vida, fonte de toda energia, pela saúde e força para suplantar minha inércia psicológica e física.

A esposa e filhas que muitas vezes absorveram, sem saber, as decepções e frustrações de alguns caminhos errantes, perdão.

Aos colegas do CEFET-BA que muitas vezes manifestaram de maneira explícita e outras silenciosa, seu apoio, compreensão e conforto, quando expomos nossas angústias e reclamações, obrigado.

Ao Armando Sá Ribeiro Junior querido orientador, pelo convite e crédito a mim dispensado, pela atuação firme e sincera, pela disponibilidade nos momentos de dúvida, pelo empenho na correção e formação dos conceitos deficitários e acima de tudo pelo respeito e profissionalismo no trato das questões acadêmicas e relacionais, eternamente grato.

A Cristiano Vasconcellos Ferreira, pela atuante co-orientação, estabelecendo questões, parâmetros de avaliação, corrigindo desvios e propondo caminhos e trabalhos para leitura e estudo do estado da arte de vários temas correlatos.

Em especial, minha colega de jornada, também mestranda, Lourdes Aparecida Ribeiro, que pacientemente pode ouvir e compartilhar as angústias, frustrações e lamúrias, doença comum entre nós mestrados, sob ação das pressões dos estudos e dos afazeres particulares.

Aos colegas de mestrados, em particular, Alexandre da Costa e Silva Franco e José Antônio Santana, das áreas de Ciência da Computação e Engenharia Mecânica, respectivamente, pelos trabalhos práticos e acadêmicos realizados em equipe, que nos tiraram muitas noites e finais de semanas, contudo, nos tornaram amigos inesquecíveis.

Não poderia passar em branco meu público agradecimento ao departamento de Construção e Estrutura (UFBA) por disponibilizar toda sua infra-estrutura, em especial do laboratório de simulação numérica (LABSIN), na pessoa da prof^a Dra. Tatiane Dumê; a secretaria do mestrado, na pessoa de Lúcia Lago; e aos alunos de iniciação científica que estiveram lado a lado prestando sua colaboração, em particular: Carlos Brito Jr., Renato Riccio e Márcio Pimentel.

Enfim, aos professores doutores do mestrado em mecatrônica da UFBA, aos quais tive oportunidade de beber do saber de suas especialidades, e àqueles que por um lapso de memória não foram citados explicitamente aqui, meu sincero muito obrigado!

Muitos de nossos sonhos parecem impossíveis,
depois improváveis,
depois inevitáveis.

Christopher Reeve

RESUMO

A busca pela competência nas diversas áreas de desenvolvimento de produtos, em face da concorrência cada vez mais acirrada e globalizada, tem levado diversos grupos de trabalho a buscarem uma condição ótima para desenvolver produtos com maior eficácia e rapidez. O processo de desenvolvimento é auxiliado por técnicas e ferramentas de apoio que determinam os passos a serem seguidos para alcançar os objetivos de obter produtos dentro das especificações de projeto englobando todo seu ciclo de vida. Este trabalho buscou avaliar a aplicação de algumas ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, no projeto de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, onde se destacam características multidisciplinares envolvidas pela mecatrônica. Para destacar os aspectos de aplicabilidade das ferramentas de desenvolvimento integrado, acompanhou-se uma equipe de projeto considerando os princípios e as diretrizes da engenharia simultânea no desenvolvimento da bancada; buscando estabelecer o estado da arte das áreas correlatas além de complementar as informações coletando dados através da opinião dos componentes da equipe de desenvolvimento. Os resultados permitiram estabelecer, dentre as ferramentas escolhidas, aquelas que melhor se adaptam ao projeto mecatrônico em termos de flexibilidade, confiabilidade, simplicidade e completude, dentro de um maior número de domínios diferentes. Entre elas, as ferramentas da Casa da Qualidade (QFD), a síntese funcional e a matriz morfológica destacam-se como ferramentas essenciais para mapeamento de um projeto mecatrônico. O trabalho resultou numa bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos que se caracteriza por realizar múltiplos ensaios simultâneos de fadiga, em uma gama de plásticos empregados na engenharia, permitindo levantar as curvas características tensão-deformação versus número de ciclos de vida (falha) de materiais plásticos.

Palavras-Chave: Desenvolvimento de produtos, bancadas para ensaios de fadiga, ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos.

ABSTRACT

Product design process has improved significantly in the last twenty years. The traditional designing procedure used in the beginning of the 80's, which comprised by distinct, easy-to-distinguish stages, has been replaced by a process where simultaneous activities are developed by multidisciplinary teams that consider all the product life cycle. This new concept of the product design process has its focus on the products functional aspects and uses design tools that can be applied to solve a broad range of problems. These new methodologies allow for the rapid design of high quality, low cost products. In this work, the application of some design tools was evaluated in the context of the development of a mechatronics product, namely a fatigue testing apparatus, which is aimed at the testing of plastic materials. Concurrent engineering concepts were followed by the design team. The design tools applied in the development of the fatigue testing apparatus were evaluated considering their flexibility, liability, simplicity and completeness within a number of different domains. Among the design tools applied during the conceptual design stage, the quality function deployment method (QFD), the functional synthesis and the morphological matrix have been proven to be the most adequate to support the design process of mechatronics products. The studied design process resulted the development of a fatigue testing apparatus conceived to yield the characteristic strength-deformation curves as function of the life cycle for a broad range of plastic materials of interest in engineering applications.

Keywords: Product development, fatigue test apparatus, tools at development products integrated.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Relação custo de mudanças do produto em função das diversas fases de desenvolvimento produto	02
Figura 2	- Relação entre ciclo de vida dos produtos industriais e alta tecnologia	03
Figura 3	- Engenharia Serial x Engenharia simultânea	04
Figura 4	- Estrutura básica do processo de projeto	05
Figura 5	- Mecatrônica: Interação entre múltiplas áreas	07
Figura 6	- Características de Desenvolvimento de produtos com foco na Engenharia Simultânea	11
Figura 7	- Modelo de fluxo de desenvolvimento de produtos	14
Figura 8	- Ciclo de Vida do Produto conforme atividades de desenvolvimento, uso e descarte	15
Figura 9	- Exemplo especificações de um projeto	16
Figura 10	- Técnicas de avaliação conceitual	17
Figura 11	- Matriz decisão	18
Figura 12	- Exemplo de aplicação da ferramenta de DFMA	20
Figura 13	- Utilização de DFMA em diferentes fases do desenvolvimento de Produtos	20
Figura 14	- Modelo Matriz QFD (primeiro desdobramento)	21
Figura 15	- Efeito da inércia psicológica	22
Figura 16	- Exemplo de Análise Funcional com uma função global e subfunções	24
Figura 17	- Exemplo do Método da Matriz Morfológica	25
Figura 18	- Esquema classificatório dos plásticos	27
Figura 19	- Exemplos de cadeias poliméricas	28

Figura 20	- Curva tensão x tempo para diferentes valores de tensão média	30
Figura 21	- Esboço dos métodos de aplicação de carregamento no ensaio de fadiga	30
Figura 22	- Modelo da amostra para ensaios de fadiga em materiais plásticos	31
Figura 23	- Esboço de uma concepção da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos	32
Figura 24	- Diagrama do carregamento aplicado no corpo de provas	32
Figura 25	- Diagrama de esforços numa seção do corpo de provas	33
Figura 26	- Curvas frequência de tensão em função do tempo	33
Figura 27	- Efeito das Tensões médias no ciclo de vida de fadiga (Para fadiga em metais de engenharia)	34
Figura 28	- Diagrama de bloco de um sistema de malha fechada	36
Figura 29	- Elementos de uma rede de Petri	38
Figura 30	- Exemplo marcação inicial e final de uma rede de Petri	38
Figura 31	- Exemplo de conflito devido a uma concorrência numa rede de Petri	39
Figura 32	- Exemplo de Rede de Petri com sua árvore de alcançabilidade	40
Figura 33	- Exemplo de uma rede de Petri temporizada com tempos fixos	40
Figura 34	- Exemplo de uma rede de Petri colorida	41
Figura 35	- Exemplo de um sistema simplificado de manufatura com recursos compartilhados	41
Figura 36	- Estágios de criação da rede de Petri do sistema de manufatura (ordem das atividades)	42
Figura 37	- Rede de Petri que modela o exemplo do sistema de manufatura com recursos compartilhados	43
Figura 38	- Exemplo de diagrama: de Classe, de Caso de uso e seus elementos	46
Figura 39	- Exemplo de diagrama de seqüência	47

Figura 40	- Matriz da qualidade (QFD) da bancada para ensaios de fadiga	54
Figura 41	- Inter-relações no telhado da QFD da bancada para ensaios de fadiga	55
Figura 42	- Esquema genérico da análise funcional	59
Figura 43	- Análise funcional, parcial, da bancada para ensaios de fadiga	59
Figura 44	- Matriz morfológica da bancada, subsistema: fixar corpo de prova	61
Figura 45	- Geração de concepções a partir da matriz morfológica	62
Figura 46	- Primeiras modelagens para concepção da bancada para ensaios de fadiga	63
Figura 47	- Diagrama de corpo livre da haste (alavanca interfixa)	66
Figura 48	- Diagrama σ/E , Ashby (1999)	67
Figura 49	- Seções transversais mais solicitadas do corpo de prova e haste	68
Figura 50	- Haste de aplicação dos ciclos para ensaio de fadiga	68
Figura 51	- Concepção da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos	69
Figura 52	- Base da bancada	69
Figura 53	- Exemplo de um motor de passo da bancada	69
Figura 54	- Fuso	70
Figura 55	- Haste de aplicação dos ciclos	70
Figura 56	- Coluna de fixação da haste e corpo de prova	70
Figura 57	- Disco excêntrico para transmissão de movimento alternado	70
Figura 58	- Mancal de rolamento do eixo de aplicação de ciclos	71
Figura 59	- Servo Motor com controlador de frequência	71

Figura 60	- Aplicação da ferramenta DFMA em mecanismo da bancada de ensaios	71
Figura 61	- Diagrama de classe (Bancada de ensaios)	72
Figura 62	- Diagrama de Caso de uso (Bancada de ensaios)	73
Figura 63	- Diagrama de seqüência (Bancada de ensaios)	74
Figura 64	- Subsistema da bancada de ensaios: Aplicar ciclos de flexão	75
Figura 65	- Rede de Petri primária	76
Figura 66	- Rede de Petri do subsistema da bancada: aplicar ciclos de flexão	77
Figura 67	- Contexto de uma avaliação, medidas e teste	80
Figura 68	- Síntese das características metodológicas	82
Figura 69	- Síntese das respostas da 3ª questão (valores globais)	85
Figura 70	- Síntese das respostas da 5ª questão (valores globais)	86
Figura 71	- Síntese das respostas da 6ª questão (valores globais)	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Características de uma informação de qualidade	13
Tabela 2	- Técnicas de levantamento de princípios de solução	16
Tabela 3	- Exemplo Matriz Contradição	23
Tabela 4	- Propriedades termoplásticas	28
Tabela 5	- Exemplos de termoplásticos	28
Tabela 6	- Síntese de modelos em uso nas engenharias	43
Tabela 7	- Classificação dos componentes envolvidos no projeto	50
Tabela 8	- Identificação e Classificação dos Clientes	51
Tabela 9	- Identificação e Classificação das Necessidades do Produto	51
Tabela 10	- Identificação e Classificação dos Requisitos	53
Tabela 11	- Simbologia de relação entre requisitos	55
Tabela 12	- Matriz contradição (alguns requisitos da bancada)	56
Tabela 13	- Especificações do projeto em ordem de importância	57
Tabela 14	- Matriz avaliação para diferentes concepções	64
Tabela 15	- Características do material da haste de aplicação de ciclos para bancada de ensaios	67
Tabela 16	- Rede de Petri: Identificação dos recursos e ações	75
Tabela 17	- Rede de Petri: Atividades principais ordenadas cronologicamente	76
Tabela 18	- Rede de Petri: Atividades intermediárias	76
Tabela 19	- Comparação entre diferentes estratégias de Pesquisa	81

Tabela 20	- Aplicação da QFD em diferentes domínios de conhecimento	87
Tabela 21	- Aspectos positivos e negativos da QFD	87
Tabela 22	- Caracterização da matriz QFD quanto aos critérios de aplicabilidade	88
Tabela 23	- Aplicação da Matriz contradição em diferentes domínios de conhecimento	88
Tabela 24	- Aspectos positivos e negativos da matriz contradição	88
Tabela 25	- Caracterização da matriz contradição quanto aos critérios de aplicabilidade	89
Tabela 26	- Aplicação da ferramenta DFMA em diferentes domínios de conhecimento	89
Tabela 27	- Aspectos positivos e negativos da ferramenta DFMA	89
Tabela 28	- Caracterização da ferramenta DFMA quanto aos critérios de aplicabilidade	90
Tabela 29	- Aplicação da Síntese funcional em diferentes domínios de conhecimento	90
Tabela 30	- Aspectos positivos e negativos da Síntese funcional	90
Tabela 31	- Caracterização da síntese funcional quanto aos critérios de aplicabilidade	90
Tabela 32	- Aplicação da Matriz morfológica em diferentes domínios de conhecimento	91
Tabela 33	- Aspectos positivos e negativos da Matriz morfológica	91
Tabela 34	- Caracterização da Matriz morfológica quanto aos critérios de aplicabilidade	91
Tabela 35	- Aplicação da ferramenta diagrama de blocos em diferentes domínios de conhecimento	92
Tabela 36	- Aspectos positivos e negativos da ferramenta diagrama de blocos	92
Tabela 37	- Caracterização da ferramenta diagrama de blocos quanto aos critérios de aplicabilidade	92
Tabela 38	- Aplicação dos diagramas de classe, seqüência e caso de uso em diferentes domínios de conhecimento	93
Tabela 39	- Aspectos positivos e negativos dos diagramas de classe, seqüência e caso de uso	93

Tabela 40	- Caracterização dos diagramas de classe, frequência e caso de uso quanto aos critérios de aplicabilidade	93
Tabela 41	- Aplicação da Rede de Petri (RdP) em diferentes domínios de conhecimento	94
Tabela 42	- Aspectos positivos e negativos da Rede de Petri	94
Tabela 43	- Caracterização da Rede de Petri (RdP) quanto aos critérios de aplicabilidade	94
Tabela 44	- As ferramentas de desenvolvimento no projeto da bancada para ensaios de fadiga	94
Tabela 45	- Parâmetros de Engenharia (apêndice E)	115
Tabela 46	- Princípios Inventivos (apêndice F)	118
Tabela 47	- Necessidades dos clientes no projeto da bancada para ensaios de fadiga (apêndice G)	121
Tabela 48	- Tabulação da questão de nº 7 (apêndice I)	132
Tabela 49	- Resumo da tabulação da questão de nº 7 (apêndice I)	133
Tabela 50	- Tabulação da questão de nº 1 (apêndice I)	134
Tabela 51	- Resumo da tabulação da questão de nº 1 (apêndice I)	136

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	- Acrilo Nitrilo Butadieno Estireno
AD	- Conversor Analógico – digital
ASA	- Éster Acrílico elastomérico
ASTM	- American Society for Testing and Materials (Sociedade Americana de Teste em Materiais)
CAD	- Computer Aided Design (Projeto auxiliado por computador)
CAE	- Computer Aided Engineering (Construir [engenharia] auxiliado por computador)
CASE	- Computer Aided Software Engineering (Software de engenharia auxiliado por computador)
CIRCUITMAKER	- Aplicativo para construção e modelagem de circuitos eletrônicos
DELPHI	- Plataforma de aplicativos para desenvolvimento de software (marca registrada Borland company)
DFA	- Design for Assembly (Projeto voltado para montagem)
DFC	- Design for Cost (Projeto voltado para os custos)
DFE	- Design for Enviroment (Projeto com ênfase no meio ambiente)
DFM	- Design for Manufacture (Projeto com ênfase na manufatura)
DFMA	- Design for Manufacture and Assembly (Projeto com ênfase em manufatura e montagem)
DFQ	- Design for Quality (Projeto com ênfase na qualidade)
DFR	- Design for Reliability (Projeto voltado para confiabilidade)
DIP	- Desenvolvimento integrado de produtos
GEPP-net	- Grupo de engenharia do produto e processo (em rede – colaborativa)
HDPE	- Polietileno de alta densidade

LDPE	- Polietileno de baixa densidade
MATLAB	- Matrix Laboratory (aplicativo para cálculo com matrizes)
OMG	- Object Management Group (Grupo de gerenciamento da programação orientada a objetos)
PA	- Poliamida
PBT	- Polibutilteraftálato
PC	- Policarbonato
PET	- Polietilentereftálato
PMMA	- Polimetacrilato
PNP	- Matriz – Passa não Passa
POM	- Resina
POO	- Object Oriented Programming (Programação orientada a objetos)
POWERSIM	- Power Simulation (Aplicativo para simulações e construção de modelos gerenciais)
PPN ou PP	- Polipropileno
PS	- Poliestireno
PTFE	- Politetrafluoretileno
PVC	- Cloniro de Polivinila
QFD	- Quality Function deployment (Desenvolvimento da função qualidade – Matriz Casa da Qualidade)
RdP	- Redes de Petri
SED	- Sistemas a eventos discretos
SIMUPLCC211	- Aplicativo para simulação de Controladores lógicos programáveis

SLAM	- Software Library for Appearance Matching (aplicativo com pacote de modelos para apresentação)
TIPS	- Theory of Inventive Problem Solving (Teoria das soluções inventivas)
TRIZ	- Teorija Rezhenija Izobretatel'skisch Zadach (Teoria das soluções inventivas)
UML	- Unified Modeling Language (Linguagem de modelagem unificada)
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCAR	- Universidade Federal de São Carlos
URSS	- União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
USP	- Universidade de São Paulo
VisObjNet ++	- Visual Object network (aplicativo para simulação de redes de Petri)

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE FIGURA	x
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xvii
CAPÍTULO 1	
INTRODUÇÃO – Caracterização do Problema	
1. Generalidades	1
2. Considerações do Estudo	3
3. Objetivos	5
4. Justificativas	6
5. Contribuições	8
6. Estrutura do Trabalho	8
CAPÍTULO 2	
ESTADO DA ARTE – Considerações	
1. Introdução	10
2. Processo Consensual de projeto	13
2.1 Projeto Informacional	14
2.2 Projeto Conceitual	16
2.3 Projeto Preliminar	18
2.4 Projeto Detalhado	19
3. Ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos (DIP)	19
4. Peças plásticas e Ensaio de fadiga	25
4.1 Materiais Poliméricos	26
4.2 Projeto de Peças	29
4.3 Ensaio de fadiga	30
4.3.1 Determinação dos parâmetros do ensaio de fadiga	32
5. Sistema de Controle	34
5.1 Modelagem de Sistemas usando rede de Petri (RdP)	36
5.2 Modelagem do Sistema usando a Linguagem de modelagem unificada (UML)	44
6. Considerações finais	47

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASO – Análise do desenvolvimento de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos

1. Introdução	49
2. Estudo de caso – Descrição do processo de desenvolvimento da bancada	49
2.1 Projeto Informacional	50
2.2 Projeto Conceitual	58
2.3 Projeto Preliminar	65
2.3.1 Projeto mecânico dos componentes	65
2.3.2 Projeto de modelagem do sistema computacional pela UML	72
2.3.3 Projeto de modelagem do sistema de controle através das RDP	74
3. Considerações finais	77

CAPÍTULO 4

ASPECTOS COMPLEMENTARES – Avaliação das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos sob o ponto de vista da equipe de projetos

1. Introdução	79
2. Metodologia de Avaliação	79
3. Instrumento de Avaliação	82
4. Critérios da Avaliação	83
5. Avaliação das Ferramentas	84
5.1 Matriz QFD	87
5.2 Matriz Contradição (TIPS)	88
5.3 DFMA	89
5.4 Síntese Funcional	90
5.5 Matriz Morfológica	91
5.6 Diagrama de blocos	91
5.7 Diagramas de Classe, seqüência e caso de uso	92
5.8 Rede de Petri	93
6. Considerações finais	95

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Introdução	96
2. Aspectos relevantes na aplicação das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos no projeto da bancada	97
3. Conclusões Finais e Sugestões para Trabalhos futuros	100

REFERÊNCIAS	102
APÊNDICES	106
A. Síntese Funcional: Análise Funcional da Bancada para Ensaios de Fadiga	107
B. Matriz da Casa da Qualidade (QFD) – Primeiro desdobramento	108
C. Matriz Morfológica da Bancada para Ensaios de Fadiga	109
D. Instrumento de Pesquisa (Questionário Orientado)	112
E. Parâmetros de Engenharia	117
F. Princípios Inventivos	120
G. Necessidades dos Clientes	123
H. Resumo das respostas do Instrumento de Pesquisa	125
I. Levantamento Estatístico dos Dados do Instrumento de Pesquisa	132

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO – CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

1. Generalidades

O processo de desenvolvimento de produtos tem evoluído de modo significativo nas últimas duas décadas. Atrelados à complexidade crescente dos produtos e a um mercado altamente competitivo, surge a necessidade de sistematizar o processo de maneira a obter produtos rapidamente com a qualidade desejada e com o menor custo. Os produtos mecatrônicos em particular, apresentam uma maior complexidade, haja vista a diversidade e quantidade de informações envolvidas. Neste caso, os vários dispositivos mecânicos e eletrônicos devem funcionar de maneira integrada evitando assim o risco de mau funcionamento decorrente da falha de um dos subsistemas.

O crescimento tecnológico também tem implicado num maior volume de problemas técnicos que necessitam resoluções; como por exemplo, a integração entre as partes físicas e de controle, envolvidas em um projeto mecatrônico, os quais são caracterizados por uma forte integração entre as engenharias mecânica, eletroeletrônica, ciência da computação e de controle industriais automatizados. Além disso, segundo Santos (2003), à medida que aumenta a complexidade dos produtos e seus sistemas de controle, seja pelas dimensões, pelo número de tecnologias envolvidas ou pelo desempenho exigido, a equipe de projeto poderá envolver especialistas em informática, controladores programáveis, hidráulica e pneumática, instrumentação, eletrônica, dentre outras, onde cada um empregará conceitos, diagramas e terminologias próprias.

A idéia de simplesmente gerar o conceito e detalhar o produto não condiz com produtos de alto grau de complexidade. Chin e Wong (1996) observaram que existe uma deficiência quanto à geração e avaliação dos princípios de solução no desenvolvimento de produtos com características multifuncionais. Isto requer procedimentos de trabalho mais integrados, que adotem uma determinada metodologia, visando tornar todo o processo mais fácil e monitorados, visto que estas metodologias determinam o que fazer, para quem fazer, quando fazer, como fazer e com que fazer (FORCELLINI, 2003).

Assim como foi citado por Daré (2001), a carência do emprego de metodologias e planejamento durante a etapa de projeto favorece a obtenção de produtos de baixa qualidade, pouco racionais, de custo elevado e que, muitas vezes, não atendem de forma adequada às verdadeiras necessidades dos clientes. Deste fato, pode-se inferir que a utilização de um procedimento sistemático no desenvolvimento de produtos é essencial para administrar de maneira eficaz os vários elementos metodológicos (processos, informações e meios), e obter assim um controle de qualidade maior das atividades envolvidas. Embora um bom projeto não garanta sucesso pleno de desenvolvimento, este é de fundamental importância.

O processo de desenvolvimento de produtos compreende uma série de atividades que, bem organizadas, auxiliam projetistas e equipes de desenvolvimento em suas tarefas. O desenvolvimento sistematizado tem como finalidade obter produtos maximizando qualidade e minimizando custos e tempo. Sistematizar neste contexto significa o ordenamento seqüencial metódico, coerente com determinada linha de pensamento, levando em consideração técnicas, métodos e ferramentas de apoio disponíveis. Um produto que chega tardiamente no mercado terá sua fatia ocupada pela concorrência, ou pior, poderá ser um produto que não mais

satisfaça as necessidades dos clientes. Portanto, desenvolver um novo produto não é uma tarefa trivial, pois capacidades, áreas, técnicas, métodos, entre outros, conferem certo grau de importância ao processo, principalmente quando estes aspectos se tornam o ponto focal da competitividade industrial.

À medida que aumenta o grau de integração e complexidade dos dispositivos, equipamentos e sistemas, maior será a probabilidade de um projeto bem estruturado alcançar seus objetivos. Em face das complexidades no desenvolvimento de produtos otimizados, é que surgem na década de 70, as ferramentas para desenvolvimento integrado de produtos (DIP). Estas visam inicialmente, reduzir custos na manufatura ainda na fase inicial do processo, para em seguida, ampliar sua aplicação para antecipar a identificação de problemas de fabricação do produto antes destes chegarem à linha de produção, onde os custos de alteração ou re-projeto são elevados.

Mudanças na fase inicial de desenvolvimento são menos dispendiosas do que em estágios posteriores. À medida que o processo de desenvolvimento de um produto avança em suas distintas fases, este custo poderá atingir um fator de até dez vezes superior, em relação à fase anterior, como pode ser observado na figura 1.

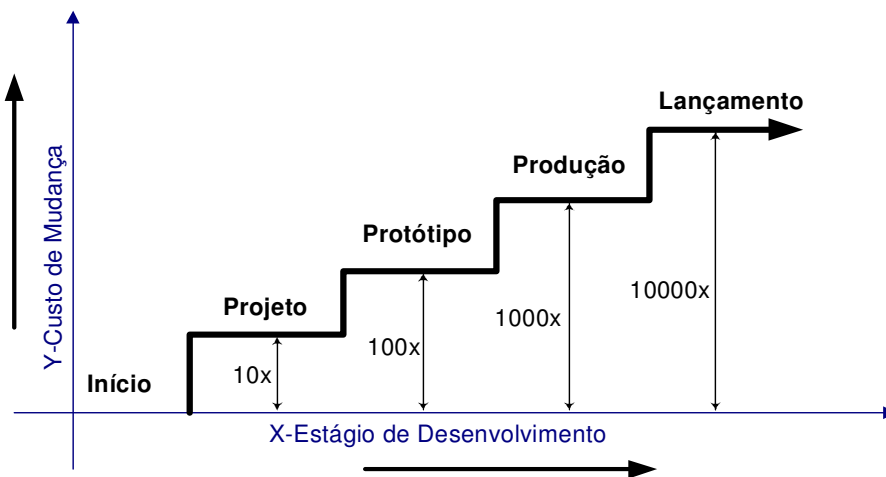


Figura 1 – Relação custo de mudanças do produto em função das diversas fases de desenvolvimento produto [adaptado: Huthwaite e Schneberger (1992 *apud* FORCELLINI, 2003)].

Apesar do uso das ferramentas de DIP estar bastante difundido no meio acadêmico, pouco se tem publicado a respeito das suas aplicações no desenvolvimento de sistemas mecatrônicos. Sistemas que, segundo Theska (2004), “apresentam o produto sobre diferentes perspectivas ao mesmo tempo”. Isto significa estabelecer vínculos entre quatro grandes áreas que são a engenharia mecânica, engenharia eletrônica, ciência da computação e tecnologia da informação. Abarcando também a robótica autônoma e móvel, e a automação industrial que já dispõe de um número significativo de normalizações dos processos e de componentes mecatrônicos, decorrentes do tempo de vida dos processos industriais conhecidos e do grau de automação com usos de diversos dispositivos de segurança.

Contudo, produtos com estas características apresentam particularidades devido a sua natureza multidisciplinar que podem facilitar ou dificultar a aplicação das técnicas supracitadas. Embora cada novo produto deva passar por uma bateria completa de testes para avaliação de sua vida útil/rendimento, compatibilidade com os já existentes e desempenho geral sob uma ampla faixa de condições ambientais e de utilização da “máquina”. Os testes devem assegurar as características físicas (elétricas, mecânicas, dimensionais etc.) e computacionais otimizadas, sob condições que simulem a utilização dos mesmos, o mais próximo possível do mundo real. A garantia de qualidade apresenta-se também na amostragem da documentação de especificação completa para cada produto. Isto permite

impor a concordância contínua com todas as especificações de hardware e software. Procedimentos igualmente completos asseguram o alto desempenho e a confiabilidade do produto.

Na figura 2, verifica-se que cada vez mais os produtos industriais vão se apropriando de uma alta tecnologia enquanto seu ciclo de vida diminui exponencialmente na medida em que novos recursos vão sendo agregados. Recursos altamente integrados que, segundo Shetty e Kolk (1997), estão caracterizados em seis elementos-chave: sistema de informação, sistema elétrico, sistema mecânico, sistema computacional, sensores e atuadores com interface de tempo real.

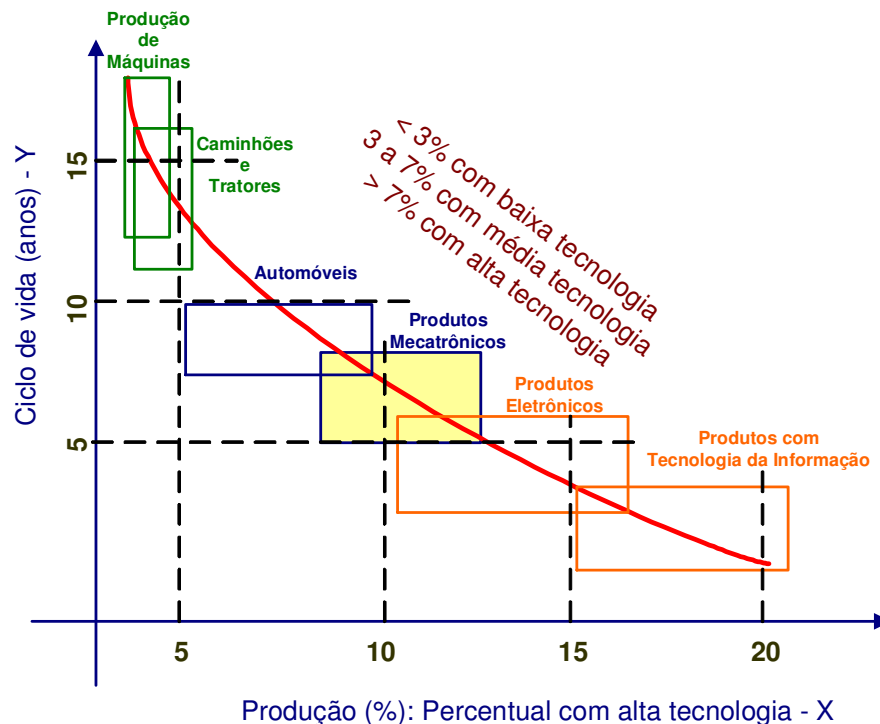


Figura 2 – Relação entre ciclo de vida dos produtos industriais e alta tecnologia (Adaptado: THESKA, René. *Precision Engineering*. Technische Universität Ilmenau. Depth Precision engineering. 2004).

Visando incorporar toda esta variedade de parâmetros, adotou-se neste trabalho uma abordagem de desenvolvimento de produtos aplicada na engenharia simultânea, trabalhando-se com uma equipe multidisciplinar com vistas a levantar os vários aspectos inerentes a cada área, a fim de construir a base do projeto informacional do produto em todo seu ciclo de vida. Espera-se com isto que todo o processo de desenvolvimento seja aprimorado através da integração entre as diferentes especialidades envolvidas. Deste modo, buscou-se, sobretudo no início, os parâmetros e especificações de projeto, bem como suas restrições. O uso de ferramentas apropriadas, de emprego comum no desenvolvimento integrado de produtos, foi utilizado validando assim as diversas etapas do ciclo de desenvolvimento de produtos.

2. Considerações do estudo

Entender e definir o desenvolvimento de produtos mecatrônicos envolve dificuldades inerentes à multiplicidade da área, assim como entender a complexidade de um sistema organizacional composto por pessoas, conjunto de funções e máquinas com intensas, variadas e complexas relações entre si (AMARAL, 1997 *apud* GUERRERO, 2001). Este quadro direciona-se para a solução mais adotada atualmente de cooperação multifuncional no projeto

de engenharia que é decompor o sistema organizacional em processos, que consistem num conjunto de atividades elementares executadas e ordenadas numa seqüência lógica e que resulte numa determinada finalidade (VERNADAT, 1996 *apud* GUERRERO, 2001). Tais processos dentro da engenharia simultânea são desenvolvidos em etapas, numa seqüência lógica integrada e de forma paralela, a fim de criar produtos que sejam melhores, com mínimo de custo e introduzidos no mercado mais rapidamente, conforme ilustrado na figura 3.

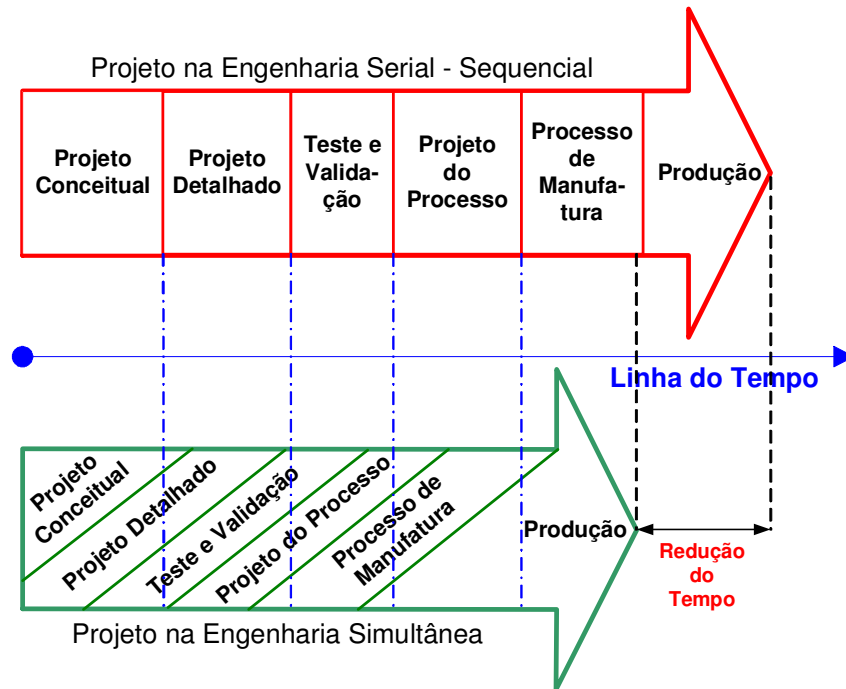


Figura 3 – Engenharia Serial x Engenharia simultânea

Na área de desenvolvimento de produtos, destacam-se basicamente com hegemonia duas correntes: *a sintática*, que se preocupa em definir um procedimento estruturado para as atividades de projeto estabelecendo modelos para o processo de desenvolvimento, focando os aspectos morfológicos; e *a semântica*, baseada na escola alemã, que organiza metodologias com base na estruturação funcional para resolução do problema de projeto.

De uma forma resumida, pode-se dizer que as filosofias sintáticas de projeto têm como principal preocupação *o processo* de projeto, enquanto que as filosofias semânticas estão centradas *no problema* de projeto. Sendo assim, este trabalho estrutura-se dentro da corrente alemã procurando entender o problema proposto de desenvolver uma bancada que realize ensaios normalizados de fadiga em materiais plásticos de forma automatizada, de modo a perceber a combinação sinérgica entre as diferentes áreas envolvidas: engenharia mecânica e elétrica, ciência da computação e tecnologia da informação.

Neste contexto, o emprego de ferramentas de apoio no desenvolvimento de produtos permite organizar e aperfeiçoar este processo. Deste modo, a proposta consiste da análise do uso de algumas ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, através do projeto de uma bancada para ensaios em fadiga, tomando-se por base o modelo de fases delineado por Pahl e Beitz (1996) entre outros, e sistematizado por Ferreira (1997) e Ogliari (1999) num modelo consensual, a qual divide o processo em quatro fases: informacional, conceitual, preliminar e detalhada como apresentado na figura 4.

Embora não se possa afirmar que este modelo seja o mais correto, é o que tem sido mais aceito pelos projetistas. O modelo leva em consideração o ciclo de vida do produto, nos quais se prescrevem os conceitos básicos de desenvolvimento industrial de produtos.

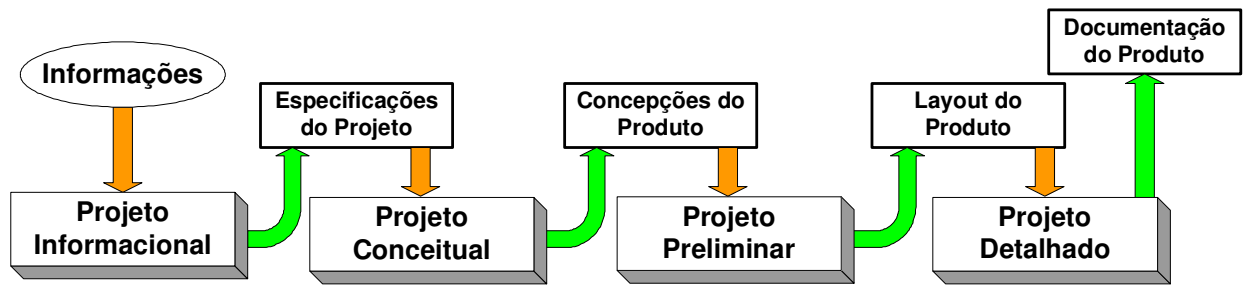


Figura 4 – Estrutura básica do processo de projeto (adaptado de OGLIARI, 1999).

Este trabalho tem como um de seus pressupostos avaliar o desenvolvimento de um produto mecatrônico de forma integrada, por meio de uma equipe multidisciplinar que trilhará o método consensual sistematizado por Ferreira (1997) e Ogliari (1999). De maneira mais específica, verificar a integração dos subsistemas da bancada de ensaios desde sua especificação até sua concepção.

O processo sistematizado como tem sido delineado, compreende uma série de atividades que, bem organizadas, auxiliam projetistas e equipes de desenvolvimento em suas tarefas. No caso do processo de desenvolvimento de produtos, surgiram nas últimas décadas propostas de sistematização que generalizadas formaram as metodologias de projeto de produtos. Para Pahl e Beitz (1996), uma metodologia consiste na partição do processo de desenvolvimento de produtos em fases e etapas, com métodos de trabalhos específicos associados. Com isto, busca-se particionar um processo de grande complexidade em etapas mais simples, para melhor entendê-lo, aumentando assim a probabilidade de sucesso.

Para se ter uma melhor compreensão do problema inerente ao desenvolvimento de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, várias questões foram sendo suscitadas e amadurecidas, tais como: Quais as necessidades e requisitos precisam ser levantados? Que tipos de ferramentas e técnicas são mais apropriados para serem utilizados em cada fase? Já existe no mercado um produto similar? Quanto custa? Que características ou inovação tecnológica pode ser agregada ao novo produto? O que caracteriza um ensaio de fadiga, quais parâmetros de controle? Quais as características dos materiais plásticos precisam ser estudadas? Estas, dentre outras questões, permearam todo o processo de desenvolvimento até a geração de uma concepção do produto. E, posteriormente, no dimensionamento e detalhamento de uma concepção.

3. Objetivos

Dentre as múltiplas motivações e questionamentos que conduz ao estudo em foco, destaca-se a ausência de um estudo mais delineado sobre o desenvolvimento integrado de produtos que envolvem várias áreas de conhecimento, como a mecatrônica, e que constitui hoje uma deficiência para os projetistas, especificamente pelo caráter embrionário desta área. Sobretudo, a informação que gera o conhecimento confiável e que se busca para fazer escolhas e tomar decisões precisas.

Como exposto anteriormente, dentro do ambiente de projetos mecânicos a metodologia mais aceita é a sistematizada por Ferreira (1997) e Ogliari (1999), todavia, faz-se necessário investigar a aplicabilidade das várias técnicas recomendadas. E, como proposta deste trabalho, responder questões inerentes ao processo e uso das ferramentas de apoio, tais como:

- a) Será que a metodologia e ferramentas de apoio para desenvolvimento integrado de produtos (DIP) são aplicáveis no projeto de um produto mecatrônico?
- b) Em que fase do desenvolvimento fica evidenciada as características do produto?
- c) As ferramentas de apoio de cada área (mecânica, computação, elétrica etc.) podem ser utilizadas sem alterações ou necessitam de adequações e criar metodologias próprias?
- d) Como o produto (mecatrônico) possui características multidisciplinares a formação de uma equipe com componentes de cada área estabelece as condições necessárias para desenvolver produtos mecatrônicos com desenvoltura?
- e) Quais critérios gerais e específicos poderiam ser levantados para balizar o desenvolvimento de produtos mecatrônicos?

Além disto, o produto a ser desenvolvido tem uma finalidade específica e funcional que precisa ser plenamente atendida. Deste fato, cabe compreender como utilizar as ferramentas de DIP em um produto multidisciplinar, e, em que fase do processo. E ainda, como estas poderão auxiliar a equipe de desenvolvimento para que os resultados funcionais possam ser normalizados. Existem particularidades em cada etapa do processo de desenvolvimento que permitem, após a revisão bibliográfica, levantar o estado da arte das ferramentas DIP e buscar estabelecer qual, como e quando aplicá-las.

Com base no que foi apresentado, o trabalho tem como principal objetivo aplicar e avaliar o uso de algumas ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos (DIP) no projeto de produtos mecatrônicos. Para isto, foi desenvolvido o projeto informacional, conceitual e preliminar de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, e assim, levantado os parâmetros para uma análise da aplicabilidade destas para desenvolver outros produtos de caráter similar.

Especificamente como objetivos e metas deste trabalho pode-se citar:

- a) Avaliar o uso de ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, tais como: Primeira Matriz QFD, Matriz de contradição da TRIZ (Teoria da Solução Inventiva de Problemas), Síntese funcional, Matriz morfológica, Projeto para montagem e manufatura (DFMA), no desenvolvimento de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos; analisando o processo de desenvolvimento através de uma equipe multidisciplinar quanto ao tempo de desenvolvimento, funcionalidade e criatividade nas concepções.
- b) Aplicar um estudo de caso considerando uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, visando avaliar a aplicabilidade das ferramentas de projeto Conceitual. Verificar as mais utilizadas na literatura e na prática.

4. Justificativas

Para se ter um diferencial e sobressair-se em relação à concorrência, num mundo cada vez mais dinâmico e competitivo, os produtos mecatrônicos precisam ser desenvolvidos com eficácia e eficiência. Eficácia no sentido de documentar todos os subsistemas existentes, suas interligações, influências e abrangências que cada um tem em relação ao outro, afim de que seja possível prever as conseqüências de decisões assumidas em cada fase do projeto.

Eficiência para que a documentação seja formada por diagramas e métodos compreensíveis por todos os envolvidos no projeto e, ainda, que seja clara e reutilizável.

O desafio das novas metodologias, métodos e abordagem de projetos, são estar em acordo com estas novas exigências, provendo condições e facilidades para que os novos objetivos determinados pelas atuais condições de competitividade sejam alcançados.

Alia-se a este contexto a rarefação dos métodos de trabalho, a carência de emprego de metodologias e planejamento durante a etapa de projeto favorecendo obtenção de produtos de baixa qualidade, de custo elevado e que muitas vezes não atendem de forma adequada às verdadeiras necessidades dos clientes. Desta forma, busca-se cada vez mais adoção de metodologias e ferramentas para auxílio de desenvolvimento integrado de produtos tendo-se em mente o processo como um todo, com intuito de contribuir para integração das áreas de conhecimento envolvidas, estabelecendo uma análise crítica e abrangente das inter-relações existentes, além de detectar possíveis falhas do processo.

A proposta a ser estabelecida é flexível e não busca uma receita pronta de como se desenvolver produtos ótimos, o que seria uma tarefa quase impossível devido a enorme quantidade de parâmetros e especificidades envolvidas no processo de desenvolvimento integrado de produtos, abrangendo um leque tão complexo de áreas, como a mecatrônica, que busca trabalhar na circunvizinhança de áreas como as engenharias mecânicas, elétrico-eletrônica e a computacional, conforme esquema da figura 5.

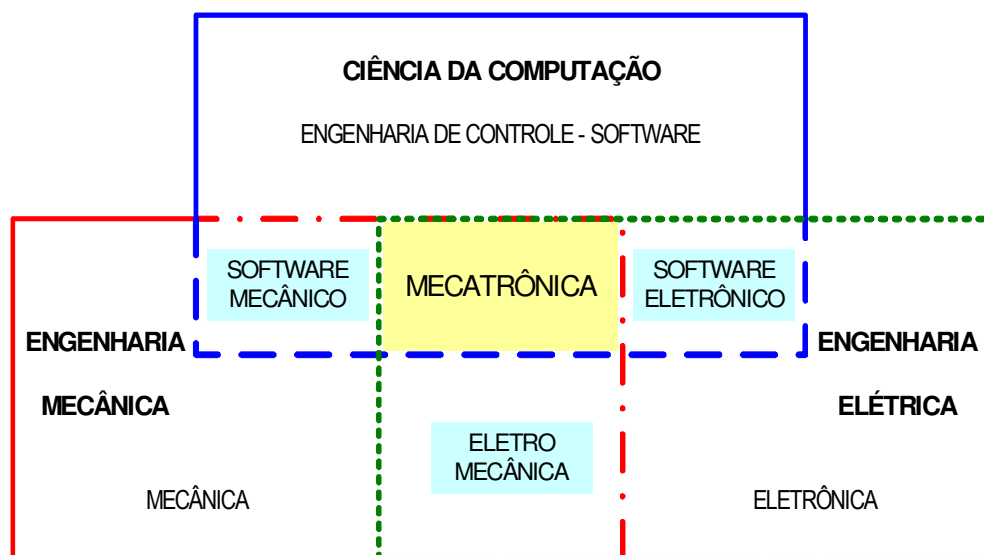


Figura 5 – Mecatrônica: Interação entre múltiplas áreas.

Em resumo, verifica-se que o processo de desenvolvimento integrado de produtos precisa, com certa urgência, acompanhar o desenvolvimento de produtos mecatrônicos, que tem características singulares, como:

1. Complexidade multiorganizacional;
2. Possuir forte característica interdisciplinar, visto que envolve várias áreas de conhecimento;
3. Possuir grande quantidade de parâmetros que guardam fortes inter-relações.
4. Estar multifacetado por diversas normas e padrões não consolidados.

Deste fato, fica evidente a necessidade de desenvolver pesquisas que aprimorem os critérios considerados no desenvolvimento integrado de produtos e que sejam adotadas metodologias, procedimentos e recomendações, visando o alcance de desenvolvimento de um

produto ótimo. A utilização de um procedimento sistemático no desenvolvimento de um produto, em especial envolvendo diversas áreas, como o mecatrônico, é essencial para administrar de maneira eficaz os vários elementos metodológicos (processo, informações e meios) e obter um maior controle das atividades envolvidas.

5. Contribuições

Espera-se, com este trabalho, aplicar e avaliar o uso de algumas ferramentas de desenvolvimento integrado no projeto de produtos mecatrônicos, utilizando para tal, o projeto de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.

Assim sendo, levantar as informações pertinentes ao desenrolar do processo de desenvolvimento de produtos, acompanhando uma equipe multidisciplinar de projetos nas etapas do projeto informacional, conceitual e preliminar, de modo a gerar trabalhos acadêmicos relevantes ao desenvolvimento tecnológico do país.

Apresentar proposta de produção de um protótipo da máquina de ensaio de fadiga, através da sistemática aqui empregada, seria primordial, mas depende de recursos capitados nos agentes financiadores, e poderia destacar algumas relevâncias de caráter sócio-econômica, técnico-científico e ambiental, dentre elas:

O aumento da competitividade de empresas fabricantes de componentes plásticos injetados, uma vez que estas possam realizar os testes em seus produtos conforme as exigências técnicas de seus clientes em um tempo hábil;

A qualificação de profissionais para atuarem na área em questão; além de estabelecer os critérios e procedimentos para desenvolver o projeto de peças plásticas injetadas suscetíveis à falha por fadiga;

Também validar o desenvolvimento de uma sistemática para o projeto e a fabricação de bancadas para ensaios mecânicos informatizados, possibilitando assim a nacionalização destes produtos, gerando uma patente nacional dos mecanismos e da bancada de ensaios.

Estes aspectos permitiriam a consolidação de grupos de pesquisa para fornecer suporte às empresas sediadas na região, os quais desenvolvessem um produto com níveis de segurança aceitáveis, evitando falhas em operação, promovendo o mínimo risco de impacto ambiental durante seu ciclo de operação.

6. Estrutura do trabalho

O capítulo I apresenta uma visão geral do desenvolvimento de produtos e suas relações com o mundo competitivo da indústria. Busca estabelecer o cenário atual do desenvolvimento integrado de produtos, no caso específico do projeto mecatrônico de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, que envolve múltiplas áreas de conhecimento que precisam ser trabalhadas de forma integrada e simultânea, com o fim de obter um produto ótimo em todo seu ciclo de vida.

Mapeia as questões básicas e subjacentes da proposta, bem como suas pretensões futuras.

No capítulo II apresenta-se o estado da arte referente aos conteúdos abordados através da revisão bibliográfica, buscando destacar os principais conceitos relacionados ao processo de desenvolvimento integrado de produtos na engenharia simultânea, ferramentas de apoio ao desenvolvimento integrado, materiais plásticos, ensaios de fadiga e sistemas de controle. Com foco no estudo de caso do projeto da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.

O capítulo III descreve o projeto de desenvolvimento da bancada de ensaios evidenciando as principais ferramentas escolhidas pela equipe de projeto, a partir do método consensual descrito por Ferreira (1997) e Ogliari (1999), que envolve as quatro fases de desenvolvimento abordadas no capítulo anterior, que são: projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado. Sob a óptica da engenharia simultânea que utiliza uma equipe de projeto multidisciplinar.

Embora o projeto consensual aborde quatro etapas, este trabalho restringiu-se às três primeiras fases, não englobando o projeto detalhado do produto.

No capítulo IV se busca apresentar os critérios para avaliação das ferramentas aplicadas no desenvolvimento, assim como a metodologia de avaliação das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos adotadas nas diversas etapas do projeto da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.

Por fim, o capítulo V reporta e discute os aspectos positivos e negativos decorrentes do processo de desenvolvimento integrado de produtos, procura responder às questões suscitadas e motivadoras do trabalho, e sintetiza as conclusões do trabalho com as perspectivas futuras de novas pesquisas.

No apêndice encontram-se figuras, tabelas, instrumento de pesquisa entre outras ferramentas aplicadas pela equipe de desenvolvimento de projetos. Ao final têm-se as referências obedecendo à edição mais recente das normas da ABNT (LUBISCO, 2003).

CAPÍTULO 2

ESTADO DA ARTE – CONSIDERAÇÕES

1. Introdução

A literatura especializada aponta sob forma de proposições metodológicas e normas, uma série de propostas para a organização do processo de desenvolvimento integrado de produtos. Segundo Ogliari (1999), tais propostas são bastante semelhantes quanto à forma, podendo-se estabelecer um paralelo entre as mesmas e definir uma estrutura básica comum, no qual, consideram uma etapa de entendimento da tarefa de projeto, seguido de etapas de geração de conceitos, análises preliminares e, por fim, detalhamento do produto.

Dentre as técnicas propostas, aquela que tem sido mais comum e que será o balizador deste trabalho, conforme exposto no capítulo anterior, é o modelo consensual sistematizado por Ferreira (1997) e Ogliari (1999), o qual apropria um ganho cumulativo de informações que permite alimentar a fase posterior ao mesmo tempo em que melhora o entendimento da fase anterior. Além de um procedimento seqüencial e lógico, o processo permite a aplicação dos conceitos e ferramentas de apoio como, por exemplo, Projeto para montagem (Design for Assembly – DFA), Projeto para a Manufatura (Design for Manufacture – DFM), Projeto para Manufatura e Montagem (Design for Manufacture and Assembly – DFMA), Projeto para Custos (Design for Cost – DFC), Projeto para o Meio Ambiente (Design for Environment – DFE), entre outros.

Entende-se por sistematização o "ato de agrupar formando um conjunto de normas, reduzindo diversos elementos a um sistema (conjunto de princípios), enquanto que uma ferramenta é um instrumento ou utensílio empregado nas artes ou ofícios". (MICHAELIS, 2000). O processo sistematizado compreende uma série de atividades que, bem organizadas, auxiliam projetistas e equipes de desenvolvimento em suas tarefas. No caso do processo de desenvolvimento de produtos, surgiram nas últimas décadas propostas de sistematização que generalizadas formaram as metodologias de projeto de produtos.

Para Pahl e Beitz (1996), uma metodologia consiste na partição do processo de desenvolvimento de produtos em fases e etapas, com métodos de trabalhos específicos associados. Com isto, busca-se particionar um processo de grande complexidade em etapas mais simples, para melhor entendê-lo, aumentando assim a probabilidade de sucesso.

Segundo Clark e Fujimoto; Patterson, (1991, 1993 *apud* GUERRERO, 2001), o desenvolvimento de produto também pode ser entendido como um processo de transformação de informação que manipula uma grande quantidade e variedade de informações, constituindo deste modo, um aspecto crítico para o gerenciamento do processo. Em consequência, as práticas e sistemas de gerenciamento de informações tornam-se relevantes para garantir que estas informações sejam confiáveis, precisas e completas e estejam acessíveis no formato, local e tempo adequado.

A engenharia simultânea, a partir da década de 90 veio se estruturando como uma abordagem de gestão do processo de desenvolvimento de produto, com foco na redução do tempo de desenvolvimento inserindo simultaneidades nas etapas e atividades do processo. Conforme Guerrero (2001), atualmente alguns autores como Cleetus (1992), Clausing

(1996), Prasad (1996) e Chen e Tsao (1998) ela está mais abrangente, a ponto de ser vista como uma filosofia de gerenciamento.

Na literatura encontram-se diversas definições de engenharia simultânea (“Concurrent Engineering”) ou resumidamente condução simultânea das atividades de desenvolvimento de produtos, cada uma enfatizando um ou outro aspecto ou classificando-a como uma metodologia de projeto ou uma filosofia de gestão. Pode-se destacar:

1. Segundo Chen e Tsao (1998), o principal ponto da engenharia simultânea é um **processo integrado e colaborativo**, onde **pessoas em diferentes disciplinas cooperam** para projetar produtos e desenvolver os processos correspondentes através de **coordenação, comunicação e controle**.
2. É um termo aplicado para uma filosofia de **cooperação multifuncional** no projeto de engenharia, a fim de criar produtos que sejam melhores, mais baratos e introduzidos no mercado mais rapidamente. (SMITH, 1997).
3. É uma **abordagem sistemática** para o **projeto simultâneo e integrado de produtos e processo** relacionados, incluindo manufatura e suporte. Procura considerar todos os elementos do **ciclo de vida do produto** desde a concepção até o descarte, incluindo qualidade, custo, programação e requisitos do usuário. (SPRAGUE e outros, 1991).

Entretanto, é possível estabelecer um conjunto de princípios fundamentais que orientam essas definições. Estes princípios, segundo Prasad e Clausing (1996a, 1994 *apud* GUERRERO, 2001), são:

- Antecipar decisões e problemas: a quantidade de incertezas no início dos projetos é bem maior que em etapas adiantadas, gerando uma maior dificuldade de decisões neste estágio. Contudo, antecipar decisões, problemas e a utilização de informações fazem com que mais oportunidades sejam identificadas e não postergados para o final do projeto, quando são mais críticos e com custos elevados, segundo figura 6.

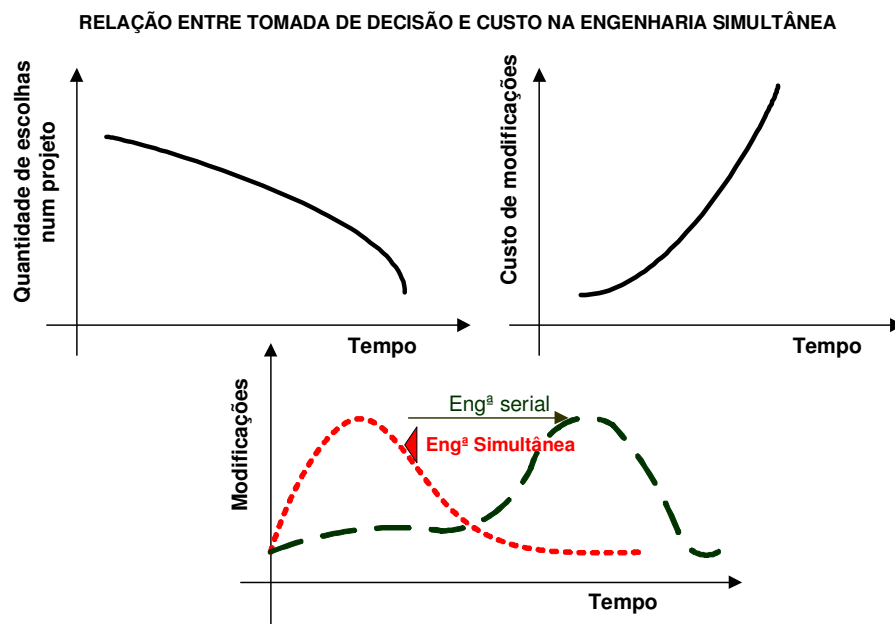


Figura 6 – Características de Desenvolvimento de produtos com foco na Engenharia Simultânea (adaptado SILVA, 2002).

- Estruturar o processo de trabalho: as pessoas não podem realizar diversas tarefas ao mesmo tempo, assim como os computadores. Contudo, estas tarefas podem ser estruturadas em um processo concorrente visível, para que sejam executadas, de forma otimizada, por pessoas, máquinas ou computadores.
- Estabelecer uma equipe de trabalho coesa e multidisciplinar: um dos principais aspectos da engenharia simultânea consiste em desenvolver o trabalho em equipes, através da afinidade e confiança entre os membros, de objetivos comuns, de decisões baseadas em consenso e da atribuição de poder e propriedade às equipes.
- Disseminar as informações para gerar o conhecimento: a utilização de técnicas e sistemas para garantir que as informações e a base de conhecimento estejam sempre disponíveis quando necessário, principalmente quando as equipes de projetos estão distribuídas, física e geograficamente. Segundo Chen & Jan, (2000 *apud* GUERRERO, 2001), a má administração das informações do projeto, são aspectos que podem dificultar a condução do desenvolvimento do projeto, baseado nos seguintes aspectos:
 - a) A necessidade de controlar a comunicação e processos entre os envolvidos (clientes, empresas). Muitas vezes o desenvolvimento ultrapassa as barreiras das organizações.
 - b) Os sistemas e processos utilizados pelas equipes e clientes são heterogêneos de diferentes padrões dificultando a comunicação.
 - c) Segurança das informações e sistemas computacionais. Em ambientes distribuídos onde há troca intensa de informações a segurança deve ser vista como algo crítico.
 - d) O uso de formato distintos de dados de engenharia e base de dados pode gerar incompatibilidades e dificultar a comunicação.

No desenvolvimento integrado de produtos onde duas ou mais equipes trabalham no projeto de um produto, deve haver coesão e colaboração mútua para que a informação e o processo possam fluir de maneira há reduzir o tempo e custo do produto. É importante destacar aqui, por mais simples que possa parecer, a diferença gradual entre os conceitos de dados, informação e conhecimento.

Os dados são os fatos em sua forma primária, a matéria prima para gerar informações e conhecimento. As informações, segundo Miller (1993 *apud* GUERRERO, 2001), são os conjuntos de fatos organizados de tal forma que adquirem valor adicional além do fato em si. É o que se precisa para fazer escolhas, tomar decisões. Esta atribuição de valor aos dados se processa através de: contextualização (qual finalidade dos dados?), categorização (quais unidades de análise?), cálculos (matemáticos ou estatísticos), correção (eliminação de erros) e condensação (resumo em forma mais concisa). (DAVENPORT e PRUSAK, 1998 *apud* GUERRERO, 2001).

Estes valores permitem dinamizar e agregar qualidade aos dados de um projeto ou empresa. Entretanto, o valor da informação está diretamente ligado à qualidade da informação, quanto maior a qualidade, maior o valor agregado. Neste foco, Stair (1998 *apud* GUERRERO, 2001) relaciona as características de uma informação de qualidade, e estes conceitos, serão úteis posteriormente para avaliar o uso das ferramentas (DIP) e o processo de desenvolvimento do estudo de caso apresentado neste trabalho. Estas características são apresentadas na tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Características de uma informação de qualidade

Características	Descrição
1. Precisa	Uma informação precisa é aquela que não contém erros. Em alguns casos, a imprecisão é resultado da transformação de dados incorretos;
2. Completa	A informação completa contém todos os fatos importantes que compõem seu significado;
3. Econômica	O baixo custo da informação é um fator importante para a sua qualidade;
4. Flexível	A informação flexível pode ser utilizada para diversas finalidades, ou seja, quanto maior o número de decisões que podem ser tomadas com uma determinada informação, maior é sua flexibilidade e maior sua qualidade;
5. Confiável	A confiabilidade de uma informação é um indicador de sua qualidade. Na maioria dos casos a confiabilidade está associada à fonte da informação;
6. Relevante	Toda informação é relevante pela sua definição, ou seja, a informação é um dado que faz a diferença. Contudo, diferentes níveis de relevância indicam diferentes níveis de qualidade da informação;
7. Simples	Uma informação de qualidade deve estar limitada aos aspectos essenciais, sem complexidade desnecessária;
8. Em tempo	A informação deve estar disponível ou ser enviada no tempo certo para que sua qualidade não seja comprometida;
9. Verificável	Por fim, uma informação de qualidade deve ser verificável, isto é, pode-se checá-la para saber se está correta.

(Fonte: GUERRERO, 2001).

Estas características devem ser buscadas no processo de desenvolvimento, a fim de garantir a qualidade das informações e conhecimentos gerados. O termo conhecimento e gestão do conhecimento estão cada vez mais em foco nesta década, constituindo o último estágio de valores agregados das informações. E constitui segundo Davenport e Prusak (1998 *apud* GUERRERO, 2001), “uma mistura de experiência condensada, valores, informação contextual e ‘*insight*’ experimentado, a qual proporciona uma estrutura para a avaliação e incorporação de novas experiências e informações. Para que a informação seja transformada em conhecimento todo o trabalho deve ser feito pelas pessoas através de comparações, conexões, análises de consequência e discussões”.

O conceito de desenvolvimento de produto adotado aqui, que prima por uma abordagem sistemática das atividades, segundo Roozenburg e Eekels (1995) é aquele que o considera "um processo mental orientado, pelo quais problemas são analisados, objetivos são definidos e ajustados, propostas de solução são desenvolvidas e a qualidade dessas soluções são medidas". Atualmente, o processo de desenvolvimento de produtos é realizado por uma equipe multidisciplinar integrada em um ambiente de engenharia simultânea, onde várias atividades são desenvolvidas paralelamente, e que se caracteriza por apresentar um grande intercâmbio de informações entre os envolvidos. Tal processo é denominado de Desenvolvimento Integrado de Produtos (DIP), o qual será abordado de modo global, a seguir.

2. Processo Consensual de projeto

É composto pelas fases de projeto, concatenadas por Ferreira (1997) e Ogliari (1999), e apresentados esquematicamente na figura 4, do capítulo I, as quais estabelecem uma seqüência lógica de ações que permitem organizar e documentar cada etapa de desenvolvimento do produto. O gerenciamento das informações deve ser completa e

confiável para que ao final de cada etapa tenha-se uma saída relevante de dados que servirá de base informacional para a fase seguinte. A figura 7 ilustra o fluxo de informações entre as etapas do desenvolvimento do produto.

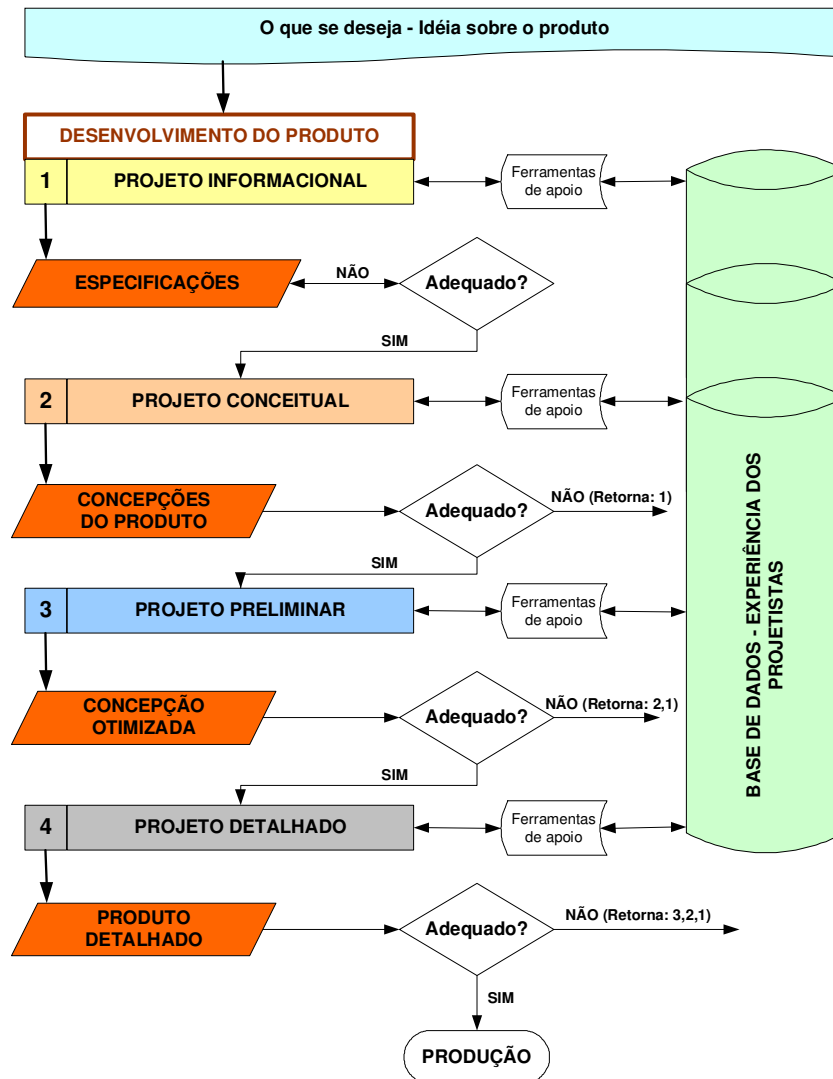


Figura 7 – Modelo de fluxo de desenvolvimento de produtos (adaptado: Forcellini, 2003).

2.1 Projeto Informacional

Para se chegar à concepção de um produto é necessário, a priori, entender o que se deseja, ou seja, compreender o “problema de projeto”. Este processo tem início no levantamento das informações pertinentes às necessidades dos clientes, qualquer que seja a área envolvida; mecânica, elétrica ou computacional (software). Entende-se por clientes, todas as pessoas envolvidas no processo, desde o projetista, operador, engenheiro etc, até o usuário final que fará o uso e disposição do produto no fim de seu ciclo de operação, conforme ilustrado na figura 8. Entretanto, a definição das necessidades do ponto de vista dos clientes nem sempre traduz de forma clara o que realmente se deseja do produto, visto que esta é na maioria da vez subjetiva, por exemplo: um cliente que deseja um produto bonito, pode significar colorido ou com formas arredondadas.

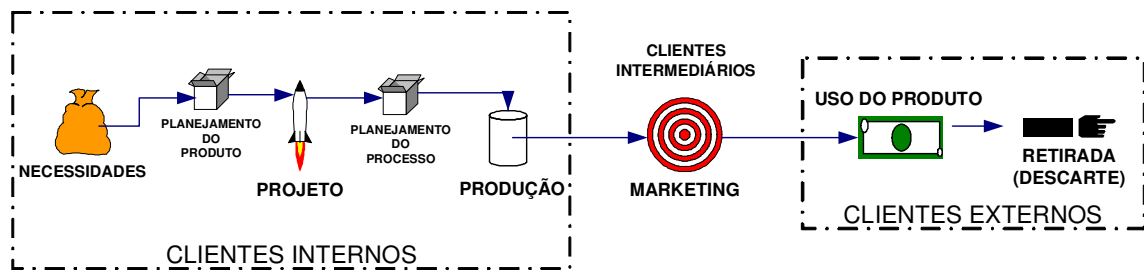


Figura 8 – Ciclo de Vida do Produto conforme atividades de desenvolvimento, uso e descarte.

Os requisitos são os meios de traduzir as necessidades em uma linguagem mensurável de engenharia, assim como a modelagem na linguagem de programação, são as características técnicas que possam ser medidas através de um sensor, ou função (ou objeto) de uma determinada linguagem. Segundo Pahl e Beitz (1996), são os “como” para atender os “o quê”. Logo, os requisitos devem ser preferencialmente características mensuráveis, tipo: força, temperatura, deslocamento etc.

No desenvolvimento integrado de produtos envolvendo uma equipe multidisciplinar, o projeto informacional necessita de um gerenciamento de informação bastante estruturado, visto que é necessário coletar as necessidades (dados), de modo agrupado e classificado, ordenado por grau de importância, para que as mesmas possam ser disponibilizadas de maneira colaborativa e esteja acessível a toda equipe de projeto; de modo a permitir uma discussão das necessidades, que muitas vezes são subjetivas, para transformá-las através de análise e síntese nos requisitos dos clientes e posteriormente do produto. Deste modo, buscase minimizar os problemas de organização e comunicação, visto a dificuldade de se obter uma representação global e um entendimento claro por todos os membros da equipe de projeto.

A análise das necessidades e requisitos do projeto obtidos de modo hierárquico e por grau de importância pode ser avaliado a partir do método da casa da qualidade (QFD – Quality function deployment), no seu primeiro desdobramento. E será apresentada com mais detalhes no item referente às ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos (DIP).

A fase final do projeto informacional consiste em estabelecer, sob a forma de lista, os itens mais significativos da análise dos requisitos de projeto, que foi conseguido através da expressão de peso de importância (P_i), o qual apropria um valor (peso) de importância estimado pelos clientes (V_c) ao grau de relacionamento (G_r) entre os requisitos e necessidades na casa da qualidade, conforme expressão 1.

$$(1) \quad P_i = \sum_{i=1}^n V_c * G_r, \text{ sendo “n” é o número de necessidades levantadas.}$$

Os resultados ponderados e hierarquizados geram os elementos fundamentais para posterior definição das especificações do projeto. Estas últimas envolvem os requisitos mais pontuados adicionados aos requisitos obrigatórios ou funcionais e representam de maneira geral as características principais que o produto deverá apresentar. Isto pode ser visto no exemplo da figura 9. Estas informações são levadas para a fase seguinte compondo a base informacional, em forma de especificações, para desenvolver os aspectos funcionais do projeto mecânico, elétrico, eletrônico e de controle.

Metas	Requisitos	Unidade	Objetivo	Sensor	Saídas Indesejáveis	Observações/Restrições
01	Custo	R\$	menor que R\$ 50.000,00	planilha custos	não comprometer a qualidade do equipamento	O grande número de requisitos do cliente final pode aumentar o custo
02	Disponibilidade (T.U.E/T.V.U*100)	%	maximizar	contagem	grande número de paradas para manutenção	representa o qto o equipamento foi utilizado durante sua vida útil
03	Downtime	s	minimizar	cronômetro	falta de recursos aumentando tempo de parada	Qto maior o número de recursos indisponíveis, maior será o tempo ocioso dos recursos disponíveis
04	Índice de consultas	%	maximizar	contagem	baixo índice de consultas	
05	Níveis de resistência à carga	Pa	maximizar	strain gauge	grande número de componentes	peças pouco resistentes poderão sofrer maiores danos durante a montagem, transporte ou operação
06	Níveis de ruído	dB	abaixo 60dB	decibelímetro	ruído acima dos padrões ergonômicos (NBR)	muito ruído pode produzir cansaço excessivo no operador
07	Número de cantos vivos	qtd	minimizar	visual	muitos pontos de acidentes de trabalho	
08	Número de classes	qtd	maximizar	visual	pouca classificação pode causar desinteresse pelo produto	Limitações tecnológicas, de tempo e capital

Figura 9 – Exemplo especificações de um projeto.

2.2 Projeto Conceitual

O projeto conceitual é visto como uma das fases mais importante do processo de projeto, uma vez que, é aqui que as especificações de projeto se desdobram para uma possível concepção de solução do produto. Contudo, não bastam empregar as atividades, meios e modelos da engenharia de automação para as partes de controle e da engenharia de produto para as partes físicas. É nesta fase que se devem decidir quais tecnologias deverão ser empregadas para evitar ao máximo a necessidade de alterações futuras na concepção. Por exemplo, segundo Moraes & Castrucci (2001 *apud* SANTOS, 2003), historicamente até 90% do esforço total de programação são dedicados à solução de problemas posteriores à instalação, à correção de falhas ou erros de funcionamento.

Nesta fase procura-se sair do abstrato ao concreto, onde cada subfunção da estrutura permita atribuir pelo menos um princípio de solução. O uso de ferramentas DF‘x’ (Design for ‘X’; como a DFMA – “Design for Manufacture and Assembly” – projeto para manufatura e montagem), pode levantar aspectos inconsistentes das concepções por vindouro geradas baseado nas especificações do projeto consolidadas na fase informacional. Várias técnicas de criatividade podem ser usadas para pesquisar os princípios de solução que desempenhem as funções decompostas. Contudo, destacam-se aqui os três principais: convencionais, intuitivas e discursivas, listados na tabela 2, a seguir.

Tabela 2 - Técnicas de levantamento de princípios de solução

CLASSIFICAÇÃO	TÉCNICA
CONVENCIONAIS	Pesquisa bibliográfica, análise de sistemas naturais, análise de sistemas técnicos existentes, analogias, medições e teste em modelos.
INTUITIVAS	Brainstorming, Método 635, Método Delphi, sinergia, analogia direta, analogia simbólica, combinação de métodos.
DISCURSIVAS	Estudo sistemático de sistemas técnicos, estudo sistemático com uso de esquemas de classificação, uso de catálogo de projeto, TRIZ - Teoria da solução de problemas inventivos, métodos da matriz morfológica.

(Fonte: FORCELLINI, 2003).

Neste ponto, podem-se utilizar quaisquer umas das ferramentas relacionadas na tabela 2. Entretanto, é comum o uso da técnica de ‘Brainstorming’ para gerar os princípios de solução para as diversas operações básicas do produto.

O processo tem início com a análise funcional do produto, onde os requisitos funcionais são tratados e interpretados. E, para desenvolver esta tarefa, é comum a aplicação de uma ferramenta bastante difundida que é a síntese funcional, a qual serviu de base de estudo. Por meio da síntese funcional gera-se a função global e os desdobramentos desta mesma estrutura funcional em subsistemas. O uso de métodos intuitivos ou sistemáticos de estímulo à criatividade permite identificar e ordenar princípios de solução para cada função ou subfunção.

Nesta etapa pode-se utilizar outra técnica como a matriz morfológica. Através desta é possível ordenar as subfunções possibilitando a geração de múltiplas soluções para o projeto. Uma vez gerada as concepções do produto, deve ser selecionada a concepção que melhor atende as necessidades dos clientes através dos requisitos de engenharia, contemplando assim as especificações do projeto, que por sua vez foram analisados e classificados em ordem de prioridades no projeto informacional.

O nível de detalhamento das concepções geradas deve viabilizar um projeto preliminar de pelo menos uma concepção. Dentre as múltiplas soluções qual a que melhor responde às reais necessidades dos clientes? Para responder tal questão, se faz necessária a utilização de métodos e procedimentos sistemáticos que auxiliem na tomada de decisão quanto à seleção da concepção que irão ser trabalhadas nas fases de projeto preliminar e detalhado.

A figura 10 ilustra as etapas de avaliação conceitual pelo qual se devem passar as concepções geradas para que se tenha uma proposta que correspondam as especificações do projeto e as principais necessidades dos clientes.

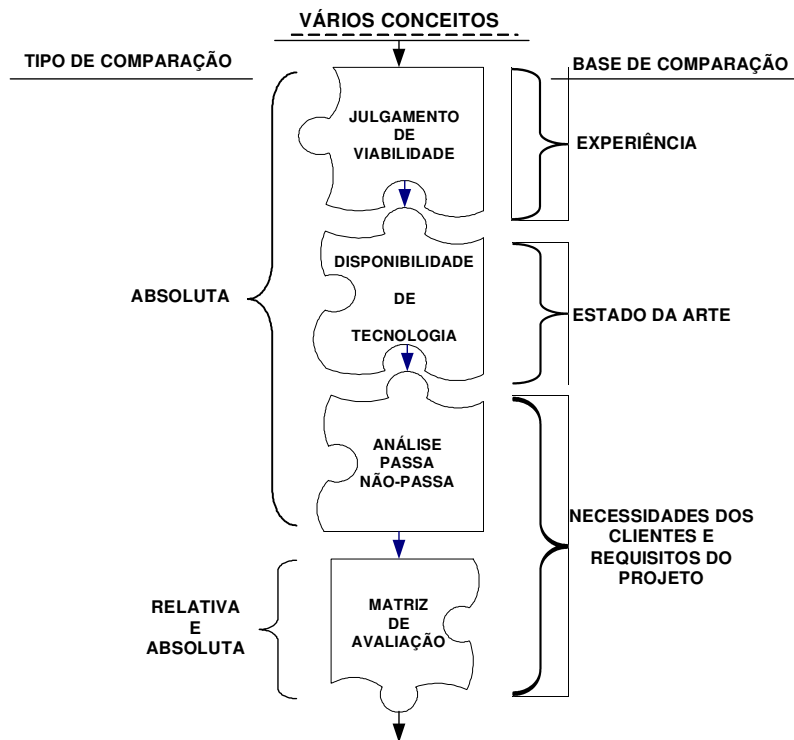


Figura 10 – Técnicas de avaliação conceitual (adaptado FORCELLINI, 2003).

Neste processo de avaliação conceitual também são utilizadas técnicas como a da matriz decisão (método de Pugh) figura 11, ou o da avaliação conceitual para redução de

múltiplas soluções em umas poucas, e, as mais promissoras resultar em produtos de maior qualidade.

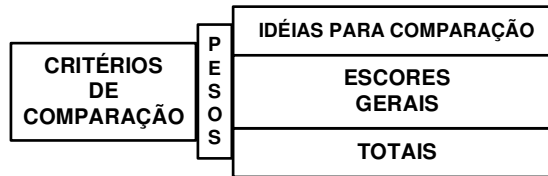


Figura 11 – Matriz decisão.

Estas técnicas se baseiam em ações de valoração, comparação e tomada de decisão. Para tanto, como citado anteriormente, as informações devem ser precisas, completas e confiáveis. Ambas constituem excelentes ferramentas para seleção de concepções, pois, fundamenta-se na viabilidade, na disponibilidade de tecnologia, na possibilidade de manufatura (passa - não passa) e na capacidade da concepção atender as necessidades dos clientes, através da escolha de critérios de comparação, seleção de itens a serem comparados, geração de escores parciais e globais em torno de uma concepção de referência.

Como os conceitos gerados nem sempre apresentam um grau de detalhamento suficiente, os parâmetros de comparação devem ser os requisitos do projeto e as necessidades dos clientes coletadas na etapa do projeto informacional.

2.3 Projeto Preliminar

O projeto preliminar inicia-se com informações vindas das fases anteriores, tais como a estrutura de funções e o(s) princípio(s) de solução(ões) advindo(s) da fase de projeto conceitual, ou seja, faz-se necessária a concepção do produto; necessidades dos clientes, requisitos e especificações de projeto; informações de gerenciamento; controle e outras informações que possam ser pertinentes e verificáveis.

O produto evolui da concepção ao leiaute otimizado do produto. Deste modo, esta etapa consiste em desenvolver o leiaute e formas para produzir os desenhos em escala dos dispositivos portadores das funções principais e auxiliares, especificando dimensionalmente os dispositivos segundo as normas técnicas. Inicialmente deve-se estabelecer uma divisão para as partes do produto, onde, de acordo com o tipo de funcionalidade e tecnologia envolvida (mecânica, hidráulica, elétrica, eletrônica etc.), dividem-se as funções, que devem ser realizadas pelo produto em sistemas, subsistemas ou funções principais e auxiliares, componentes e peças. Daí, as partes do produto são tratadas e desenvolvidas de forma diferenciada dentro das tecnologias envolvidas em cada divisão (sistemas, subsistemas, etc.).

O projeto preliminar “é a fase do processo na qual, partindo da concepção de um produto, o projeto é desenvolvido de acordo com critérios técnicos e econômicos e, à luz de informações adicionais, o projeto é levado até o detalhamento que possa conduzi-lo diretamente à produção” (PAHL e BEITZ, 1996).

Deste modo, as soluções devem se possível e a depender dos recursos tecnológicos disponíveis, passar por verificações ou simulações dos fatores de perturbação (vibração, gradientes de temperatura, agressão ambiental, etc.) das partes móveis e de sustentação. Assim prepara-se uma lista preliminar das partes com seus respectivos desenhos, através do emprego de um 'checklist' dos princípios a serem observados (como princípios de transmissão de força, controle de travamento de segurança, divisão de tarefas, etc.). As ferramentas utilizadas nessa etapa são comuns na engenharia, como: CAD, CAE, simuladores, construtores de modelos, programas de cálculo e dimensionamento.

2.4 Projeto Detalhado

Por fim, o projeto detalhado consiste em desenvolver e finalizar o projeto, no sentido de serem concluídos desenhos, documentações e dimensionamentos, para então serem encaminhados à manufatura. Isto inclui a disposição, a forma, as dimensões e as tolerâncias de todos os componentes, onde normas e procedimentos padronizados devem ser empregados conforme as necessidades dos meios de fabricação.

Alguns autores já consideram, nesta fase, a preparação e desenvolvimento de procedimentos para a fabricação, mas, por se estar tratando do processo de projeto, estas atividades podem ser realizadas em paralelo e pela área responsável pela produção do produto, principalmente quando a equipe foi constituída por componentes destas áreas. Assim, de qualquer forma, a equipe de projeto exerce a função de projetar o produto, tendo em vista características que envolvem a manufatura do mesmo, bem como as que são relacionadas às outras áreas, encaminhando-se, por fim, a documentação gerada para a manufatura.

Neste momento, as especificações dos materiais e a viabilidade econômica também devem ser reavaliadas. Há também de estabelecer decisões sobre como o produto deverá ser manufaturado, quais máquinas e ferramentas serão utilizadas e como as partes serão montadas. As regras básicas são: clareza, simplicidade e segurança (PAHL e BEITZ, 1996).

3. Ferramentas de Desenvolvimento Integrado de Produtos (DIP)

Para executar cada fase do processo de desenvolvimento integrado de um produto, podem ser empregadas diversas ferramentas, tais como: Métodos construtivos da matriz da qualidade (Matriz QFD – Quality Function Deployment), análise funcional, análise morfológica, matriz PNP (passa, não-passa), DFA, DFM, DFMA, DFE, DFC, TRIZ [ou TIPS – Theory of Inventive Problem Solving] (Teoria da solução de problemas inventivos), entre outras.

Há indícios de que as ferramentas DF‘x’ já vêm sendo estudadas e aplicadas na indústria desde 1957. O “X” do termo ‘projeto para X’, são as habilidades ou características abordadas nas áreas inerentes ao processo de desenvolvimento de produtos (manufatura, reciclagem, montagem, custo, meio ambiente entre outros).

O DFMA - Design for Manufacture and Assembly – surge da necessidade de projetar e reprojetar produtos visando facilidades na fabricação e montagem, sem comprometer a funcionalidade, ergonomia e custo. É fruto de dois métodos conjugado que é a DFM (Design for Manufacture) e a DFA (Design for Assembly).

O DFM é um método baseado na integração do planejamento proposto para o produto e o processo de fabricação, com a finalidade de obter requisitos para o produto e para o processo, de modo que o desenvolvimento integrado gere uma fabricação fácil. Segundo Boothroyd e Dewhurst (1988), a chave para o sucesso da aplicação DFM é a simplificação da manufatura do produto. Ao utilizar a DFM, o grupo de desenvolvimento trabalha de acordo com regras, princípios e recomendações, que facilitarão o processo de manufatura sem deixar de lado os requisitos oriundos das necessidades dos clientes envolvidos no ciclo de vida do produto.

A ferramenta DFA é semelhante ao DFM, embora tenha como objetivo a facilidade na montagem do produto. Segundo Boothroyd e Dewhurst (1988), as técnicas de DFA visam primeiramente à simplificação da forma do produto, assim os custos com a montagem são reduzidos. Esta apresenta algumas regras comuns a DFM, como, reduzir n° de peças, usar

materiais e componentes padronizados etc., além de minimizar manipulação, usar união e fixação eficientes, usar geometria que promova autolocalização, etc.

Algumas recomendações para aplicação destas ferramentas são: minimizar o número de peças, desenvolver projetos modulares, projetar componentes multifuncionais e de fácil fabricação, diminuir ou evitar o número de componentes de fixação (tipo rebites, pinos, parafusos), priorizar a padronização dos componentes, eliminar necessidades de ajustes e tolerâncias, reduzir o número de partes para facilitar a manipulação e montagem; enfim, simplificar a estrutura para reduzir custos sem comprometimento da funcionalidade.

Estas características trazem como principais benefícios a simplificação dos produtos, redução do custo de montagem e manufatura, melhoria da qualidade, redução do tempo de produção, aumento das possibilidades de automação do processo de montagem, dentre outras.

A Figura 12 ilustra a aplicação da técnica de DFMA. No exemplo, um mouse contendo 22 peças que levou em média 3 minutos para desmontar e 13 minutos para montagem; após uso da ferramenta DFMA passou a ter 4 componentes e seu tempo de montagem e desmontagem foi de apenas 30 segundos.



Figura 12 – Exemplo de aplicação da ferramenta de DFMA.

Segundo Pizzato e Forcellini (1998), a DFMA é uma das ferramentas de desenvolvimento integrado que apresentam potencial para fornecer uma avaliação quantitativa e de valor agregado à equipe de projeto em diversos estágios do desenvolvimento, conforme esquema apresentado na figura 13, propiciando tomada de decisões e avaliando a estrutura do produto de modo a simplificá-la. Entretanto, apesar de incrementar eficiência ao projeto e gerar bons resultados, esta continua sendo subutilizada pelos projetistas, pelo fato destes conhecerem pouco sobre montagem e operações de manipulação, acrescido à inadequada formação das equipes de trabalho, conforme a filosofia da engenharia simultânea.

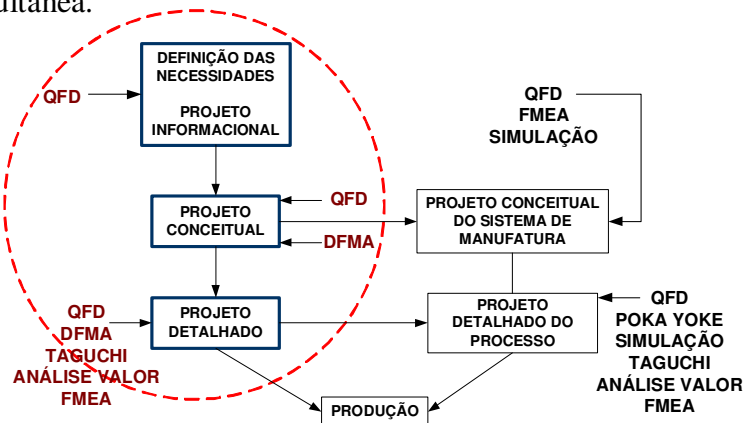


Figura 13 – Utilização de DFMA em diferentes fases do desenvolvimento de Produtos (adaptado PIZZATO, 1998).

O QFD – Quality Function Deployment -, por intermédio da sua Primeira Matriz, a Casa da Qualidade, conforme ilustrado na figura 14, busca estabelecer as relações entre necessidades dos clientes e requisitos de projeto, e entre estes requisitos, permitindo uma análise bastante realista do que se pretende desenvolver. De acordo com Hauser e Clausing (1988), citado por FORCELLINI (2003); "todo requisito de projeto se relaciona fortemente, com aquele(s) requisito(s) de cliente que o originaram".

A primeira coluna da matriz QFD representa as necessidades dos clientes ordenadas, linha a linha, de acordo com critérios adotados pela equipe, como: manufatura, segurança, operação, impacto ambiental etc. Os requisitos são dispostos na parte superior, numa seqüência de colunas correspondente à quantidade de requisitos. A região central da matriz permite estabelecer as relações entre as linhas (necessidades) e as colunas (requisitos), atribuindo valores, numa escala quantitativa (por exemplo: 0 – 1 – 3 – 5). Uma forte relação corresponde uma avaliação máxima.

No telhado da matriz são feitas às avaliações entre os próprios requisitos do produto, que podem ser do tipo “quando se incrementa um deles o outro também se incrementa, ou quando um se incrementa o outro diminui”. Estabelecendo desta forma graus de inter-relacionamentos: fortemente relacionados, fracamente relacionados etc. A última coluna após os requisitos é usada para atribuir valores dado pelos clientes do grau de importância da necessidade (por exemplo: de 1 a 5), de modo que possibilite ponderar a relação necessidade versus requisitos e classificá-la hierarquicamente.

A ferramenta de auxílio QFD busca de modo geral entender ‘o que’ os clientes desejam e delinear da melhor forma disponível ‘o como’ satisfazer estas necessidades. Esta pode ser percebida como sendo uma das principais ferramentas para implantação da Engenharia Simultânea. Visto que, propicia analisar as inter-relações entre as necessidades e requisitos e estabelecer hierarquicamente as especificações do produto, gerando assim a base de conhecimentos para a funcionalidade do produto, por meio da síntese funcional e matriz morfológica.

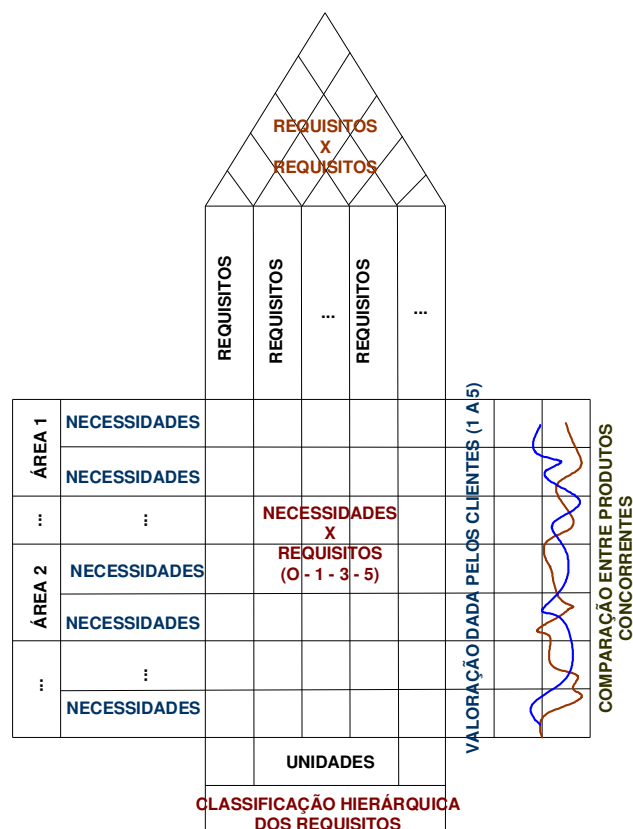


Figura 14 - Modelo Matriz QFD (primeiro desdobramento).

Ao concluir-se a casa da qualidade tem-se uma grande quantidade de dados sumarizados (informações), de alto valor agregado e de razoável confiabilidade, que permitem serem utilizadas para tomada de decisões pela equipe de desenvolvimento de produtos. Além do que, tais relações permitem identificar os requisitos que deverão ser tratados de modo conjugado, minimizando suas possíveis contradições. Daí a necessidade de combinar o uso da casa da qualidade com outra ferramenta auxiliar que permita identificar possíveis restrições técnicas que possam vir a surgir, que é a TRIZ ou TIPS.

A TRIZ (TIPS) – Theory of Inventive Solving Problem – é na verdade, um conjunto de ferramentas que favorecem através de um procedimento sistemático a busca de soluções alternativas para concepção de produtos. Enquanto o método QFD apresenta “o que” deve ser resolvido, a TRIZ mostra “o como” solucionar os eventuais entraves tecnológicos. Segundo Ferreira C. (2000), “o emprego da TRIZ, juntamente, com a QFD permite aumentar a qualidade dos produtos, maximizarem os lucros, aumentar a parcela de mercado e, principalmente, aumentar o grau de inovação do produto”.

Entretanto, em vários casos, a resolução de um conflito entre requisitos pode estar fora da área de conhecimento da equipe de projeto, conforme ilustra a figura 15, tornando assim, mais difícil e complexo a busca de soluções decorrente da chamada ‘inércia psicológica’ dos indivíduos que, procuram naturalmente confiar em suas próprias experiências do que pensar fora de suas especialidades. E, experiência e intuição são difíceis de serem transferidas para outras pessoas dentro de um mesmo ambiente; tanto mais dificuldades terão as equipes de projeto que estejam separadas física e geograficamente.

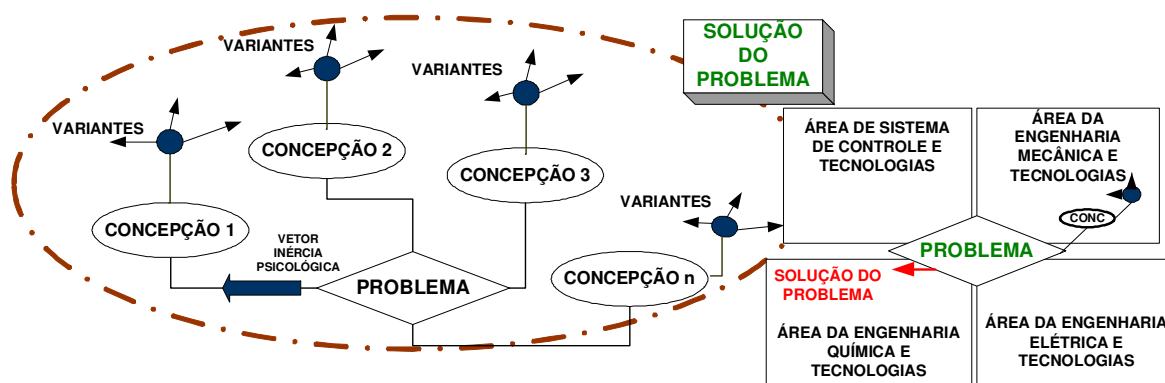


Figura 15 – Efeito da inércia psicológica (adaptado: FERREIRA C., 2000).

O russo Genrich S. Altshuller, da antiga URSS (1926) idealizou um caminho para buscar soluções, sem depender, totalmente dos aspectos psicológicos (intuição e experiência) dos indivíduos envolvidos no desenvolvimento de produtos. Segundo o autor, a Teoria da Solução de Problemas Inventivos (TIPS) deveria satisfazer algumas condições:

- ser sistemática, com procedimentos passo a passo;
- ser um guia, sem restringir o espaço de busca da solução ideal;
- apresentar repetibilidade, confiabilidade e não depender de ferramentas psicológicas;
- permitir o acesso ao corpo de conhecimento inventivo;
- permitir adicionar ao corpo de conhecimento inventivo;
- ser bastante familiar para os inventores.

Altshuller, atuando como perito em patentes, na Marinha Soviética, pesquisou uma enorme quantidade de patentes procurando classificá-las em níveis de inovação. Concluiu que

um problema inventivo “é aquele cuja solução gera outro problema”. No caso da bancada, por exemplo, ao aumentar a dimensão da haste de aplicação de ciclos na flexão do corpo de prova, visando obter maior amplitude de flexão da amostra; seu peso aumenta, e consequentemente a dimensão da bancada. Uma solução seria adotar um compromisso entre a dimensão da haste e o peso para não ultrapassar certo valor, ou melhorar as características do material empregado na haste e, assim, aumentar o custo. Cada tentativa de solucionar o conflito gera um novo problema a ser estudado. É evidente que nenhuma destas soluções seria inovadora e ideal. Entretanto, pode existir uma solução que satisfaça a resolução do conflito fora do escopo da mecânica, como fixar uma pequena chapa de material ferro magnético na extremidade da amostra e inseri-la em campos magnéticos alternados que proporcione a sua flexão sem necessidade de uma haste mecânica.

Uma solução inventiva é uma que não altera a dimensão da haste, nem seu peso e muito menos o custo. A dimensão da haste e seu peso são parâmetros conflitantes. Então conforme definido, soluções inventivas são aquelas que resolvem os problemas conflitantes com o objetivo de obter considerável avanço na solução. O método dos princípios inventivos é a base de todos os desenvolvimentos e procura maximizar, minimizar ou manter, dentro de determinadas metas, os parâmetros de engenharia através da matriz contradição e dos princípios inventivos.

Baseado nestas descrições, Ferreira C. (2000), apresenta as etapas constituintes da TIPS, como sendo: identificação do problema, formulação do problema dentro da abordagem da TIPS (identificação das contradições), classificação dos parâmetros de engenharia (P.E), busca de uma solução análoga para o problema do projeto (princípio inventivo) e por fim, adaptação da solução análoga ao problema do projeto.

Uma análise, através da matriz contradição é apresentada na tabela 3, entre os parâmetros de engenharia (39 parâmetros) com os princípios inventivos (40 princípios, segundo Altshuller), obtêm-se as possíveis soluções para o problema do projeto. Nas linhas estão 5 parâmetros que são desejáveis e nas colunas têm 5 parâmetros indesejáveis. Há conflito de interesses, contradições entre eles, portanto, a região de interseção corresponde às soluções baseadas nos princípios inventivos.

Os parâmetros de engenharia e os princípios de solução inventivos estão descritos no apêndice E e F.

Tabela 3 – Exemplo Matriz Contradição.

Características a serem melhoradas	Resultados indesejáveis (conflitos)	1. Peso do objeto em movimento	2. Peso do objeto em repouso	...	37. Complexidade de Controle	38. Nível de automação	39. Produtividade
		1. Peso do objeto em movimento					26,35, 18,19
2. Peso do objeto em repouso					2,26, 35	35,1, 28,15	
:							
29. Precisão da Manufatura					28		
:							
38. Nível de automação	28,26, 18,35	28,26, 10,35				5,12, 35,26	
39. Produtividade	35,26, 24,37	3,15, 27,28				5,12, 35,26	

Tomando-se como exemplo o parâmetro de número 29 (precisão da manufatura) em contraposição ao parâmetro de número 37 (complexidade de controle), pode-se ter como uma provável solução o princípio inventivo 28 (substituição de sistema mecânico). Este princípio implica na substituição de sistemas mecânicos por: ópticos, acústicos; utilização de campo elétrico ou magnético para interagir com os objetos.

Este método é baseado na tecnologia e foi desenvolvido na década de 30 pela observação da prática de resolução de problemas descritos nos pedidos de patentes. Os dados podem ser questionados e reavaliados, entretanto, os procedimentos e informações ainda são atuais e de muito valor agregado.

O Método da síntese funcional precede a busca de soluções e segue um procedimento bem definido que busca desenvolver uma estrutura de funções do produto (análise funcional). Este processo compreende o estabelecimento de uma função global (total) do produto para em seguida realizar o seu desdobramento em funções parciais (básicas ou elementares), conforme exemplo da figura 16. Através deste método é possível estabelecer as interfaces com os sistemas técnicos periféricos, os usuários e o meio ambiente.

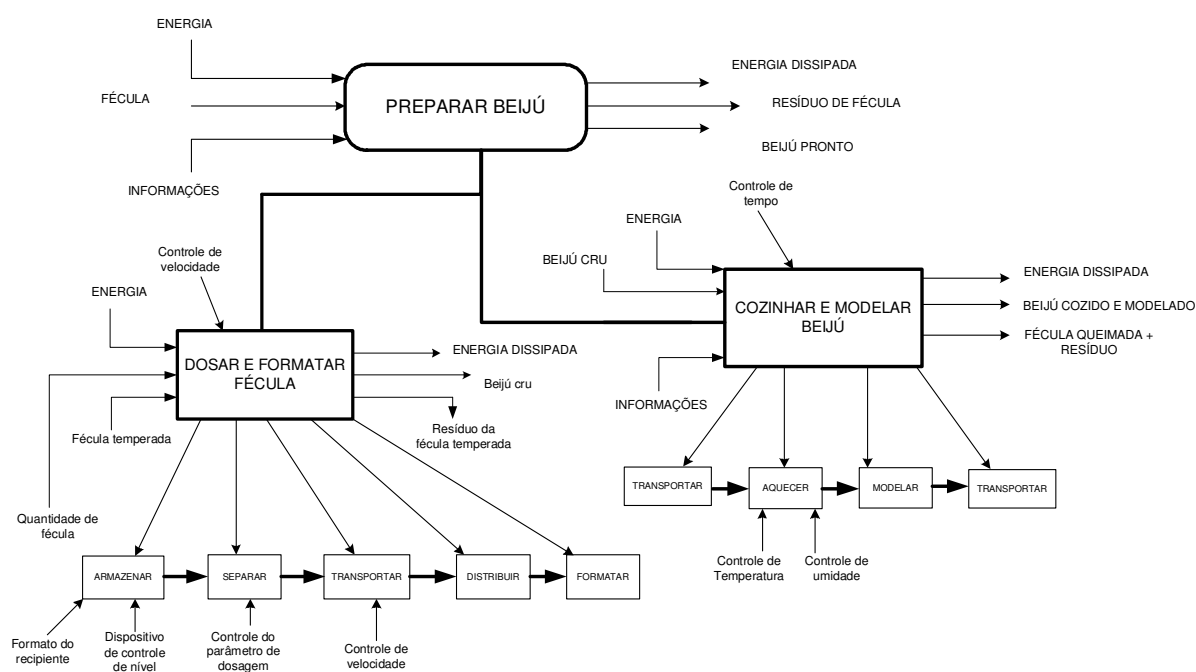


Figura 16 – Exemplo de Análise Funcional com uma função global e subfunções.

Nesta fase o projeto do sistema de controle pode caminhar simultâneo as concepções geradas, visto que as variáveis e suas inter-relações funcionais foram sendo levantadas a partir da funcionalidade de todos os subsistemas. Contudo, mesmo considerando que algumas abordagens estabeleçam o processo concomitante, na prática sua realização ainda é construída de modo seqüencial. E, segundo Santos (2003), do ponto de vista do especialista em automação é natural que o sistema de controle tenha início após a concepção de uma planta física (produto), assim como os especialistas no projeto mecânico não observam inicialmente os aspectos voltados à automação.

É conveniente destacar que o sistema de controle é usado para modificar o comportamento do sistema ou especificar um comportamento aceitável do sistema no decorrer do tempo. Ou seja, quando se quer de algum modo medir ou estabelecer um valor para determinada grandeza, como: a velocidade ou freqüência de oscilação, ou ainda a amplitude do deslocamento, ou a força a ser aplicada e mantida etc. E, de certo modo

substituir a intervenção humana em processos repetitivos, insalubres ou perigosos, que exigem interação contínua e muitas vezes ininterrupta na execução dos processos.

Entretanto, verifica-se pelo explanado que existem vantagens do trabalho da engenharia simultânea onde uma equipe bem integrada e comprometida busca levantar todos os aspectos inerentes ao produto mecatrônico, evitando deste modo a dissociação das áreas envolvidas no projeto.

O Método da Matriz Morfológica, ilustrado na figura 17, consiste numa pesquisa sistemática de diferentes combinações de elementos, com objetivo de encontrar uma nova solução para o problema. Para tanto, deve-se criar uma tabela onde a primeira coluna contenha as funções, subfunções classificadas com suas respectivas tarefas básicas (elementares). E, para cada função, descrita ou representada, deve-se ter no mínimo uma solução. As combinações geradas são analisadas e algumas, por diferentes motivos, podem ser eliminadas ou aproveitadas conforme critérios pré-estabelecidos.




















Fixar corpo de prova	Dispositivo de Segurança	4.1 	4.2 	4.3 	4.4 	4.5 	4.6 		
	Controle de Velocidade	5.1 	5.2 	5.3 	5.4 	5.5 	5.6 	5.7 	5.8 
	Tipo de dispositivo	6.1 	6.2 	6.3 	6.4 	6.5 			

Figura 17 – Exemplo do Método da Matriz Morfológica.

As ferramentas de DIP são utilizadas na maioria das vezes para auxiliar e organizar o processo de desenvolvimento do produto. Devido à natureza generalista, tais técnicas podem ser utilizadas nos mais diversos tipos de aplicações. Entretanto, as particularidades do produto podem facilitar ou dificultar o uso de uma determinada ferramenta tornando-a mais ou menos adequada para aquela aplicação específica. Neste caso, a avaliação da sua utilização para o desenvolvimento de produtos com características similares, como os produtos mecatrônicos, pode fornecer informações que irão auxiliar a sua aplicação no desenvolvimento de sistemas semelhantes.

Além disto, existem ferramentas específicas a determinados domínios de conhecimento. Por exemplo, a computação tem o diagrama de use-cases, classes de uso, entre outros que serão apresentadas no tópico: Sistema de controle.

4. Peças plásticas e Ensaio de Fadiga

O conhecimento de um maior número de parâmetros que envolvam o projeto de um produto é essencial para atender as reais necessidades dos clientes, inclusive a que se destina. No estudo de caso de uma bancada para ensaios de fadiga em plásticos, a equipe de projeto foi solicitada a aprofundar suas visões sobre as propriedades e características dos materiais a serem testados pelo produto, bem como os processos pelos quais estes materiais serão avaliados. Sendo assim, faz-se necessário obter informações mais completas e de natureza confiável para prováveis tomada de decisões no decorrer do processo de desenvolvimento.

Os componentes em plásticos injetados estão cada vez mais presentes nos produtos industriais, principalmente na indústria automobilística. Este crescimento tem exigido uma melhoria da produtividade e na qualidade do ferramental necessário para a moldagem por

injeção. A qualidade da peça injetada por sua vez depende de vários parâmetros como o material injetado, a geometria da peça e do molde e os parâmetros de injeção adotados. Contudo, apesar da aplicação de peças plásticas moldadas por injeção na engenharia ser cada vez mais comum, vários aspectos da utilização dos materiais poliméricos ainda não foram completamente estudados, o que evidencia a necessidade de desenvolver pesquisas que aprimorem os critérios considerados no projeto e na fabricação de peças moldadas por injeção.

Embora tenha havido um avanço significativo no estudo do processo de moldagem por injeção, existem poucos trabalhos que abordam a utilização de materiais termoplásticos, em particular dos reciclados, na fabricação de componentes para a indústria. Isto ocorre devido à falta de confiança dos projetistas em utilizar tais materiais, uma vez que não há um controle no processo de reciclagem, tampouco o conhecimento quanto às suas propriedades térmicas e mecânicas. Adicionalmente, o processo de moldagem por injeção altera as propriedades dos materiais e conseqüentemente as características das peças plásticas injetadas. Assim sendo, o conhecimento das propriedades dos materiais plásticos, incluindo os reciclados, são necessários para que a sua utilização, e para que a fabricação dos componentes seja possível.

O que se observa, a grosso modo é uma analogia dos materiais plásticos com os materiais metálicos, como se ambos tivessem propriedades e estruturas semelhantes. Todo processo de dimensionamento e levantamento das curvas de cargas são feitos levando em consideração o comportamento dos metais, em particular, do aço, acrescidos de altos fatores de segurança, produzindo deste modo componentes superdimensionados. No caso particular de peças plásticas submetidas a carregamentos dinâmicos, pouco tem sido abordado quanto a resistência à fadiga dos materiais poliméricos. Tais efeitos devem ser considerados de maneira a ter-se um dimensionamento criterioso do componente.

Os efeitos de fadiga são considerados no projeto da peça avaliando diagramas que relacionam a vida útil do material (em número de ciclos) e o estado de tensões-deformações ao qual este estará submetido. Assim, pode-se dimensionar o componente de acordo com a quantidade de ciclos de carregamentos que este deve suportar sem falhar por fadiga. Tais diagramas, levantados através de ensaios experimentais, podem ser encontrados na literatura para poucos materiais poliméricos, porém não são encontradas informações a respeito da resistência à fadiga de materiais termoplásticos reciclados. Assim, os ensaios de fadiga são de fundamental importância para o levantamento das características de resistência a cargas dinâmicas em materiais plásticos, viabilizando o desenvolvimento de produtos com maior grau de confiabilidade e durabilidade.

4.1 Materiais Poliméricos

Atualmente 80% dos produtos industriais estão sendo manufaturados em polímeros (plástico) em face de suas propriedades físico-químicas. Em decorrência desta demanda, faz-se necessário estabelecer parâmetros de controle e qualidade dos seus diversos tipos, conforme sua utilidade, trazendo maior segurança no manuseio.

O termo Polímero vem da associação de Poli = vários e Meros = unidades, associação de várias cadeias carbônicas (CH_n), que podem apresentar ligações cruzadas internamente. Quando os polímeros possuem ligações cruzadas em baixa e alta densidade, têm-se respectivamente, os elastômeros e os termofixos. Os elastômeros degradam facilmente com o calor, não são reversíveis e não servem para reutilização. Já os termofixos, não podem ser fundidos e moldados por injeção. Possuem um alto grau de cruzamento de suas cadeias proporcionando maior estabilidade dimensional a altas temperaturas. Estes materiais quando tornam-se duros e quebradiços quando submetidos ao calor, conseqüentemente não são

moldados por injeção. Quando os polímeros não apresentam cruzamento de suas cadeias, ou apresentam ramificações não-entrelaçadas, são considerados termoplásticos (Termo = temperatura e Plástico = derreter, amolecer), ou seja, material que pode ser amolecido e moldado por injeção, além de serem reutilizáveis ou recicláveis.

Os termoplásticos, segundo Postsa & Michaeli (1995), são os polímeros que, com uma pequena influência do calor, são capazes de aumentar sua viscosidade (capacidade de fluir) em estado semi-sólido ou estado viscoelástico e adotar uma forma que, ao resfriar-se são capazes de mantê-la. Microscopicamente são formadas por uma cadeia linear de polímeros com ou sem ramificações. Os termoplásticos ainda possuem uma estrutura molecular dividida em amorfos, sem forma definida, e semicristalina, isto é, parte de sua cadeia está agrupada em forma de cristais, bem definida, como nos metais.

Há diversas formas de classificar os polímeros, sendo o principal critério de classificação a distribuição do espaço entre as cadeias depois de solidificado, conforme figura 18, a seguir.

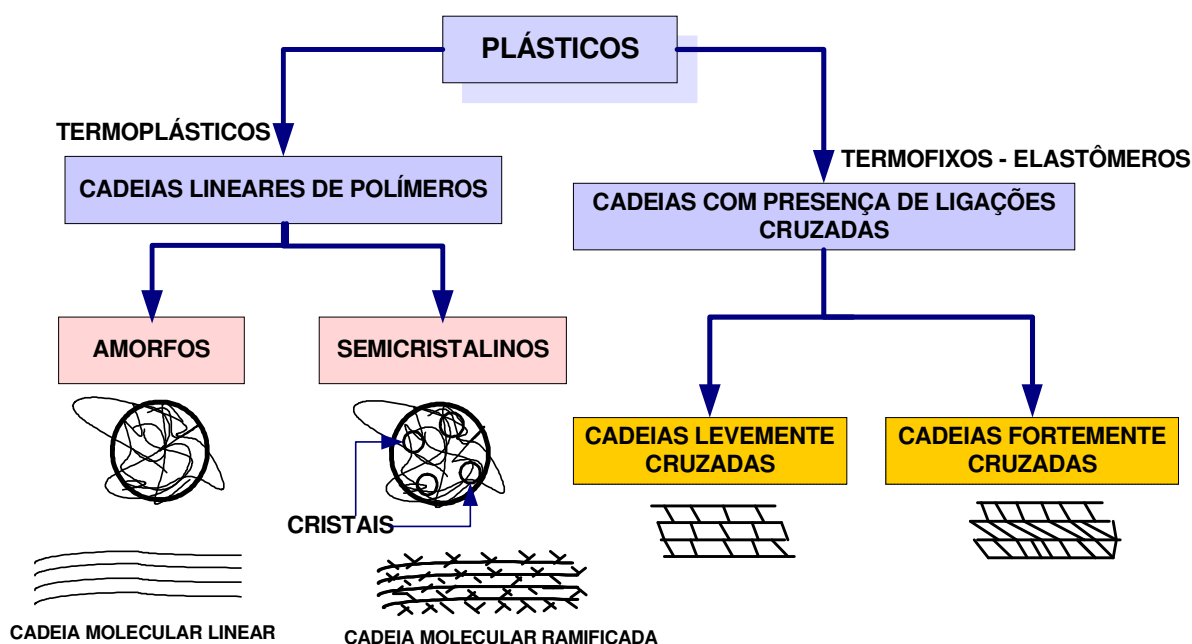


Figura 18 – Esquema classificatório dos plásticos.

Os polímeros são obtidos através de processos catalisadores, gerando produtos como o polipropileno, polietileno, metacrilato etc., ou processos de poli condensação – enlace de monômeros distintos, como as poliamidas e os policarbonatos, ou, por processos de poli adição – processo de poli condensação restrita e fixa de monômeros, tendo como exemplo a espuma de poliuretano.

As propriedades termoplásticas dos plásticos amorfos e cristalinos podem ser resumidas na tabela 4, a seguir, onde os sinais de ‘+’ e ‘-’, representam respectivamente, maior e menor grau da propriedade citada, por exemplo: os termoplásticos com estrutura amorfa são mais resistentes ao impacto.

Tabela 4 – Propriedades termoplásticas.

Amorfos	Crítérios	Cristalinos
-	Resistência Térmica	+
-	Rigidez	+
+	Impacto	-
-	Contração	+
+	Transparência	-

(Fonte: Postsca & Michaeli, 1995)

A seguir, na tabela 5, são apresentados alguns dos produtos comercialmente conhecidos, de acordo com suas estruturas e nome popular, como por exemplo, as garrafas PET, são plásticos de estrutura semicristalina, cuja composição química é um polietilentereftálato.

Tabela 5 – Exemplos de termoplásticos.

Amorfos	Cristalinos ou Semicristalinos
ABS – Acrilo Nitrilo Butadieno Estireno	PPN ou PP – Polipropileno
PS – Poliestireno	PBT – Polibutilenteraftálato
ASA – Éster Acrílico elastomérico	PET – Polietilentereftálato
PC – Policarbonato	PA – Poliamida
PMMA – Polimetacrilato	POM – Resina
PVC – Cloniro de Polivinila	-

(Fonte: Postsca & Michaeli, 1995)

Observa-se, na figura 19 que se seguem, algumas estruturas básicas de polímeros e uma cadeia genérica cruzada.

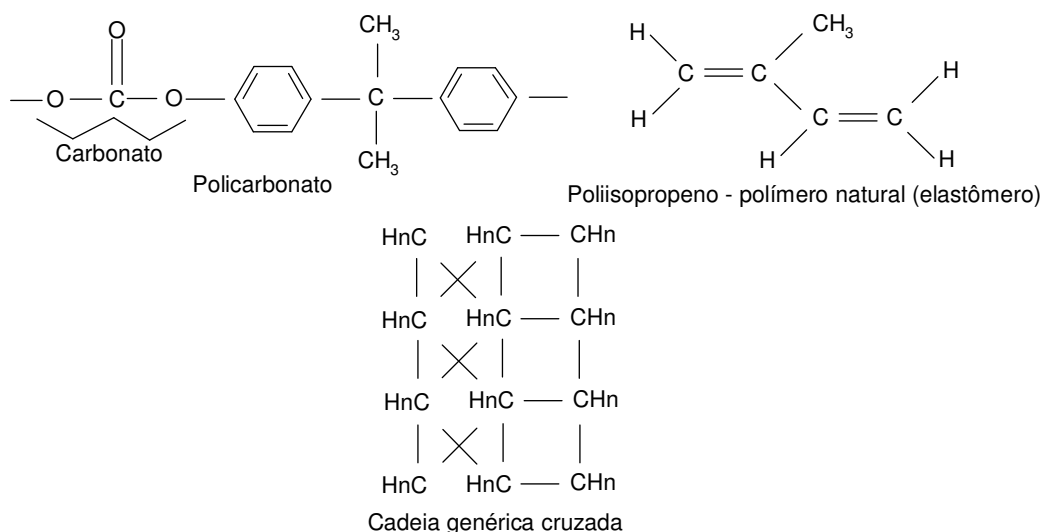


Figura 19 – Exemplos de cadeias poliméricas.

A grande significância econômica dos plásticos está intimamente relacionada à suas propriedades, variedades de formas, texturas, cores e a possibilidade de modificações combinadas, podendo gerar diversidades desconhecidas de outros grupos de materiais. Os plásticos possuem uma faixa de densidade entre 0,8 a 2,2 g/cm³, além de um amplo limite de propriedades mecânicas, fácil processabilidade, modificação por aditivos, baixo fator térmico

e condutibilidade elétrica, podendo ser transparentes, com alta resistência química, reciclável e baixo consumo de energia de produção para materiais brutos, comparados com os metais.

Devido a esta grande variedade e tamanha complexidade de polímeros, o trabalho de desenvolvimento de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, busca explorar este universo ainda em fase embrionária, para que seja possível estabelecer os parâmetros de controle destes materiais, principalmente pela possibilidade de reutilização, minimizando deste modo os aspectos de descarte no meio ambiente.

4.2 Projeto de Peças

O desenvolvimento de peças plásticas injetadas passa primeiramente pela determinação dos processos, formas e suas características mecânicas, delimitadas pelo uso a qual serão submetidos. Neste sentido preocupa-se com a definição de critérios de projeto considerando os tipos de carregamentos aplicados, bem como o comportamento dos materiais plásticos escolhidos, visto que são normalmente bastante distintos daquele apresentado pelos metais, tradicionalmente utilizados na fabricação de componentes. Além destes fatores, é de interesse tecnológico e científico estabelecer o ciclo de vida destes materiais quando submetidos a grandes esforços e agressões ambientais causados pela exposição ao calor, salinidade e intempéries naturais, visto que seu emprego é cada vez mais crescente na indústria e no meio domiciliar.

Como não se tem delineado o comportamento destes materiais, a aplicação tem sido feita utilizando altos coeficientes de segurança, produzindo peças super-dimensionadas. Outro aspecto que tem sido pouco explorado pelos pesquisadores refere-se aos critérios para dimensionamento de peças plásticas injetadas submetidas a carregamentos dinâmicos e repetitivos (dentes de engrenagens, *snap-fits*, etc...). Neste caso, o componente estará suscetível à falhas por fadiga do material, portanto, este fenômeno deve ser considerado durante o seu dimensionamento.

Entende-se por fadiga o processo pelo qual um material submetido a esforços repetitivos de tensão-deformação e forças externas, quebra e/ou amolece, por histerese mecânica, devido a fissuras internas que culminam na ruptura do material (TROTIGNON, 1994).

Segundo a American Society for Testing and Materials – ASTM (1993), a fadiga implica num “processo progressivo e localizado que modifica permanentemente a estrutura dos materiais submetidos às condições que produzem tensões-deformações e forças cíclicas flutuantes ou variáveis em cada ponto ou pontos da estrutura interna; e que, provavelmente culmine em fissuras, ruptura completa ou amolecimento térmico após um número suficiente de oscilações”.

O projeto de peças considerando os efeitos da fadiga é realizado avaliando os diagramas de tensões-deformações versus o número de ciclos de falha (ou ciclos de vida) do material, conforme ilustrado na figura 20. Tais diagramas são obtidos através de um ensaio de resistência a fadiga, onde uma amostra de material é submetida a esforços dinâmicos e contínuos até apresentar amolecimento térmico ou ruptura, de modo a simular as condições de uso do material.

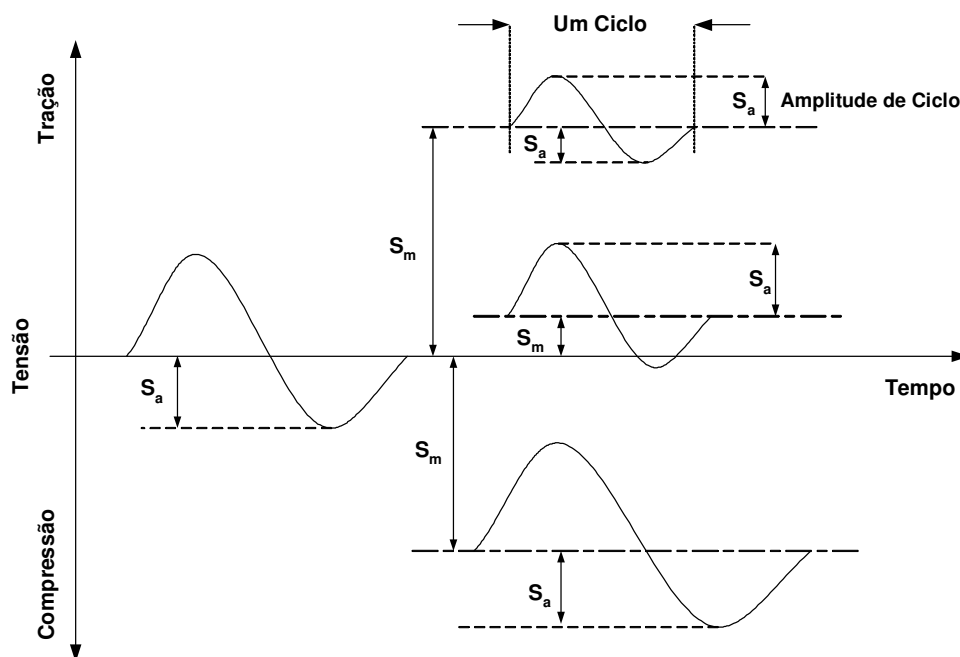


Figura 20 – Curva Tensão X Tempo para diferentes valores de Tensão média.

4.3 Ensaio de Fadiga

O processo de falha por fadiga pode ser sempre descrita como uma seqüência de dois passos: Primeiro o começo de fissuras e, segundo, a propagação da ruptura. O próprio processo de manufatura do produto introduz tensões internas que propiciam a formação das fissuras. Segundo Fisher e Yen (1999 *apud* ULMANN, 2003), “toda estrutura tem virtualmente um círculo de discontinuidades indo do microscópio (<0,010in) ao macroscópico, introduzido na manufatura ou processo de fabricação”. Geralmente iniciado a partir de entalhe¹ ou outras fontes de concentrações de tensões.

O teste de fadiga fornece informações e qualificação aos materiais, em particular, aos plásticos, de resistirem ao desenvolvimento de rupturas ou deteriorações mecânicas gerais quando submetidos a um número relativamente grande de ciclos de esforços. Estes dados podem ser levantados basicamente através de dois modos: flexão do eixo da amostra seguida por torção, ou fixando a amostra em uma das extremidades para que a mesma fique em balanço e seja submetida à ação de uma força de intensidade constante produzindo tensões e deformações. Conforme ilustrado na figura 21, a seguir.

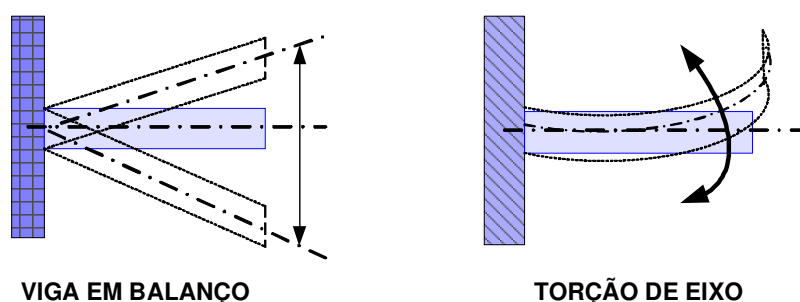


Figura 21 – Esboço dos métodos de aplicação de carregamento no ensaio de fadiga.

O método de teste proposto pela ‘American Society for Testing and Materials’ (ASTM, dec 1993) permite medir a capacidade dos materiais plásticos de resistirem à

¹ Termo genérico que representa qualquer contorno geométrico que incrementa tensões locais.

deterioração por ciclos de tensões. Os resultados devem prover dados do número de ciclos de tensões que produzirão na amostra falha por fratura, amolecimento, ou redução da dureza por aquecimento como resultado de fricções internas (amortecimento histerético). Especificamente, a norma D 671-93 da ASTM, propõe cobrir a determinação do efeito da repetição de tensões de flexão de mesma magnitude, em plástico, pelo método de viga engastada em balanço, típica das máquinas de teste, desenvolvida para produzir forças de intensidade constante para testar as amostra em cada ciclo.

O ensaio, de modo resumido, consiste em fixar a amostra (cuja geometria é apresentada na figura 22), como uma viga em balanço, segundo especificações dimensionais explícitas na norma D671-93 (ASTM), e aplicar tensões cíclicas ou dinâmicas de intensidade constante, no decorrer do tempo e coletar dados referentes à frequência de oscilação, temperatura da amostra e tempo de duração dos esforços sobre a amostra. Os dados coletados são utilizados para levantar a referida curva de Tensão x N° de Ciclos.

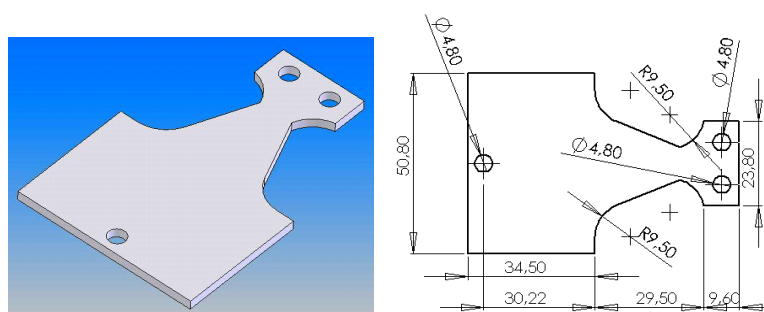


Figura 22 – Modelo da amostra para ensaios de fadiga em materiais plásticos. Fonte: ASTM, Norma D 671-93.

Para realização do ensaio de fadiga é necessário um equipamento especializado, uma bancada de ensaios, com roteiro de procedimentos, que possibilite levantar dados para análise de resultados. Os dispositivos eletrônicos e mecânicos devem estar sincronizados de modo a permitir formas variáveis de carga, sinal e frequência de oscilação. A configuração básica de uma máquina de testes de fadiga deve atentar para alguns dispositivos, como:

- a) Os aparatos de fixação da amostra.
- b) Um contador – para registrar o número de ciclos aplicados.
- c) Uma chave de interrupção – para interromper a máquina quando houver falha ou ruptura da amostra.
- d) Um termômetro – para medir a temperatura da superfície da amostra. Usualmente termômetros de radiação ou termopares.
- e) Sistema de aplicação dos ciclos.

Segundo Trotignon (1994), um sistema de aquisição de dados pode ser configurado para obter as entradas que caracterizam o ensaio. O modo de carga, por exemplo, pode ser definido através de cinco parâmetros: 1. A amplitude do sinal através do deslocamento do corpo de prova; 2. O tipo de excitação; se triangular, quadrada ou senoidal emitido ao atuador; 3. Os valores médios das intensidades de forças; 4. A frequência de aplicação dos ciclos; 5. A natureza da carga a ser aplicada se torção, compressão, tração ou flexão.

No caso da bancada para ensaios de fadiga projetada, a carga aplicada produzirá flexão e o tipo de excitação será senoidal, a fim de garantir uma ruptura por fadiga por amortecimento histerético. Um esboço gerado da parte mecânica de uma das concepções da bancada para ensaios de fadiga, com os dispositivos de fixação e aplicação dos ciclos de oscilação, bem como alguns atuadores é mostrado na figura 23, a seguir.

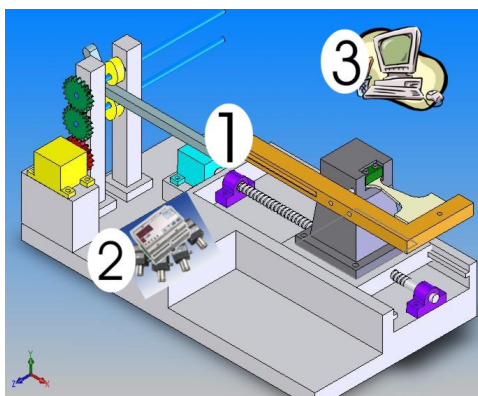


Figura 23 – Esboço de uma concepção da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.

Esta concepção deve conter pelo menos três módulos: 1. O módulo gerador do tipo de carga, 2. O módulo de aquisição de dados e 3. O módulo de tratamento e controle das condições de teste, especificamente das condições de segurança e operação da máquina.

O módulo de carga é bastante crítico numa bancada de ensaios de fadiga, visto que, todo controle de esforços é proveniente deste e, portanto, deve ser dimensionada de maneira a permitir um ajuste fino e com baixo grau de incerteza. Para tanto, o dimensionamento dos componentes devem ser feitos levando em consideração pequenos valores de deformações admissíveis e tensões dentro do regime elástico linear. Assim, pode-se garantir que as deformações que poderão ocorrer nestes componentes não alterem os resultados do ensaio de fadiga.

4.3.1 Determinação dos parâmetros do ensaio de fadiga

O ensaio de fadiga, conforme proposto pela norma ASTM 671-93, permite executar o ensaio de fadiga com deformações constantes. Neste caso, é imposto um deslocamento fixo ao corpo de prova durante todo o processo de aplicação dos ciclos de flexão. Ou, por meio de uma tensão constante, onde se determina o valor de deslocamento necessário para causar a tensão desejada ao corpo de prova. Este deslocamento é corrigido ao longo do ensaio, de maneira a manter o valor da tensão máxima atuante aproximadamente constante. Deste modo, o ensaio é realizado para vários valores de tensão de teste permitindo obter o diagrama tensão versus ciclos de vida (falha).

O cálculo da carga (força) necessária para provocar a tensão desejada nos pontos mais solicitados da seção crítica do corpo de prova, conforme esquema da figura 24 pode ser determinado considerando os parâmetros a seguir:

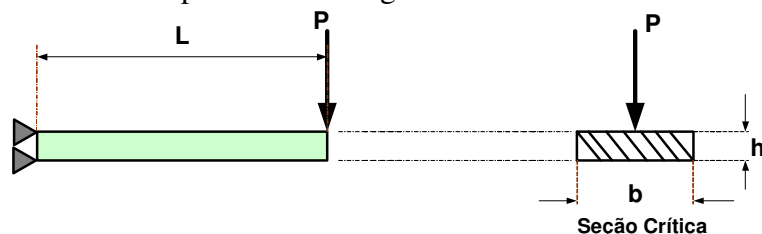


Figura 24 – Diagrama do carregamento aplicado no corpo de prova.

Onde o momento linear será $M = P * L$, e o momento de 2ª ordem para uma seção retangular é dado por $I = \frac{bh^3}{12}$.

Considerando o esquema apresentado na figura 25 pode-se determinar as equações que envolvem as tensões atuantes sobre o corpo de prova fixado e assim levantar os parâmetros desconhecidos do ensaio.

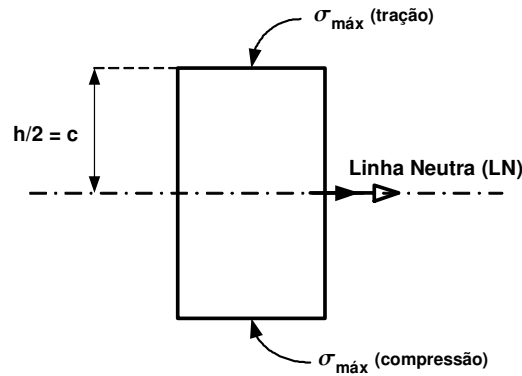


Figura 25 – Diagrama de esforços numa seção do corpo de prova.

$$\text{Assim, a tensão máxima será: } \sigma_{máx(t)} = \frac{M * c}{I} = \frac{P * L * c}{I} = \frac{P * L * \frac{h}{2}}{\frac{bh^3}{12}} = \frac{P * L * 6}{bh^2}$$

De posse destes parâmetros iniciais impostos pode-se demonstrar, segundo a norma D 671-93 (ASTM, 1993), que os cálculos envolvidos para execução dos ensaios de fadiga são referentes à massa efetiva da amostra e da carga de teste, onde,

- A massa efetiva w para a forma esquematizada, na figura 24, é dada pela expressão: $w = k\rho h$, onde k é a área da amostra em balanço, ρ é a densidade do material e h é a espessura média da amostra.
- A carga de teste a ser aplicada na amostra (P) é dada por: $P = \frac{\sigma_{máx}bh^2}{6L}$, considerando o

comportamento elástico linear, onde $\sigma_{máx}$ a tensão de teste desejável, b é a largura da seção crítica, h é a altura da seção crítica que corresponde à espessura do corpo de prova e L é a distância entre o ponto de aplicação da força à seção crítica. Portanto, para uma carga P , é necessário produzir uma tensão desejável σ na amostra através de um mecanismo ajustável (ex: excêntrico).

Os testes dos ensaios de fadiga em plásticos têm uma resposta de carga dependente do tempo, conforme ilustra a figura 26. Assim, os testes de fadiga poderão ser conduzidos até a frequência de interesse ou condições reais de trabalho da amostra. Quando não for especificada a frequência de trabalho, os testes deverão ser conduzidos numa frequência que varia de 1hz até 30hz \pm 5%, conforme ASTM – Norma D 671-93.

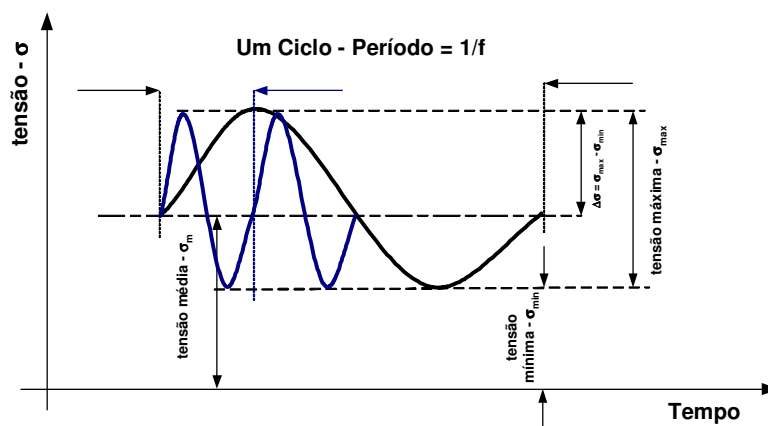


Figura 26 – Curvas frequência de tensão em função do tempo.

Segundo Fuchs e Stephens, (1980); citado por Norton (1998), o efeito das tensões médias no ciclo de fadiga dos metais, ou seus resultados, serão gerados a partir do levantamento da curva de Tensão-Força (σ) versus Número de ciclos de falha (vida) tendo como resposta os diagramas da figura 27, que se seguem exemplificados.

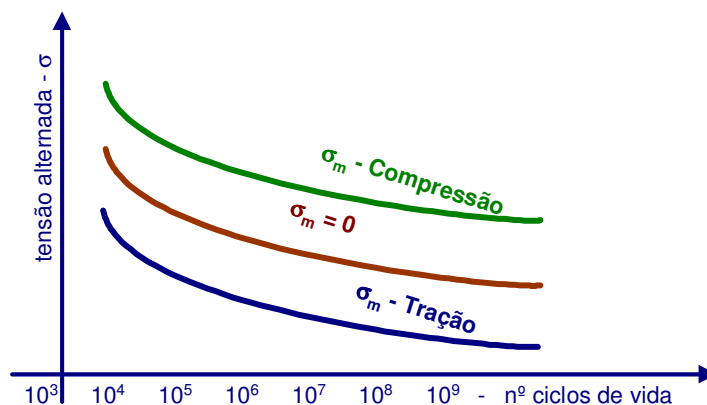


Figura 27 – Efeito das Tensões média no ciclo de vida de fadiga (Para fadiga em metais de engenharia). Fonte: NORTON, 1998.

Cabe, portanto, ao módulo de aquisição de dados monitorar a amostra diretamente no decorrer dos testes e levantar os dados referentes aos parâmetros de tensão-força, temperatura da amostra e ambiente, bem como as deformações produzidas devido às cargas aplicadas no decorrer do tempo. Este módulo deve conter um conjunto de sensores, condicionadores e amplificadores operacionais, conversores AD, que possibilite acoplar um sistema computacional com software que produza os relatórios completos do comportamento da amostra, diga-se curva de tensão ' σ ' versus número de ciclos de falha (vida) ' N ' submetida aos esforços de fadiga, para cada tipo de amostra.

5. Sistema de Controle

Nos primórdios da humanidade não se conhecia o meio para obter energia da matéria, e, portanto, todo trabalho era realizado pelos animais domesticos. Somente no século XVIII, com o advento da máquina a vapor, James Watt constrói o primeiro controle automático de velocidade de uma máquina a vapor. De acordo com Ogata (2003), outros trabalhos se seguiram com destaque aos trabalhos desenvolvidos por Minorsky (1922), Nyquist (1932), Hazen (1934), Evans (1940-50), e com o advento dos computadores digitais, a partir de 1960, foi possível análise de sistemas complexos no domínio do tempo com emprego de variáveis de estado, estendendo-se até início da década de 80 com o controle de sistemas determinísticos e estocásticos. Com o aumento do poder de processamento, compactação e diminuição do custo dos computadores, estes se tornaram parte dos sistemas de controle.

Segundo Ogata (2003), algumas definições da terminologia básica empregada na área de sistemas de controle são necessárias e permite uma melhor compreensão dos termos usados, tais como:

- Sistemas – são as combinações de componentes que agem em conjunto para atingir determinado objetivo. A palavra 'sistemas' pode ser empregada para se referir a sistemas físicos, biológicos, econômicos e outros.

- Sistemas a controlar – pode ser parte de um equipamento ou apenas um conjunto de componentes de um equipamento que funcione de forma integrada, com objetivo de realizar determinada operação.
- Processos – são operações contínuas progressiva, artificiais ou voluntárias, que consistem em uma série de ações ou movimentos controlados, sistematicamente destinados a atingir determinados fins ou resultados.
- Variável controlada – é a grandeza ou condição que é medida ou controlada. Normalmente é a saída do sistema. Controlar significa medir o valor da variável controlada e utilizar a variável manipulada para corrigir ou limitar os desvios dos valores medidos a partir de um valor desejado.
- Variável manipulada – é a grandeza ou condição modificada pelo controlador, de modo que afete o valor da variável controlada.
- Distúrbios – São sinais que tendem a afetar de maneira adversa o valor da variável de saída de um sistema. Ele pode ser de origem interna (gerado dentro do sistema) ou externa (gerado fora e afetando a entrada do sistema).
- Sistemas de controle com realimentação ou de malha fechada – refere-se a uma operação que, na presença de distúrbios, tende a diminuir a diferença entre a saída de um sistema e alguma entrada de referência, buscando realimentar o controlador, de modo a minimizar o erro configurando a saída do sistema ao valor desejado.
- Sistemas de malha aberta – São aqueles em que o sinal de saída não exerce nenhuma ação de controle no sistema. Significa que o sinal de saída não é medido nem realimentado para comparação com a entrada. Tomando como exemplo uma máquina de lavar roupas, onde as operações de colocar de molho, lavar e enxugar são executados numa seqüência em função do tempo. A saída, em cada fase, não é medida, isto é, não se verifica se as roupas estão bem lavadas. Este tipo de controle só pode ser utilizado se a relação entre a entrada e saída for conhecida e se não houver nenhum distúrbio interno ou externo.

Sendo assim, pode-se inferir que o sistema de controle de uma bancada para ensaios não pode ter seu controle auferido sem realimentação, visto que as variáveis controladas necessitam ser corrigidas e limitadas para atender as especificações do ensaio, que por sua vez estão balizadas por normas internacionais de controle.

Os sistemas de controle possuem, em geral, diversos componentes. E, para mostrar as relações executadas por tais componentes é comum utilizar a ferramenta diagramas de blocos, que são representações gráficas (desenho) das funções desempenhadas com os respectivos fluxos de sinais entre eles. Estes diagramas descrevem as inter-relações existentes entre os vários componentes através dos blocos funcionais, que representam as operações físicas e matemáticas aplicadas ao sinal de entrada para produzir o sinal de saída. Estas conexões são implementadas por setas que indicam univocamente a direção e sentido do fluxo de sinais.

Os diagramas de blocos são de fácil construção e permitem visualizar com mais clareza a operação funcional do sistema, ou seja, os blocos contêm informações sobre o comportamento dinâmico do sistema, mas não especifica informações sobre a construção física do sistema, isto é, quais dispositivos estão sendo utilizados para manipular ou controlar o sistema físico.

Uma variedade de diagramas de blocos pode ser desenhada para um mesmo sistema, dependendo da análise que se pretende fazer, inclusive, muitos sistemas que não apresentam semelhança e não estão relacionados podem ser representados pelo mesmo diagrama de blocos. A seguir mostra-se, na figura 28, um exemplo simplificado de um diagrama de bloco de um sistema de malha fechada.

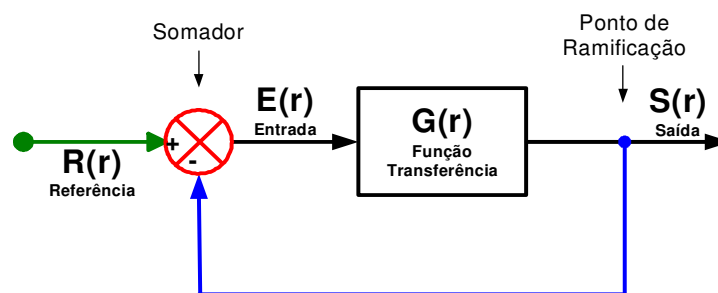


Figura 28 – Diagrama de bloco de um sistema de malha fechada.

A saída $S(r)$ é realimentada ao somador, onde é comparada à referência de entrada $R(r)$. A saída do bloco, $S(r)$, é obtida pelo produto de uma função de transferência $G(r)$ à entrada do bloco $E(r)$ (OGATA, 2003). Quando a saída é realimentada ao somador para comparação com a entrada, é necessário converter a forma de sinal de saída à do sinal de entrada, isto porque as dimensões das grandezas físicas envolvidas são geralmente diferentes, por exemplo: temperatura em corrente elétrica.

A tarefa de projetar sistemas automatizados seria relativamente simples se metodologias de projeto de cada um dos sistemas (físico e controle) pudessem ser reunidas e aplicadas diretamente. No entanto esta tentativa não funciona e, ao contrário, traz maiores dificuldades que auxílio (DE NEGRI e PAES, 2003). Em parte pela falta de cooperação e experiência em projetos mecatrônicos seguindo os princípios básicos da engenharia simultânea de se executar projetos com equipes multidisciplinares.

Este fato é apontado por De Negri (1997), que relata que o projeto de sistemas automáticos tem sido conduzido tradicionalmente de acordo com as orientações dadas pelos fabricantes de hardware e de aplicativos computacionais, pressupondo que o processo físico já esteja projetado ou implementado. Pode-se justificar em parte tal procedimento observando-se que o ensino na engenharia mecânica como nas engenharias elétrica, de computação ou mecatrônica (controle e automação) ocorre de modo fragmentado.

Entretanto, segundo Bonfe, Donati e Fantuzzi (2002), a idéia de um projeto integrado não tem sido seguida naturalmente pela indústria, sendo o início da concepção do sistema de controle realizado posterior à concepção física do produto, decorrente das restrições de tempo, especificações dos engenheiros mecânicos envolvidos no projeto e o usuário final do sistema. Além desta situação, as especificações comportamentais (voltadas ao sistema de controle) são geralmente expressas informalmente, através de descrições textuais ou mesmo verbais. Este procedimento conduz à ineficiência no desenvolvimento do sistema de controle, em especial nos procedimentos posteriores de teste e manutenção que não estarão suportados por uma documentação de projeto rigorosa e não ambígua. Alguns destes aspectos também foram vivenciados no estudo de caso em foco.

5.1 Modelagem de Sistemas usando rede de Petri (RdP)

As Redes de Petri surgem em 1962, quando o então doutorando Carl Adam Petri apresenta sua tese *Kommunikation mit Automaten (Communication with Automata)* a Faculdade de Matemática e Física da Universidade Técnica de Darmstadt, na Alemanha, que buscava desenvolver um modelo onde às máquinas de estado² pudessem se comunicar. A

² Uma máquina de estado finito é uma modelagem de um comportamento composto por estados (passado, presente), transições (futuro) e ações.

relevância principal alcançada por este modelo foi à possibilidade de representar a concorrência de estado de um processo. Em sua homenagem, o método é batizado como Redes de Petri (RdP).

As Redes de Petri são um importante recurso para a modelagem de sistemas, particularmente de sistemas computacionais com alto índice de concorrência (paralelismo), como os encontrados na automação e protocolos de comunicação de dados, que possibilitam descrever o comportamento de sistemas a eventos discretos (SED). Os sistemas a eventos discretos (SED) são aqueles cujo simples transcorrer do tempo não é suficiente para garantir que haja evolução do estado do sistema, necessitando de interações internas e ou externas para que o sistema mude de estado e complete sua finalidade.

Segundo Souto (2005), um sistema a eventos discretos é um sistema dinâmico que evolui de acordo com a ocorrência abrupta de eventos físicos, em intervalos de tempo em geral irregulares e desconhecidos. Segundo Santos (2003), um sistema a eventos discretos (SED) é dinâmico e regido a estados discretos evoluindo conforme ocorrência assíncrona de eventos, isto é, suas características principais são: espaço de estado discreto e mecanismo de transição de estados dirigidos por eventos.

A modelagem e controle de SED é uma área de pesquisa de grande interesse atual, estimulada pela diversidade de aplicações, pois, são através da utilização de modelos que tratam do problema de modelagem e controle dos SED que se obtêm os controladores para a parte física do sistema.

A importância das redes de Petri, segundo Costa e Góes (2003) é fundamentada nas suas propriedades inerentes que facilitam a modelagem de características típicas dos sistemas computacionais regidos por SED, entre as quais podem se destacar além da concorrência: o compartilhamento, o conflito, exclusão mútua, relações de precedência, não determinismo, o controle e a sincronização.

Atualmente podem ser encontrar variações do modelo original sendo usados em diversas áreas da ciência, como: economia, biologia, engenharia, computação, entre outras; visando ajudar no estudo do comportamento e desempenho de diferentes sistemas. Entretanto, as variações das RdP tais como Redes de Petri coloridas, temporizadas ou estocásticas são modelos mais refinados e que não fazem parte da teoria original. Mas, estas representações ganharam relevância por serem capazes de modelar sistemas de forma mais simplificada ou intuitiva ou simplesmente porque ainda não havia um modelo capaz de representar sistemas que envolviam temporizações ou comportamentos probabilísticos (estocásticos).

A modelagem de um sistema computacional se justifica pelos aspectos de facilidade e entendimento do comportamento do sistema, também por poder ser verificado e validado antes da construção de um protótipo, assim como pela definição das métricas de desempenho do modelo. Isto permite avançar no projeto, para novas etapas, antes de atingir a etapa final de avaliação.

Uma rede de Petri genérica é constituída por:

1. Lugares ou *Places* → que representam uma atividade, um recurso ou uma condição. Onde $P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_m\}$ é um conjunto de *Places* para $m > 0$.
2. Transições → que representam eventos. Sendo $T = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_n\}$ um conjunto de transições para $n > 0$.
3. Arcos → sinalizam os lugares das entradas e saídas das transições. Assim, $A_e: P \rightarrow T$ são os conjuntos de arcos de entrada de um *place* para uma transição; enquanto, $A_s: T \rightarrow P$ são os conjuntos de arcos de saída de uma transição para um *place*.

4. Pesos dos arcos (PA) \rightarrow indicam quantos *Tokens* (marcas) são necessárias para disparar uma transição
5. Marcas, fichas ou *Tokens* \rightarrow que representam um estado de um sistema. Onde $M_0: P \rightarrow N_0$ é a marcação do estado (condição) inicial do *place*.

Deste modo, pode-se definir uma rede de Petri como sendo uma tupla $R = \{P, T, A, PA, M_0\}$, que será representada pelos elementos apresentados na figura 29, onde:

A: $P \rightarrow T \cup T \rightarrow P$ é o conjunto dos arcos;

$P \cap T = \emptyset \wedge P \cup T \neq \emptyset$, os conjuntos P e T são disjuntos e não vazios.³

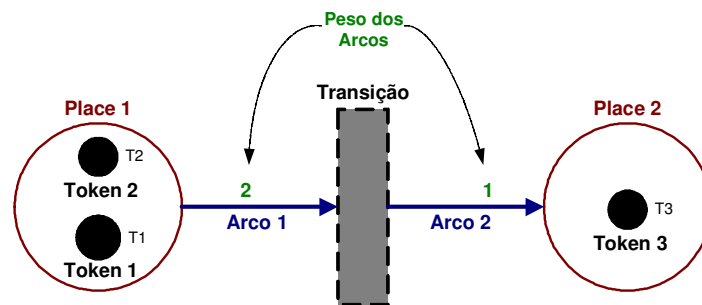


Figura 29 – Elementos de uma rede de Petri.

Ao modelar uma rede de Petri procura-se representar os estados antes e depois de cada evento do sistema. O elemento responsável por descrever estas condições são os *tokens*. Portanto, deve-se estabelecer uma marcação inicial, como no exemplo da figura 30, que pode ser descrita através da notação $M_0 = (1, 1, 0)$. Sendo o primeiro campo a quantidade de *tokens* no *place* 1, o segundo campo a quantidade de *tokens* no *place* 2 e o terceiro campo a quantidade de *tokens* no *place* 3. Além dos *tokens* têm-se os pesos associados a cada arco, que são importantes e muitas vezes necessários durante o projeto do modelo.

A marcação inicial faz parte do projeto do modelo, e, uma falha na definição da marcação inicial pode resultar num modelo inconsistente ou com falhas de execução.

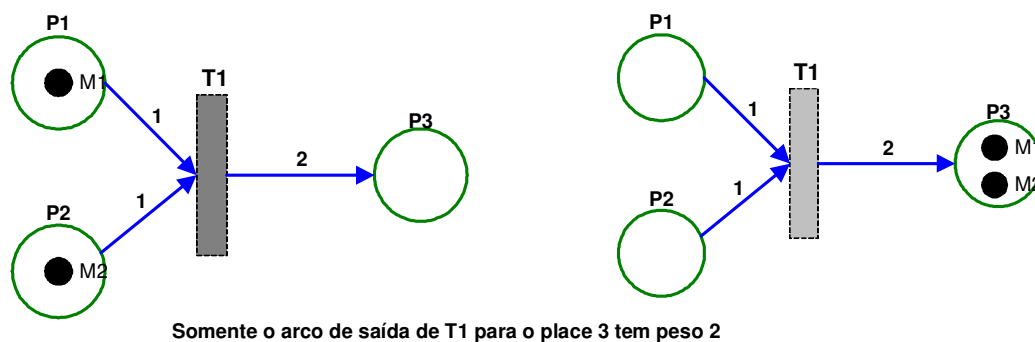


Figura 30 – Exemplo marcação inicial e final de uma rede de Petri.

Pode-se perceber, no exemplo, que existem dois momentos (estados) distintos: um estado em que os *places* 1 e 2 possuem *tokens* e outro que somente o *place* 3 possui 2 *tokens*. Logo, pode-se considerar que existem duas marcações: uma inicial $M_0 = (1, 1, 0)$ e outra final $M_f = (0, 0, 2)$.

³ Quando a **interseção** de dois conjuntos P e T é o **conjunto vazio**, dizemos que estes conjuntos são **disjuntos**.

A mudança de estado foi realizada pela função transição (T1). A transição é responsável por modificar os estados em uma rede de Petri. Sendo assim, para modificar uma marcação da rede de Petri basta disparar as transições existentes. Como resultado de um disparo, os *tokens* dos *places* de entrada são retirados e novos *tokens* são colocados nos *places* de saída. Esta movimentação dos *tokens* é baseada nos pesos dos arcos. No exemplo, o peso do terceiro arco é 2, e, por este motivo chegam ao *place* 3 dois *tokens*.

É possível perceber que haverá situações em que a transição não poderá ser disparada, por exemplo, basta que um dos *places* 1 ou 2 não possua um token, pois o arco 3 necessita de dois *tokens* (peso 2) para iniciar a transição para o *place* 3. Entretanto, há outras situações de conflito quando ocorre concorrência, conforme exemplo da figura 31, onde existem duas transições que para serem habilitadas precisam de um token em cada uma de suas entradas. O problema é que o *place* P1 é único, e, portanto, compartilhado. Então, qual transição será disparada T1 ou T2? Se não houver uma regra de prioridade ela será aleatória. Logo é possível atribuir funções as transições para que se tenha uma situação típica de *if* e *else*.

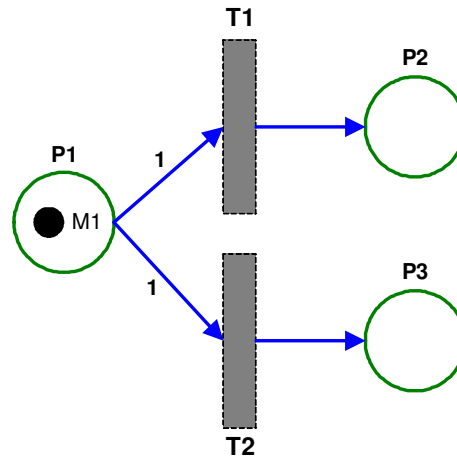


Figura 31 – Exemplo de conflito devido a uma concorrência numa rede de Petri.

As redes de Petri também podem ser representadas por uma notação matricial ou por uma árvore de alcançabilidade. A notação matricial apresenta as matrizes de entrada com a quantidade de arcos de entrada em cada transição, as matrizes de saídas com as quantidades de arcos de saída de cada transição e a matriz de incidência que representa a diferença entre as matrizes de saída e entrada. A representação através da árvore de alcançabilidade, apresentada na figura 32 permite estabelecer quantos estados ou marcações podem ser extraídos de uma rede de Petri, no exemplo citado um conjunto finito de cinco marcações $[M = \{M0, M1, M2, M3, M4\}]$. Esta árvore somente será finita se em algum momento uma determinada marcação levar à marcação inicial.

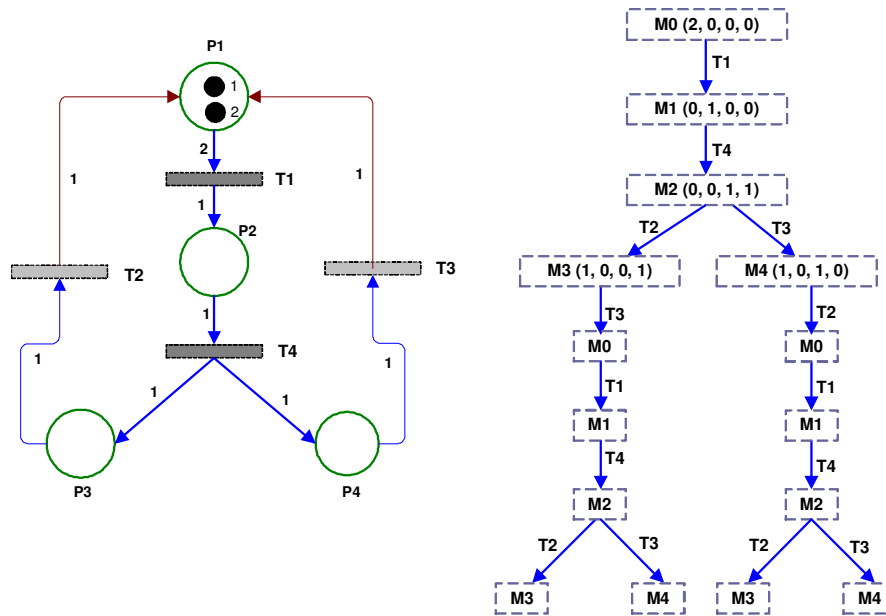


Figura 32 – Exemplo de Rede de Petri com sua árvore de alcançabilidade.

Quando numa modelagem do sistema é necessário que um disparo ocorra com certo retardo de tempo fixo e constante, usam-se redes de Petri temporizadas determinísticas. Nestes casos, para cada transição atribui-se um valor de tempo, conforme figura 33. A principal vantagem é poder alterar a definição de estado da rede. Há também redes de Petri probabilísticas (RdP – E, estocásticas) que possuem taxas aleatórias. Nestes casos associa-se uma distribuição exponencial ao tempo de disparo de cada transição habilitada da rede, descrevendo deste modo um processo estocástico. De modo formal, uma rede de Petri estocástica é definida como: $RdP-E = \{P, T, A, PA, M_0, D\}$, onde;

→ P [conjunto de *places*], T [conjunto de transições], A [conjunto de arcos], PA [pesos dos arcos], M_0 [marcação inicial] e D [conjunto das taxas de disparos associadas às transições que obedecem a uma transição exponencial. Tais taxas de disparo podem ter o seu valor dependente da marcação. A dependência da taxa de disparo da transição j sobre uma marcação M é denotada por $D_j(M)$].

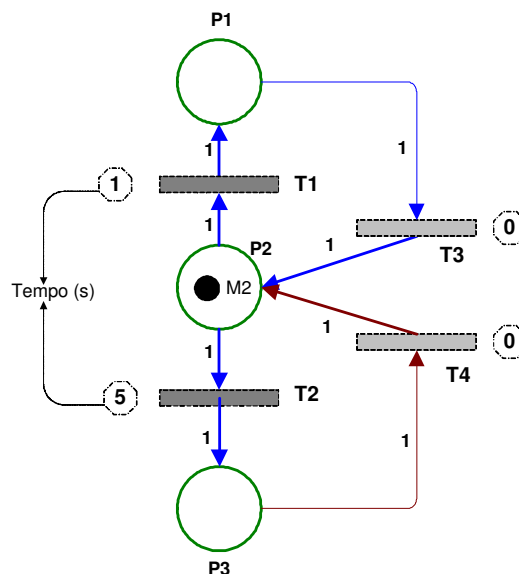


Figura 33 – Exemplo de uma rede de Petri temporizada com tempos fixos.

Outra variação das redes de Petri são as “coloridas” (RdP – C), cujo principal objetivo é a redução do tamanho do modelo, permitindo que *tokens* individualizados (coloridos = distintos) representem diferentes processos ou recursos em uma mesma sub-rede. Inicialmente, os *tokens* das RdP Coloridas eram representados por cores ou mesmo por padrões que possibilitam a distinção dos *tokens*. Em trabalhos mais recentes, os *tokens* são representados por estruturas de dados complexas não relacionando cores aos *tokens*, a não ser pelo fato de que estes são distinguíveis. Deste modo, os *tokens* podem conter informações. Além disso, cada *place* armazena *tokens* de certo tipo definido e arcos realizam operações sobre os *tokens*. As transições são consideradas “expressões de guarda (expressão booleana contendo algumas variáveis)”.

Uma RdP-C é composta por três partes: estrutura, inscrições e declarações. A estrutura é um grafo direcionado com dois tipos de nós (*places* e transições), com arcos interconectando nós de diferentes tipos. As inscrições são associadas aos *places*, transições e arcos. As declarações são tipos, funções, operações e variáveis. Na figura 34 verifica-se um exemplo de uma RdP-C.

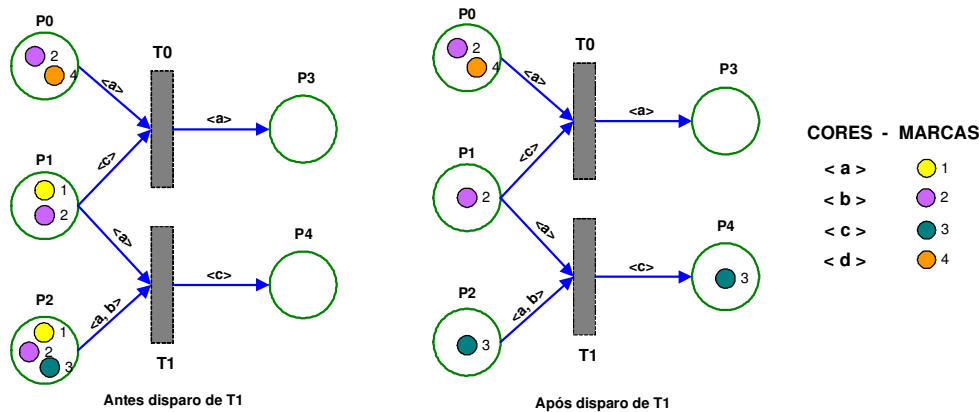


Figura 34 – Exemplo de uma rede de Petri colorida.

Conforme exposto anteriormente, a modelagem usando Redes de Petri Coloridas, normalmente permite uma redução no tamanho do modelo devido à unificação de *places*, transições e arcos. O grau de redução da Rede de Petri é dependente dos modelos originais (grau de complexidade) e principalmente da quantidade de repetições (*places*, transições e arcos) existentes.

Em seu trabalho, Costa e Góes (2003) apresentam um exemplo de modelagem, utilizando Redes de Petri, de um sistema de manufatura que consiste de duas estações de processamento com máquinas, M_1 e M_2 ; um braço robô compartilhado R para descarga e um *buffer* B para armazenamento temporário de peças intermediárias, conforme esquematizado na figura 35.

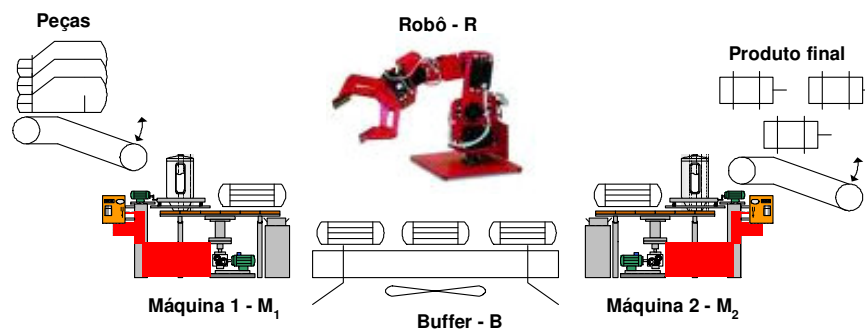


Figura 35 – Exemplo de um sistema simplificado de manufatura com recursos compartilhados (adaptado: Costa e Góes, 2003).

Cada peça é processada primeiramente em M_1 e depois em M_2 . As peças entram no sistema e na estação de processamento sendo automaticamente fixadas a uma esteira e carregadas na máquina M_1 . Após processamento, o robô R descarrega de M_1 a peça intermediária e a coloca no *buffer* B . Na seqüência as peças intermediárias são automaticamente carregadas em M_2 e processadas. Quando M_2 encerra o processamento de uma peça, o robô R descarrega o produto final e libera a primeira estação de trabalho. Assume-se que peças de entrada estão sempre disponíveis para serem processadas e que o produto final é sempre retirado.

Seguindo a metodologia de modelagem de sistemas, tem-se que primeiramente identificar as atividades e recursos, que são: estações de processamento (fixação de peça na esteira, carga e processamento de peças), armazenamento (*buffer*) e descarga (intermediária e final). Os recursos são M_1 , M_2 , R , B , fixadores e peças. O segundo passo implica em identificar a ordem das atividades, no caso:

M_1P : M_1 carrega, fixa e processa a peça;

RD_1 : R descarrega uma peça intermediária no *buffer*;

BA : B armazena uma peça intermediária;

M_2P : M_2 carrega e processa uma peça intermediária;

RD_2 : R descarrega o produto final de M_2 , libera esteira e retorna a primeira estação de trabalho.

O terceiro passo é criar a rede com a seqüência básica ordenada, conforme apresentado na figura 36a.

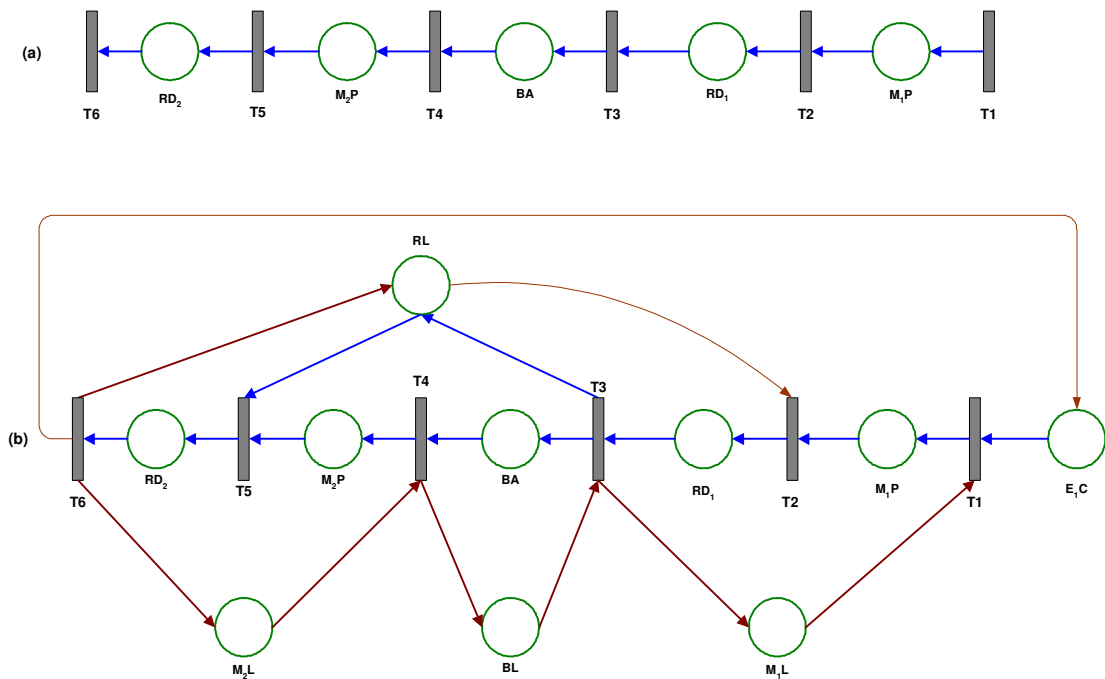


Figura 36 – Estágios de criação da rede de Petri do sistema de manufatura (ordem das atividades).

No quarto passo verificam-se as atividades intermediárias para fechar o ciclo. No caso, a atividade M_1P requer uma esteira com peças (representada pelo lugar E_1C) e a máquina M_1 pode estar livre (representada pelo lugar M_1L). O *buffer*, o robô e a máquina M_2 também podem estar livres e são representadas respectivamente pelos lugares (BL , RL e M_2L). Os arcos são ligados às transições satisfazendo o fluxo e requerimentos do sistema, conforme ilustrado na figura 36b.

Por fim, colocam-se as marcações (estados), começando pela inicial: Foi considerado inicialmente que ambas as máquinas estão livres (uma ficha para M_1L e M_2L), supuseram-se quatro peças disponíveis na esteira (quatro fichas no lugar E_1C). O robô está livre (uma ficha no lugar RL) e há espaço livre no *buffer* para duas peças intermediárias (duas fichas no lugar BL). Desta forma, constrói-se a rede de Petri que modela o sistema de manufatura do exemplo proposto, a qual é apresentada na figura 37.

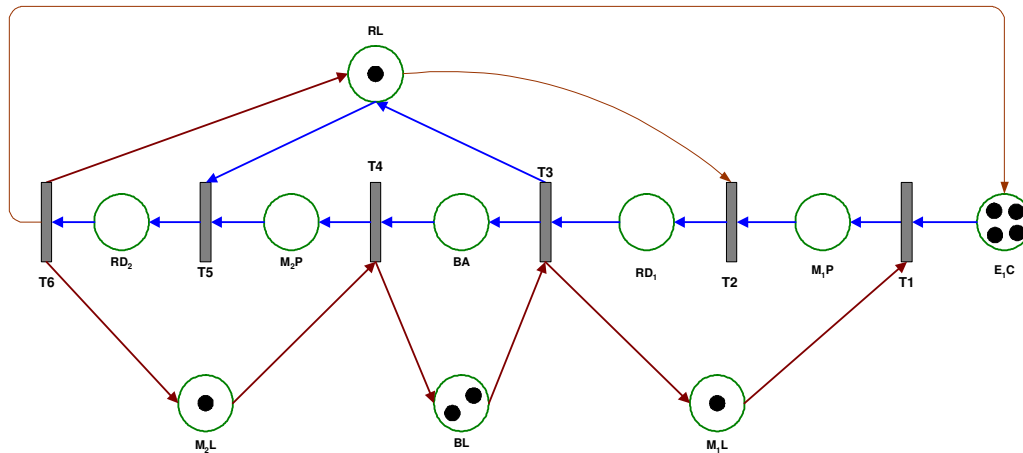


Figura 37 – Rede de Petri que modela o exemplo do sistema de manufatura com recursos compartilhados.

A modelagem de um sistema, segundo De Negri (2004) é realizada basicamente sobre três perspectivas: estrutural, funcional e comportamental. A perspectiva estrutural representa o conjunto de elementos em um sistema e as relações que os conectam uns aos outros, que podem indicar conexões físicas, de comunicação ou relações hierárquicas. A perspectiva funcional estabelece de forma inequívoca a função de cada componente no sistema e qual é a inter-relação entre estas funções. Enquanto a perspectiva comportamental informa quando e como as funções de um sistema serão executadas. As características de modelos comportamentais dependem do tipo de sinal de entrada e saída envolvido na execução da função do sistema, sendo divididos em: modelos a estado contínuo e a estado discreto.

De Negri (2004) apresenta uma síntese de modelos utilizados nas engenharias, classificadas em suas perspectivas, forma de representação e área de uso. Na tabela 6, a seguir têm-se alguns exemplos.

Tabela 6 – Síntese de modelos em uso nas engenharias (adaptado De Negri, 2004)

MODELO	PERSPECTIVA	REPRESENTAÇÃO	ÁREA DE USO
Estrutura de funções	Funcional	Diagramática	Projeto de produtos (múltiplas áreas com ênfase na mecânica)
Diagrama de blocos	Comportamental	Diagramática e matemática	Múltiplas áreas: elétrica, mecânica, hidráulica, pneumática.
Redes de Petri	Comportamental	Diagramática	Sistema de Manufatura
Diagrama de circuitos elétricos	Funcional	Diagramática	Elétrica

MODELO	PERSPECTIVA	REPRESENTAÇÃO	ÁREA DE USO
UML – Diagrama de classes	Estrutural	Diagramática	Software
Desenho mecânico	Estrutural	Icônica	Mecânica
Função de transferência	Comportamental	Matemática	Múltiplas áreas
Diagrama de fluxo de dados	Funcional	Diagramática	Software

5.2 Modelagem do Sistema usando a Linguagem de modelagem unificada (UML)

Na área de software a representação diagramática permite estabelecer uma estrutura sequencial de fluxo de informações que facilitam a geração dos códigos de programação em diferentes linguagens, possibilitando que um programador especifique precisamente sobre quais dados um sistema computacional vai atuar, como estes dados serão armazenados ou transmitidos e quais ações devem ser tomadas sob várias circunstâncias.

No princípio, de forma dominante, e ainda hoje com certa influência, a programação estruturada estabelece uma forma padronizada de escrever um conjunto concreto de instruções para que um sistema computacional desempenhe suas funções. E, preconiza que todos os programas podem ser reduzidos a apenas três estruturas: sequência, decisão e iteração⁴.

Em contraposição a uma programação estruturada surge no final da década de 80 uma nova filosofia de programação orientada a objetos (POO), como uma importante ferramenta de desenvolvimento de software, baseado na composição e interação entre diversas unidades de software chamadas de objetos. Segundo Rumbaugh et al (1996), programar na perspectiva orientada a objetos é “uma nova maneira de pensar problemas utilizando modelos organizados a partir de conceitos de mundo real”.

A análise e modelagem orientadas a objetos têm como meta identificar o melhor conjunto de objetos para descrever um sistema de software. O funcionamento deste sistema se dá através do relacionamento e troca de mensagens entre estes objetos. E tem como um de seus pressupostos básicos a reutilização destes objetos (entidades únicas que tem sua estrutura, comportamento, propriedades-métodos e atributos genéricos combinados), que por serem modulares podem ser utilizados em diferentes projetos de software, dispensando a reescrita das linhas de código de programação.

Na programação orientada a objetos procura-se implementar um conjunto de classes que definem os objetos presentes no sistema de software. Cada classe determina o comportamento (definidos nos métodos) e estados possíveis (atributos) de seus objetos, assim como estes devem se relacionar com outros objetos.

Atualmente existem diversas linguagens de programação que suportam uma modelagem orientada a objetos, como: C++, Java, Object Pascal, Javascript, C#, PHP, Perl etc. Todas necessitam obedecer mesma padronização a fim de manter coerência e evitar os conflitos de diferentes plataformas operacionais. Alguns conceitos fundamentais da linguagem são apresentados a seguir, visando torná-la mais compreensível.

⁴ Processo de repetição de uma ou mais ações.

- **Classe** → representa um conjunto de objetos com características comuns. Uma classe define o comportamento dos objetos, através de métodos, e quais estados ele é capaz de manter, através de atributos. Exemplo de uma classe: Os felinos.
- **Objeto** → é uma instância (subconjunto) de uma classe. Um objeto é capaz de armazenar estados através de seus atributos e reagir a mensagens enviadas a ele, assim como se relacionar e enviar mensagens a outros objetos. Exemplo de objetos da classe Felinos: gato (siamês, angorá, persa), onça (pintada, parda, preta), tigre (dente de sabre, asiático), pantera.
- **Mensagem** → é uma chamada a um objeto para invocar um de seus métodos, ativando um comportamento descrito por sua classe. Também pode ser direcionada diretamente a uma classe (através de uma invocação a um método dinâmico).
- **Herança** (ou generalização) → é o organismo pelo qual uma classe (subclasse) pode estender outra classe (superclasse), aproveitando seus comportamentos (métodos) e estados possíveis (atributos). Há Herança múltipla quando uma subclasse possui mais de uma superclasse, contudo nem todas as linguagens orientadas a objetos suportam este tipo de propriedade. Um exemplo de herança: Mamífero é superclasse de Felinos. Ou seja, um Felino é um mamífero.
- **Associação** → é a construção pela qual um objeto utiliza os recursos de outro. Pode tratar-se de uma associação simples "usa um" ou de um acoplamento "parte de". Por exemplo: Um felino usa suas patas para caçar. As garras (unhas) são partes de uma pata.
- **Encapsulamento** → consiste na separação de aspectos internos e externos de um objeto. Este mecanismo é utilizado amplamente para impedir o acesso direto ao estado de um objeto (seus atributos), disponibilizando externamente apenas os métodos que alteram estes estados. Exemplo: você não precisa conhecer os detalhes da formação das imagens numa câmara fotográfica para utilizá-la. A carcaça com seus botões externos encapsulam esses detalhes, provendo a você uma interface simples e amigável.
- **Abstração** → é a habilidade de concentrar nos aspectos essenciais de um contexto qualquer, ignorando características menos importantes ou acidentais. Em modelagem orientada a objetos, uma classe é uma abstração de entidades existentes no domínio do sistema de software.
- **Polimorfismo** → é o princípio pelo qual duas ou mais classes derivadas de uma mesma superclasse podem invocar métodos que têm a mesma lista de parâmetros, mas comportamentos distintos, especializados para cada classe derivada, usando para tanto uma referência a um objeto do tipo da superclasse. A decisão sobre qual o método que deve ser selecionado, de acordo com o tipo da classe derivada, é tomada em tempo de execução, através do organismo de ligação tardia.

A Unified Modeling Language (UML) é uma linguagem de modelagem não proprietária utilizada para administrar e organizar o desenvolvimento de software complexo. A UML pretende ser a linguagem de modelagem padrão para modelar sistemas concorrentes e distribuídos. Todavia, não é um método de desenvolvimento, o que significa que ela não diz para você o que fazer primeiro e em seguida como desenhar seu sistema, mas ele lhe auxilia a visualizar seu desenho e a comunicação entre objetos.

Basicamente, a UML permite que desenvolvedores visualizem os produtos de seu trabalho em diagramas padronizados. Junto com uma notação gráfica, a UML também especifica significados, isto é, semântica. É importante distinguir entre um modelo UML e um diagrama (ou conjunto de diagramas) de UML: o último é uma representação gráfica da informação do primeiro.

A UML ainda não é um padrão da indústria, mas esse objetivo tem tomado forma sob as promessas do Object Management Group (OMG). A finalidade da UML é descrever e modelar qualquer tipo de sistema, em termos de diagramas de POO. Naturalmente, o uso mais comum é a criação de modelos de sistemas de software, mas a UML pode também ser utilizada para descrever sistemas mecânicos sem qualquer software ou mesmo a organização de um negócio.

Seus diagramas traçam a representação gráfica de um conjunto de elementos, geralmente símbolos e arcos de relacionamentos. São esquematizados de modo a permitir

uma visualização de um sistema sob diferentes perspectivas. Nesse sentido, um diagrama constitui uma projeção de um determinado sistema. A UML dispõe de nove diagramas citados a seguir.

1. Diagrama Caso de Uso;
2. Diagramas Interação:
 - 2.1 - Seqüências;
 - 2.2 - Colaborações;
4. Diagrama de Classes;
5. Diagrama de Objetos;
6. Diagrama de Gráficos de Estados;
7. Diagrama de Atividades;
8. Diagrama de Componentes;
9. Diagrama de Implementação.

É importante destacar que nem sempre o projetista fará uso de todos os diagramas para modelar um sistema. Em seu trabalho, Paes (2001) cita exemplo de alguns autores que utilizam alguns diagramas para modelagem de sistemas técnicos, como “Colle (1999) que utiliza os diagramas de: Interação, Estados e de Implementação. Por outro lado, trabalhos como o de McLaughlin e Moore (1998) emprega: Caso de Uso, Colaboração (Seqüência e Colaborações), Classe, Atividades e Implementação. Enquanto Selic e Rumbaugh (1998) usam: Classe, Colaboração e Estados. Já em Douglass (1999) vê-se: Caso de Uso, Estados e Seqüência”. A escolha dependerá do tipo de sistema a ser modelado, da sua complexidade, da disponibilidade de tempo para o projeto, da vivência dos projetistas, dentre outras.

Na figura 38, tem-se um exemplo de um diagrama de caso de uso e classe com seus elementos. No diagrama de Caso de uso tem-se o comportamento de uma classe sem mostrar sua estrutura interna. Estes especificam as necessidades e funções oferecidas pelas classes. O ator representa um agente que interage com o sistema através do envio e recebimento de mensagens e desempenha um papel podendo ser dispositivos (sensores, disjuntores etc.), máquinas (computadores, tornos, braço mecânico etc.) ou seres humanos.

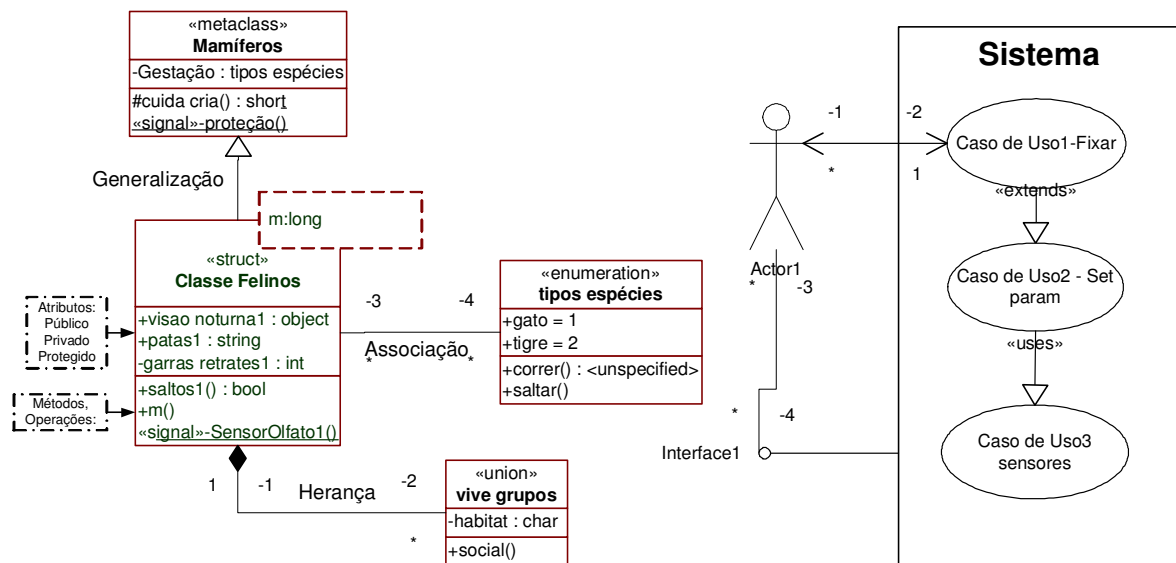


Figura 38 – Exemplo de diagrama: de Classe, de Caso de uso e seus elementos.

O diagrama de seqüência modela a parte dinâmica (evolutiva no tempo) do sistema. Propicia uma idéia temporal e a ordem em que às interações acontecem. Na figura 39, mostra-se um exemplo do diagrama de seqüência e seus elementos. A análise (leitura) é feita da direita para esquerda e de cima para baixo.

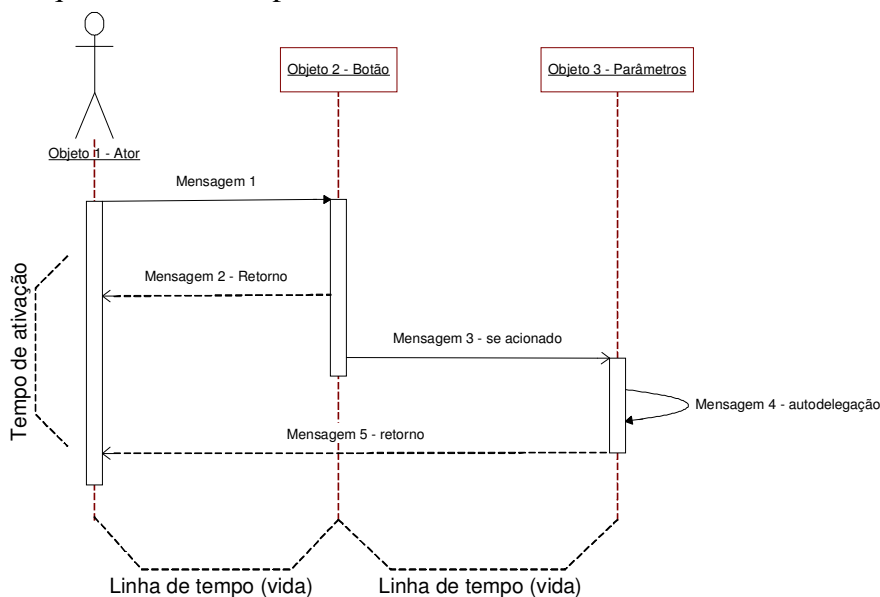


Figura 39 – Exemplo de diagrama de Seqüência.

Elaborar grandes projetos com vários níveis de complexidade e camadas seria extremamente dispendioso e muitos dos benefícios de uma programação orientada a objetos poderia se tornar irrelevantes diante do esforço despendido para implementá-la. Entretanto, atualmente tem-se a disposição ferramentas CASE (Computer Aided Software Engineering), que permitem um suporte ao desenvolvimento de projetos de software mais estruturado, sem a qual a metodologia se tornaria inviável. Neste trabalho foi possível utilizar as ferramentas CASE: VISIO[®] e Rational ROSE[®].

Pode-se perceber que o desenvolvimento de produtos cada vez mais complexos, como os mecatrônicos, envolve uma gama de conhecimento multidisciplinar ainda não totalmente estruturada e, portanto, em construção. Este trabalho levanta alguns aspectos necessários na formação de uma nova massa crítica de engenheiros e pesquisadores que se predispõe a desenvolver produtos com tais especificidades. Além de ratificar o caráter transdisciplinar do conhecimento humano. Para tanto, o trabalho em equipes multidisciplinar constituem um caminho obrigatório a ser trilhado para construção de novas metodologias.

6. Considerações finais

Neste capítulo foram discutidos temas correlatos ao processo de desenvolvimento integrado de produtos, onde muitos dos assuntos abordados surgiram nas discussões do problema de projeto de uma máquina para realizar ensaios de fadiga em materiais plásticos; tendo em vista que, apesar da sua crescente utilização na indústria em diferentes aplicações tecnológicas atuais, o projeto mecânico dos componentes plásticos é realizado, na maioria das vezes, sem considerar os aspectos característicos do seu comportamento quando submetidos a carregamentos dinâmicos.

Em face de tratar-se do projeto de uma máquina que envolve distintas áreas, optou-se em executá-lo em equipe com características multidisciplinares, atendendo os princípios da

engenharia simultânea, com propósito de obter um ganho no tempo de desenvolvimento e também na necessidade de avaliar em que fase do projeto as características mecatrônicas são evidenciadas. Nesta linha de ação, a equipe seguiu os passos metodológicos de um projeto mecânico adequando-o as especificidades do estudo de caso da bancada.

Feita a conceituação fenomenológica da fadiga, estabeleceu-se as pontes para classificar as diferenças entre os materiais poliméricos usuais na engenharia, distinguindo-o dos metais, com o intuito de destacar a relevância desta pesquisa descritiva.

Ao apresentar algumas ferramentas usuais de desenvolvimento integrado empregadas nas várias etapas do projeto consensual de um produto, sistematizados por Ferreira (1997) e Ogliari (1999), tenta-se constituir uma base comum e de caráter generalista para se estabelecer os parâmetros mínimos para uma análise crítica do processo. Em fim, o estudo evidencia as distintas áreas que permeiam o desenvolvimento de um produto mecatrônico, suas ferramentas específicas de trabalho e como devem ser utilizadas, com a finalidade de alcançar as metas desejáveis do projeto.

No próximo capítulo procura-se descrever cada etapa do desenvolvimento da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, elaborada por uma equipe multidisciplinar, conforme pressupostos da engenharia simultânea, abordando o uso de alguma das ferramentas aqui descritas.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS DE FADIGA EM MATERIAIS PLÁSTICOS

1. Introdução

Como foi apresentado no capítulo anterior, as propostas de metodologias para desenvolvimento de produtos são de caráter genérico e bastante abordado nas engenharias sem especificar particularidades em relação a produtos mecatrônicos que envolva todo o seu ciclo de vida. Acrescido à crescente demanda por produtos mais integrados e consequentemente mais complexos em suas funcionalidades é que se busca desenvolver produtos através da engenharia simultânea, com foco em equipes multidisciplinares, que permitem levantar as várias características dos novos produtos, que agregam sistemas característicos das várias áreas da engenharia mecânica, engenharia elétrica, ciência da computação e controle.

No âmbito deste projeto, com objetivo de avaliar a aplicabilidade das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, foi desenvolvida uma bancada para realizar ensaios de fadiga acompanhando uma equipe de projeto, nos moldes propostos pela engenharia simultânea. Esta equipe foi composta por estudantes de graduação em engenharia mecânica, estudantes de mestrado em mecatrônica, professores e pesquisadores em áreas de mecânica, elétrica e de controle. Além disto, no desenvolvimento desta bancada também foram consultados especialistas na área da ciência da computação.

Como será descrito ao longo deste capítulo, uma bancada para realizar ensaios de fadiga é um produto que demanda cuidados especiais, em virtude de suas características, especificações técnicas e restrições normativas. Além de apresentar resultados que permita classificar materiais, levantar dados para construção de produtos em materiais plásticos, obter certificações dentro de padrões internacionais de medidas para validação dos ensaios realizados.

Todas estas características implicam num processo de sincronia e afinidade entre os sistemas da bancada, para que os resultados obtidos estejam dentro de um mínimo grau de incerteza exigido nas normas de padronização e segurança para equipamentos de ensaios destrutivos.

2. Estudo de caso – descrição do processo de desenvolvimento da bancada

O desenvolvimento da bancada teve início com a formação da equipe de projeto composta por professores, pesquisadores, engenheiros, mestrandos, graduando com formação em engenharia mecânica e elétrica; conforme classificação apresentada na tabela 7.

Tabela 7 – Classificação dos componentes envolvidos no projeto

Integrantes	Formação	Especialidade	Condição na equipe
01	Doutor	Eng ^a Mecânica	Membro efetivo
02	Mestrando	Mecatrônica	Membro efetivo
03	Graduando	Eng ^a Mecânica	Membro efetivo
01	Graduando	Eng ^a Elétrica	Membro efetivo
01	Doutor	Eng ^a Elétrica	Membro colaborador
01	Doutor	Eng ^a Elétrica – Controle	Membro colaborador
01	Mestrando	Ciência da Computação	Membro colaborador
01	Mestrando	Eng ^a Mecânica	Membro colaborador

Estes profissionais buscaram estabelecer uma aproximação de afinidades e sinergia para conhecimento mútuos, através de uma dinâmica de apresentação com suas respectivas áreas de atuação, para em seguida, definir o objeto do projeto (o que se deseja?): “**o desenvolvimento de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos**”, e suas possíveis características, isto é, ‘o equipamento deve permitir realizar ensaios normalizados, com controle das variáveis do ensaio, com possibilidade de emitir relatórios parciais e globais, seja de baixo custo, e, que traga inovações tecnológicas para gerar patente’, compondo deste modo todo o escopo idealizado do produto.

Este desenvolvimento envolveu as etapas do projeto informacional, conceitual e preliminar abordadas anteriormente, sem o detalhamento da concepção final. Como resultado final pode-se chegar a uma solução tecnológica viável, e economicamente possível de ser fabricada com os recursos orçados.

A seguir são apresentadas as fases auferidas no processo de desenvolvimento da bancada.

2.1 Projeto Informacional

É conveniente destacar que nesta etapa do projeto, já sabendo o escopo do problema, procura-se seguir os passos metodológicos do projeto informacional, que resumidamente envolvem: pesquisar informações sobre o problema proposto, definir a clientela do produto em todo seu ciclo de vida, consultar os prováveis clientes sobre suas necessidades, levantar possíveis restrições do produto, converter as necessidades em requisitos de engenharia e por fim estabelecer as especificações do produto.

Sendo assim, na fase inicial, ocorreu um estudo aprofundado do estado da arte do projeto, com discussões envolvendo: a fenomenologia da fadiga, dos materiais plásticos, tipos de esforços, normas de ensaios, processos de injeção, equipamentos disponíveis no mercado, ferramentas de desenvolvimento, metodologias, vantagens e desvantagens do projeto, patentes, características mecatrônicas, custos etc.

O gerenciamento das informações suscitadas necessita de muito cuidado e atenção, pois são bastante extensas e precisam ser armazenadas de modo completo para futuras análises de relevância das decisões tomadas. Para tanto, os tópicos relevantes das discussões foram registradas e transferidas para meio digital (computador) além de serem gravadas em dispositivo de áudio (fitas K7).

Destes encontros iniciais, em torno de duas reuniões semanais com duração média de três horas, foi possível definir a clientela, procurando englobar todo o ciclo de vida do produto e levantar as necessidades dos clientes envolvidos no desenvolvimento e uso do produto, conforme mostra a tabela 8.

Tabela 8 – Identificação e Classificação dos Clientes

Tipo de Cliente	Identificação	Cliente
Clientes Internos	A	Fabricante de peças da máquina
	B	Equipe de Projeto
	C	Montador
Clientes Intermediários	D	Não foram identificados
Clientes Externos	E	Estudantes de graduação e pós
	F	Empresas
	G	Usuário – Técnico de ensaio
	H	Projetista de peças
	I	Técnico de manutenção
	J	Usuário técnico de limpeza
	K	Professores

Deste modo abriu-se à fase de elaboração do projeto informacional. Os clientes, individualmente, expuseram sobre suas expectativas e necessidades, e estas foram sendo listadas numa tabela, que inicialmente atingiu um total de 50 necessidades (incluídas no apêndice G). Muitas destas necessidades bem detalhadas já sinalizavam uma provável solução, como: emitir relatório impresso detalhado com descrição das características. Este processo gera muitas discussões e sempre resulta na tomada de decisões sobre manter, agrupar ou retirar a necessidade obtida. Sendo assim, após muitas argumentações, as necessidades foram sendo agrupadas em termos mais genéricos, em face do excessivo grau de detalhes, e ficaram resumidas ao total de 22, conforme apresentadas na tabela 9.

Paralelo ao processo de agrupamento das necessidades também foi feito a classificação das necessidades por áreas adotando-se a seguinte nomenclatura: **1** – operacional, **2** – segurança, **3** – custos, **4** – manufatura, **5** – manutenção, **6** – expectativa de projeto, **7** – outros e **8** – construção. Esta classificação é aleatória, mas obedece ao ciclo de vida do produto e depende da equipe de projetos e ainda poderia ser feita de modo a separar necessidades referentes à mecânica, elétrica, controle, etc.

Tabela 9 – Identificação e Classificação das Necessidades do Produto

Classificação	Itens	Necessidades
1	01.	Apresentar relatórios padronizados
1	02.	Fácil preparação (setup reduzido)
1	03.	Flexibilidade dos parâmetros de ensaios
1	04.	Permita o acompanhamento do ensaio
1	05.	Permitir o monitoramento do ensaio
2	06.	Operar segundo as normas de segurança
3	07.	Baixo custo de manutenção
3	08.	O custo máximo seja R\$ 50.000,00
4	09.	Componentes de fácil fabricação
4	10.	Possua menor n° e variedade de peças
5	11.	Seja de fácil desmontagem
5	12.	Que as peças sejam resistentes a ataques químicos
5	13.	Ter vida útil elevada

Classificação	Itens	Necessidades
6	14.	Realizar ensaios em grande variedade de materiais
6	15.	Gerar patentes
7	16.	Realize ensaios normalizados em plásticos
7	17.	Tenha baixo consumo de energia
7	18.	Minimizar impacto ambiental
8	19.	Permita menor tempo de montagem
8	20.	Tenha peso reduzido
8	21.	Bancada com dimensões reduzidas
8	22.	Seja de fácil construção

Para se chegar ao consenso de quais deveriam ser agrupadas ou eliminadas, houve muitos questionamentos, como por exemplo: se determinada característica já não estaria induzindo uma possível solução, ou direcionando a um mecanismo específico. Este processo é bastante rico e possibilita, a cada encontro, levantar novas idéias sobre os itens listados e aprofunda a compreensão do problema em foco, entretanto, necessita coordenação para que não ocorram excessos, ou seja, há de se estabelecer um ponto de parada e assumir posições.

Em decorrência da formação técnica da equipe ser maior em engenharia mecânica observa-se que muitas opiniões já traziam embutidas questões quanto ao número de componentes, ou facilidade de montagem, aspectos estes contemplados no uso de ferramentas DFMA. Isto gerou, num primeiro momento como descrito anteriormente, 50 itens (necessidades) detalhadas e voltadas para os componentes mecânicos da bancada em detrimento dos aspectos eletroeletrônicos e de controle, apesar de, implicitamente, algumas necessidades apontarem para características eletroeletrônicas, como por exemplo: ‘permitir o monitoramento do ensaio’.

Deste modo, pode-se perceber que apesar da equipe atuar em áreas diferentes, a maioria possuía uma formação comum (Engenharia mecânica). Isto limitou a visão do problema proposto na fase informacional do projeto, contudo, não elimina soluções que possam advir de outras áreas distintas ou correlatas. Na prática esta limitação poderia ser amenizada com inclusão de outros componentes das áreas elétrica e controle, ou convidar um especialista para expor suas idéias sobre os aspectos levantados pela equipe de projeto.

Na seqüência, as necessidades (o que se deseja) foram analisadas e transformadas em requisitos de engenharia (como – de que forma realizá-los), conforme listado na tabela 10, isto é, foram descritas numa linguagem de engenharia que seja mensurável. A relação entre elas não é unívoca, isto é, uma necessidade pode estar contemplada em vários requisitos, assim como, um requisito atender várias necessidades.

Em face da formação técnica da equipe de projeto, muitas necessidades já apresentavam características de requisitos, facilitando deste modo o processo de transformação da linguagem. A subjetividade da necessidade é modificada para elementos objetivos e dimensionáveis. Nesta fase os requisitos também são classificados quanto ao que se espera deles no processo em termos de uma valoração positiva ou negativa, por exemplo: o requisito custo do produto é desejável que seja o menor possível, enquanto que o requisito número de soluções prontas seja o maior possível. Para esta classificação foi adotada a nomenclatura de duas setas ascendentes e descendentes, significando respectivamente maior e menor (↑↓).

Tabela 10 – Identificação e Classificação dos Requisitos

Itens	Unidade	Desejável ↑↓	Requisitos
01.	R\$	↓	Custo do produto
02.	R\$	↓	Custo de manutenção
03.	Kg	↓	Peso das peças manipuláveis
04.	Kg	↓	Peso da bancada
05.	%	↓	Tolerância (Rugosidade – dimensões)
06.	Nº	↑	Número de soluções prontas
07.	min	↓	Tempo de construção
08.	Nº	↑	Número de patentes
09.	%	↑	Realizar ensaios de fadiga em plásticos
10.	%	↓	Erro de posicionamento
11.	%	↓	Incerteza na medição
12.	mm	↑	Faixa de amplitude de oscilação
13.	Hz	↑	Faixa de frequência
14.	Nº	↑	Número de parâmetros de controle
15.	m	↓	Dimensões
16.	db	↓	Nível de ruído
17.	Nº	↑	Número de dispositivos de segurança
18.	Kwh	↓	Consumo de energia
19.	%	↑	Gerar relatórios impressos
20.	Nº	↑	Número de tipos de amostras
21.	min	↓	Tempo de preparo do ensaio
22.	Nº	↑	Número de etapas visíveis do processo
23.	%	↑	Apresentar resultado em tela
24.	min	↓	Tempo de manutenção
25.	ano	↑	Vida útil da bancada
26.	Nº	↑	Número de dispositivos de controle e medição
27.	h	↑	Autonomia de uso

O processo de construção do projeto resulta sempre numa sucessiva tomada de decisões por parte da equipe de projeto. A cada passo toma-se uma decisão e avança-se para o passo seguinte e, muitas vezes percebe-se, por parte de alguns, a incerteza quanto às decisões assumidas, entretanto, o comando do coordenador permite que a equipe siga para mais uma fase. A equipe ao optar por agrupar necessidades e requisitos, em detrimento dos detalhes, que muitas vezes já caracterizavam uma possível solução, argumentou quanto ao excesso de parâmetros que se teriam quando da análise entre as necessidades e requisitos. Isto demandaria uma enorme quantidade de horas para estabelecer as especificações do produto.

Desta maneira, após agrupamento significativo das necessidades de 50 para 22 e dos requisitos de 31 para 27, as necessidades foram classificadas por áreas de atuação. A partir do qual se levantariam as especificações ou requisitos funcionais do produto. Convém destacar que este processo de tomada de decisões quanto ao que deve ser agrupado ou retirado é longo e recorrente, isto é, quando se achava que estava concluído, novamente noutra reunião voltada à mesa de discussão e ocorriam novas alterações quanto à inclusão ou exclusão e também quanto à forma de redação do mesmo.

Para estabelecer as relações entre as necessidades e requisitos e entre os requisitos, a equipe de projeto optou por utilizar a ferramenta da casa da qualidade – QFD, no seu primeiro desdobramento. Um dos aspectos que levaram a esta escolha, foi o fato desta ferramenta ser de conhecimento dos componentes e por ser de uso comum no processo de desenvolvimento

de produtos. Embora a equipe não tivesse clareza quanto sua aplicabilidade para desenvolvimento de um produto com características multidisciplinares como a bancada de ensaios.

A montagem da matriz QFD no seu primeiro desdobramento, conforme ilustrada na figura 40 (ampliada no apêndice B), foi feita utilizando um aplicativo de planilha eletrônica, seguindo o modelo descrito no capítulo 2, onde foram listadas na primeira coluna, as necessidades dos clientes classificadas segundo as áreas. Nas colunas subsequentes listaram-se os requisitos. A matriz central corresponde à região onde foram feitas as avaliações entre as necessidades dos clientes e os requisitos adotando-se uma escala de valores (0 – 1 – 3 – 5), no qual o valor zero significa que não há relação, enquanto o valor cinco significa que existe uma forte relação entre a necessidade e o requisito avaliado.

A região abaixo da matriz principal foi atribuída às grandezas físicas (unidades) dos requisitos com seus valores totais ponderados. A pontuação total ponderada permitiu classificá-los hierarquicamente. A penúltima coluna após a matriz principal foi utilizada para atribuir os pesos (variando de 1 a 5), dados pelos clientes em grau de importância ou prioridade. Menor valor menor prioridade, maior valor maior prioridade.

Este processo de análise entre as necessidades e requisitos na matriz principal, com finalidade de atribuir um valor à relação necessidade versus requisitos, envolve muita discussão entre os componentes da equipe de projeto. Isto resultou na atribuição do valor consensual ou no mais votado quando ocorreram discordâncias.

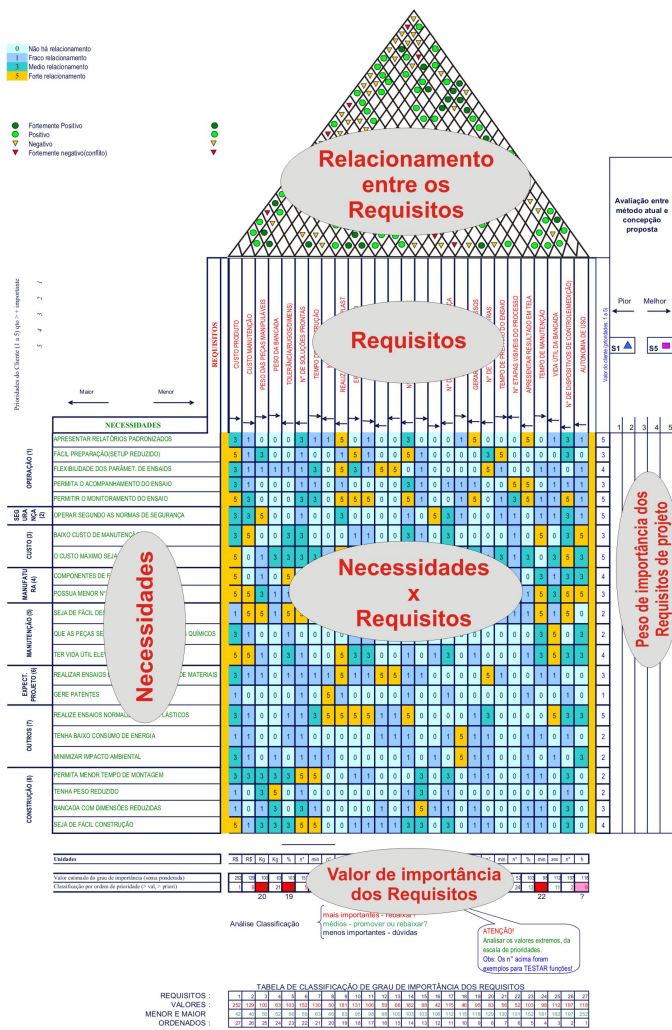


Figura 40 – Matriz da qualidade (QFD) da bancada para ensaios de fadiga.

Após conclusão desta fase, por sinal bastante extenso, por terem sido feitas 594 análises entre necessidades e requisitos (uma matriz 22x27) foi possível classificar os requisitos. Considerando uma média de 1,5 minutos por análise pode-se perceber que foram gastos em torno de 15 horas de debates divididas em cinco turnos de três horas. Com auxílio de uma planilha eletrônica calculou-se a média ponderada através da expressão 1, permitindo a hierarquização dos requisitos do projeto.

$$(1) V_{importância} = \sum_{i=1}^n P_{[pesos_clientes(1a5)]} \times GR_{[grau_de_relacionamento(0-1-3-5)]}$$

sendo n o número de necessidades listadas.

A inter-relação entre os requisitos foi feita através do telhado da QFD utilizando como simbologia o quadro da tabela 11 a seguir.

Tabela 11 – Simbologia de relação entre requisitos

●	Fortemente Positivo (desejável)
○	Positivo
▼	Negativo
▾	Fortemente negativo (conflito)

Esta análise estabeleceu o grau de relação entre os requisitos: negativo, fortemente negativo (conflitantes), positivo ou fortemente positivo (desejáveis). Como exemplo, pode ser visto na figura 41, que o requisito custo do produto tem uma relação fortemente negativa (conflitante) com o requisito número de dispositivos de controle, pois há uma contradição explícita entre eles, quando se aumenta o número de dispositivos de controle da máquina automaticamente aumenta-se o seu custo, o que não é desejável.

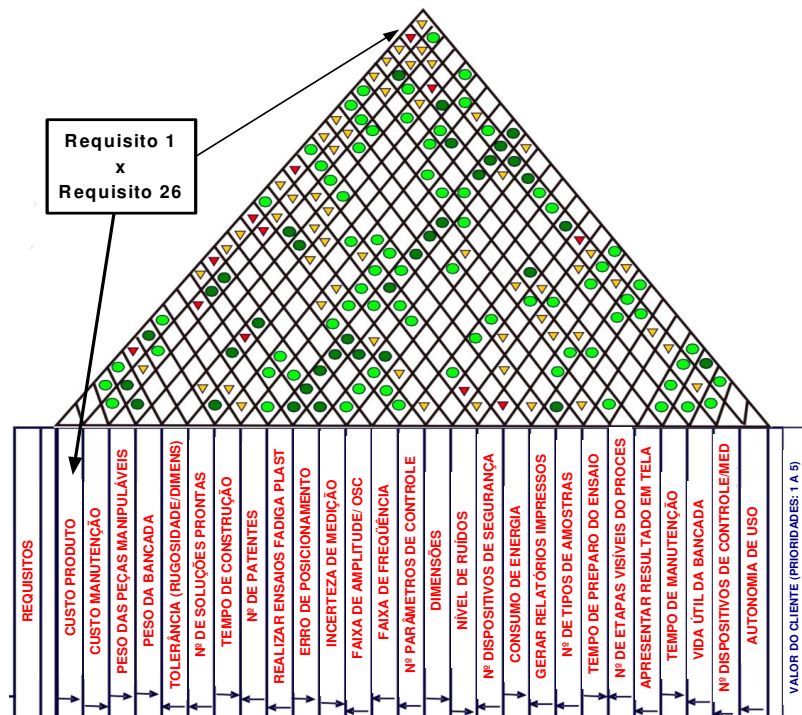


Figura 41 – Inter-relações no telhado da QFD da bancada para ensaios de fadiga.

Como pode ser visto na figura 41, a equipe de desenvolvimento precisou analisar as relações entre os requisitos para estabelecer suas prováveis contradições com objetivo de visualizar até que ponto uma característica exercia influência positiva ou negativa sobre a outra. Este processo facilitou o emprego de outra ferramenta de desenvolvimento que é a matriz contradição, ilustrada na tabela 12.

Tabela 12 – Matriz contradição (alguns requisitos da bancada).

Princípio - Descrição	Param. Eng ^a - Otimizar		Princípios Inventivos			
			2, 22	27		
2. <u>Extração</u> : extraia (remova ou separe) uma parte ou propriedade indesejável			5, 28	29		
5. <u>Combinando</u> : combine no espaço e tempo objetos homogêneos ou que destinam a operações contínuas			24		28	
6. <u>Universalidade</u> : ter um objeto capaz de executar múltiplas funções eliminando a necessidade do uso de outros objetos		6	25, 27			27
22. <u>Converter dano em benefício</u> : utilize fatores ou efeitos ambientais prejudiciais para obter efeito positivo	Param. Eng ^a - Conflitante	Volume do Produto	Quantidade de Subistemas	Complexidade dos Dispositivos	Complexidade de controle	
25. <u>Auto-serviço</u> : faça o objeto se auto reparar e mantenha as operações suplementares e de reparo. Utilize material e energia perdida						
27. <u>Descartável-barato ao invés de Caro-durável</u> : substitua um objeto caro por uma coleção de barato deixando de lado propriedades, como por exemplo: longevidade						
28. <u>Substituição de sistema mecânico</u> : substitua um sistema mecânico por: óptico, acústico. Utilize campo elétrico, magnético para interagir com objetos.						
29. <u>Construção pneumática ou hidráulica</u> : substitua as partes sólidas por líquidos e gases. Podem ser utilizados ar ou água para inflar objetos						
	Conflitantes					

Nesta fase também, ao aplicar-se o ferramental da TIPS (Teoria das soluções inventivas de problemas), que é composta por um conjunto de ferramentas, dentre elas, a matriz contradição, foi possível levantar alguns princípios inventivos para solucionar as prováveis contradições entre os requisitos do projeto. Por exemplo, para otimizar o parâmetro produtividade conflitante com a quantidade de subsistemas, poder-se-ia fazer uso dos princípios 25 (auto-serviço) e/ou 27 (Descartável-barato ao invés de Caro-durável).

Contudo, por decisão da equipe de projeto, em face da necessidade de se obter uma concepção do produto com maior rapidez, a fim de apresentar projeto a órgãos financiadores, a implementação dos princípios inventivos foi preterida para um momento futuro do projeto. Embora, para este trabalho o aproveitamento da ferramenta num produto de características mecatrônicas seja de grande valor experimental. E seu uso serve de base para elaboração da matriz morfológica do produto.

Para construir esta matriz foi necessário seguir basicamente os seguintes passos:

1. Identificar o problema, estabelecer a função principal, no caso, realizar ensaios de fadiga. Identificar quais os requisitos: Fortemente positivos (desejáveis) e fortemente negativos (contraditórios).
2. Reformular o problema em termo das contradições. Para tanto, utilizou-se o telhado da matriz QFD na análise das contradições.
3. Associar os requisitos aos parâmetros de engenharia.
4. Buscar uma solução análoga e adaptá-la ao problema do projeto.

A equipe de projeto detectou conforme listado na tabela 12, através da análise do telhado da QFD, alguns problemas conflitantes e classificou-os dentro dos parâmetros da matriz contradição. Isto permitiu que a equipe identificasse dificuldades que futuramente poderiam inviabilizar a manufatura do produto.

Esta fase informacional concluiu-se com as possíveis especificações técnicas do produto, apresentadas na tabela 13, que viabilizarão futuras considerações no desenvolvimento do projeto, em particular na avaliação das concepções criadas.

Tabela 13 – Especificações do projeto em ordem de importância

Requisito projeto	Metas (n°)	Observações	Saída desejável	Saída indesejável
Realizar ensaios de fadiga	1	Requisito funcional	A máquina aplique os ciclos de flexão	Os mecanismos móveis não apliquem ciclo de flexão
Custo do produto	2		Menor que R\$ 50.000,00	Acima de R\$ 50.000,00
Erro de posicionamento	3	Requisito funcional	Menor que o estabelecido nas normas da ASTM	Não conseguir posicionar os mecanismos no ponto desejado
Incerteza da medição	4	Requisito funcional	Menor ou igual ao estabelecido nas normas da ASTM	Incerteza maior do que 3%
Gerar relatórios	5	Requisito funcional	Emitir relatórios	Não ter resultados para análise
Faixa de amplitude	6	Requisito funcional	Maior ou igual do que a estabelecida nas normas da ASTM	Inferior ao estabelecido pelas normas da ASTM
Faixa de frequência	7	Requisito funcional	Maior ou igual do que a estabelecida nas normas da ASTM	Inferior ao estabelecido pelas normas da ASTM
Apresentar resultado em tela	8	Requisito funcional	Mostrar dados do ensaio	Não obter dados em tempo real
N° de soluções prontas	9		Maior n° possível	Ter que fabricar todos os componentes
N° de dispositivos de controle	10		Maior n° possível	N° insuficiente para levantar os dados
N° de parâmetro de controle	11		Maior n° possível	N° insuficiente para levantar os dados
Tempo de construção	12		Menor do que seis meses	Maior do que seis meses

Requisito projeto	Metas (n°)	Observações	Saída desejável	Saída indesejável
Custo de manutenção	13		Baixo custo	Alto custo que inviabilize operação contínua
Autonomia de uso	14		Maior do que dez anos	Menor do que cinco anos
N° de dispositivos de segurança	15		Evitar acidentes na operação e manuseio	Insegura no manuseio e operação
Vida útil da bancada	16		Maior que o tempo de deságio	Menor que o suficiente para pagar desenvolvimento e construção
Peso das peças manipuláveis	17		Não ultrapasse 5 Kg	Peças com peso maiores do que 5 Kg
Peso da bancada	18		Menor do 150Kg	Muito pesada e não permita mobilidade
Tolerância (rugosidade/dimensional)	19		Menor ou igual a $(0,001\pm 3\%)_{in}$	Maior do que $(0,001\pm 3\%)_{in}$
Dimensões	20		Menor do que 1 m ³	Acima de 1 m ³
N° de tipos de amostras	21		Maior quantidade possível	Não atender aos plásticos mais usuais
Tempo de manutenção	22		Menor tempo possível	Muitas paradas para manutenção
Tempo de preparo do ensaio	23		Menor tempo possível	Longo tempo de preparo
N° de etapas visíveis do processo	24		Maior quantidade com segurança	Não permitir visualizar o funcionamento
N° de patentes	25		Maior n° possível	Não gerar pelo menos uma patente
Consumo de energia	26		Menor possível	Alto consumo inviabilizando os ensaios
Nível de ruído	27		Abaixo 64dB	Muito ruído necessitando proteção auricular

Com base nestas especificações do produto, a equipe partiu para o desenvolvimento das análises funcionais do produto, dando início ao projeto conceitual.

2.2 Projeto Conceitual

Uma visão geral das fases metodológicas do projeto conceitual após estabelecimento das especificações com suas saídas desejáveis e indesejáveis (ou restrições) consiste em: estabelecer a estrutura funcional com a função principal e suas funções alternativas (subfunções); pesquisar os princípios de soluções através dos vários métodos de busca (intuitivos, discursivos ou convencionais); combinar os princípios de soluções de modo a obter um produto ótimo; selecionar as combinações (ou concepções) e avaliá-las através de diferentes técnicas, para obter àquela que melhor se aproxima das especificações do projeto e necessidades dos clientes.

Deste modo, a etapa inicial da concepção partiu da análise funcional do produto, que mostra o desempenho deste em executar com êxito sua principal finalidade (realizar ensaios de fadiga). Para tanto, optou-se pela ferramenta da síntese funcional, no qual a função global (Total), no exemplo abordado “**realizar ensaio de fadiga**”, deve ser decomposta em subfunções parciais e específicas que permitam descrever cada passo do produto em desenvolvimento, com suas interações entre usuários e meio ambiente, entradas e saídas (produto, energia e informação), conforme ilustra a figura 42.

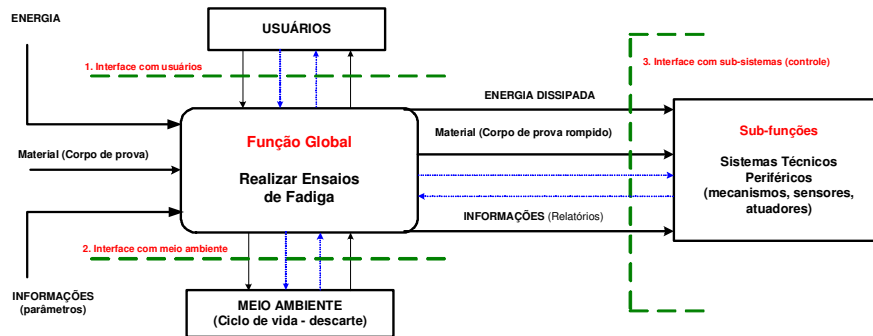


Figura 42 – Esquema genérico da análise funcional.

No bloco principal têm-se a função do sistema de forma compacta e abstrata que estabelece uma interface com o usuário, os sistemas técnicos periféricos e o meio ambiente. O usuário fixa o corpo de prova, configura os valores característicos do ensaio, liga a máquina etc. Os sistemas técnicos acionam os mecanismos, lê os sensores, acumula e atualiza os dados etc. Enquanto o meio ambiente sofre as ações de funcionamento da máquina quanto ao ruído, aumento de temperatura, agentes corrosivos e delinea o tempo de vida do produto. Assim o problema fica formulado através de sua função global e com suas condições de contorno restritivas através das entradas e saídas de cada subsistema.

O desenvolvimento da estrutura funcional de um produto novo não é tarefa trivial. E as dificuldades começam quando se tenta arranjar as funções que descrevem a funcionalidade do produto. Na prática, depende muito da experiência da equipe de projeto, na intuição, julgamentos próprios, pesquisa exaustiva e, em último caso empiricamente na tentativa e erro. A figura 43 apresenta o resultado parcial da análise funcional do sistema estudado. E, no apêndice A, têm-se a análise funcional completa da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.

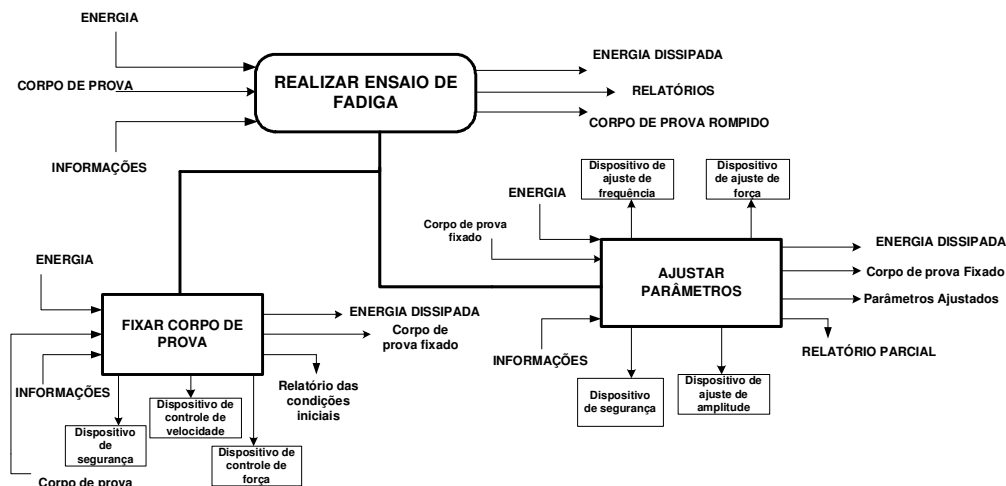


Figura 43 – Análise funcional, parcial, da bancada para ensaios de fadiga.

A construção da estrutura funcional da bancada para ensaios em fadiga baseou-se na experiência da equipe em projetos similares de desenvolvimento de produtos, numa pesquisa

exaustiva quanto aos processos de fadiga em materiais, artigos, teses e dissertações correlatas, e normas que estabelecem os parâmetros para controle do ensaio. Estes fatores foram sendo acumulados no projeto informacional e trazidos como base para construção desta nova etapa.

Em decorrência da decomposição da função global a equipe foi percebendo a partir das funções básicas, cada área distinta envolvida no projeto. Por exemplo: quando a subfunção ajustar parâmetros é especificado têm-se a clara noção que para executá-lo são necessários dispositivos elétricos e eletrônicos, que por sua vez dependem de controle de sinais de entrada e saída e uma camada de software que permita a interação dos mesmos com os usuários. Aqui os diferentes domínios da mecatrônica são destacados.

É, a partir desta fase de decomposição da função global, que Santos (2003) propõe uma maior integração da equipe de trabalho para que, de modo paralelo, desenvolva-se não somente o projeto físico e mecânico, mas também o desdobramento do sistema de controle do produto mecatrônico em estudo. Como a equipe de projeto não tinha recursos humanos de todas as áreas, buscou-se o conhecimento de especialistas nas áreas de computação, controle industrial e engenharia elétrica. Estes não participaram das fases iniciais do projeto, entretanto, puderam contribuir identificando na estrutura de funções aqueles princípios relacionados a aspectos eletroeletrônicos e de controle dos subsistemas de ajuste de parâmetros e aplicação dos ciclos de ensaio.

Estes especialistas, após reunir e debater os questionamentos e dúvidas com a equipe de projeto, propuseram algumas soluções tecnológicas já disponíveis no mercado. Além de sugerir que a equipe concluísse o projeto mecânico, para de posse de uma concepção física discutir o projeto eletrônico e de controle da máquina.

Este fato vem corroborar para as observações de Santos (2003), já apresentados no capítulo 2, onde do ponto de vista do especialista em automação é natural que o sistema de controle tenha início após a concepção de uma planta física (produto). Contrapondo assim, o princípio básico da engenharia simultânea de buscar desenvolver produtos de modo concomitante e não seqüencial.

Ao concluir a análise (síntese) funcional pôde-se ter uma visão geral do funcionamento da bancada de ensaios, ainda que uma concepção não tenha sido proposta. Sabe-se o que cada subsistema irá desempenhar com as prováveis interfaces dos subsistemas, contudo, a forma e os mecanismos (sensores, atuadores, controladores) ainda são *'desconhecidos'*. Ou melhor, parcialmente desconhecidos, pois, a experiência e formação da equipe levam intuitivamente a propor mecanismos e soluções pré-existentes no dia-a-dia da indústria, e, de certo modo já validados pelo uso comum.

A etapa seguinte consistiu em gerar idéias de mecanismos (dispositivos) que permitam executar cada função elementar do produto. As sugestões foram agrupadas numa matriz que é denominada: matriz morfológica. Estas informações foram desenvolvidas através da técnica de *'brainstorming'*, com o propósito de estimular a criatividade da equipe em sugerir princípios de soluções. A figura 44 apresenta um exemplo parcial da matriz morfológica da bancada de ensaios, no qual, a função "fixar corpo de prova" para ser atendida precisa especificar: o tipo de dispositivo de fixação, o controle de velocidade e força, o dispositivo de segurança etc.

Neste processo de construção da matriz morfológica, os componentes da equipe de projeto foram sugerindo mecanismos já utilizados na sua prática diária, princípios de solução e dispositivos que pudessem executar cada função em destaque. Neste momento não se descartou qualquer princípio de solução, pois, a tendência natural é criticar soluções idealistas ou simplistas, o que inibiria a criatividade de propor novos princípios inventivos. Pois, a finalidade desse passo foi obter o maior número de soluções para cada função elementar.

No apêndice C é apresentada a matriz morfológica da bancada de ensaios com todos os subsistemas propostos.

































MATRIZ MORFOLÓGICA									
Função	Sub-sistema	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4	Solução 5	Solução 6	Solução 7	
FIXAR CORPO DE PROVAS	DISPOSITIVO DE ACIONAMENTO	 manual (mecânico)	 botão elétrico	 pedaleira hidráulica	 botão hidráulico	 alavanca			
	DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO	 garra	 mandril	 cunha	 parafuso-porca	 tipo castelo	 rasgo em CP para desloc.	 garra com mov horizontal	
	DISPOSITIVO DE CONTROLE DE VELOCIDADE	 engrenagens	 motor de passo	 manual	 dispositivo hidráulico	 válvulas	 engrenagens + parafuso sem fim		
	DISPOSITIVO DE CONTROLE DE FORÇA PARA FIXAÇÃO	 torquímetro	 sensor - strain gauge	 mola - dinamômetro	 deslocamento				
	DISPOSITIVO DE POSICIONAMENTO DO CORPO DE PROVA	movimentação do dispositivo de fixação				movimentação da parte motora			
		 barramento manual	 eng e sem fim	 cremalheira e sem fim			 barramento manual	 eng e sem fim	 cremalheira e sem fim
DISPOSITIVO DE SEGURANÇA	 trava porta	 capela	 sensor de toque - fim de curso	 sem controle					

Figura 44 – Matriz morfológica da bancada, subsistema: fixar corpo de prova.

A partir das soluções individuais de cada função e por meio de suas combinações foram geradas as concepções do produto. Cada concepção gerada apresentou características próprias: inovação tecnológica, praticidade ou simplicidade de fabricação, alto grau de automação etc. Contudo, todas geraram discussões quanto suas características e confrontadas com as necessidades dos clientes e os requisitos desejáveis do produto, propiciaram um rico debate envolvendo uma técnica argumentativa de defesa, crítica e valoração, que levou a pelo menos uma concepção viável para dimensionamento e especificações.

É evidente que o conhecimento, por parte da equipe de projeto, dos princípios inventivos propostos por Altshuller propiciaria uma caracterização mais formal, racional e completa dos princípios gerados. Contudo, a experiência e formação da equipe de projeto foram suficientes para geração dos princípios de solução e concepções.

A figura 45 ilustra, através das setas, o processo de geração das concepções. Como exemplo, pode-se verificar na concepção 2 que: o subsistema “fixar copo de prova” será acionado por um botão elétrico, posicionado por uma garra, com controle de velocidade através de um conjunto redutor de engrenagens, tendo como controlador de força um sistema de molas com escala, será posicionado através de um barramento horizontal e terá como dispositivo de segurança uma trava de posição.

O subsistema “ajustar parâmetros” terá um servo motor para aplicar amplitude, com um torquímetro para ajuste da força, um foto sensor como dispositivo de segurança e apresentará os parâmetros através de um monitor gerenciado por software. O subsistema “aplicar ciclos” terá como dispositivo de controle de tensão um sistema de engrenagens e parafuso sem fim, controlado por um motor de passo, tendo a temperatura da amostra monitorada por um termômetro de radiação.

Os ciclos serão contados e armazenados através de encoder, tendo como dispositivo de segurança uma câmera que fornecerá imagens do processo para disparar alarme e os relatórios (informações) serão mostrados num sistema computacional que por sua vez enviará os resultados para serem impressos (subsistema “gerar relatórios”).

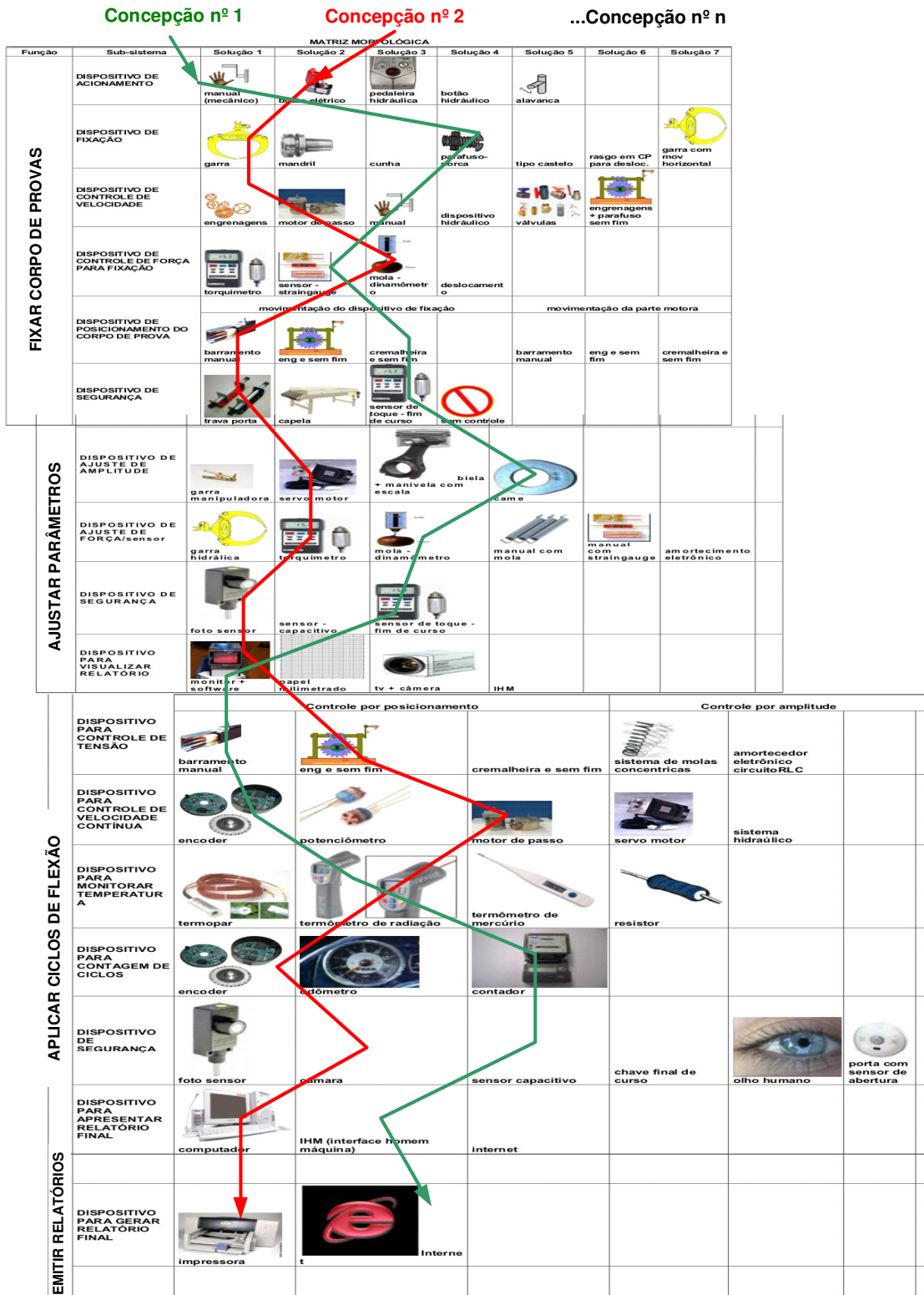


Figura 45 – Geração de concepções a partir da matriz morfológica.

A concepção escolhida após passar por um processo de seleção e avaliação terá o corpo de prova fixado manualmente através de guias e com parafusos, o controle de velocidade e força também será manual onde as guias estabelecem o fim do curso. O posicionamento será por meio de barramento horizontal com travas de segurança. O processo

de ajuste da amplitude e força será feito através de um sistema de eixos com excentricidade atuando numa haste vazada para permitir variação dos parâmetros de controle. Os sensores de posição (foto sensor) e carga (célula de carga) permitem monitoramento, cujos dados são captados por uma placa de aquisição conectada a um sistema computacional que permitirá configurar os parâmetros, via software.

O atuador de controle da tensão será um sistema de eixos sem fim acionados por um motor de passo, tendo um servo motor para aplicar e controlar a velocidade de rotação para aplicação dos ciclos. A temperatura será monitorada por um termômetro de radiação, enquanto a contagem e controle dos ciclos de ensaio serão registrados num contador do sistema de aquisição e tratados por software. A segurança será monitorada por foto sensores e de fim de curso. Todo sistema será monitorado via software, num modelo de camadas, apresentando relatórios parciais e totais num monitor de computador e também com possibilidade de serem impressos.

De posse desta concepção, e com os parâmetros de controle explicitados, algumas modelagens físicas foram estabelecidas, conforme mostra a figura 46.

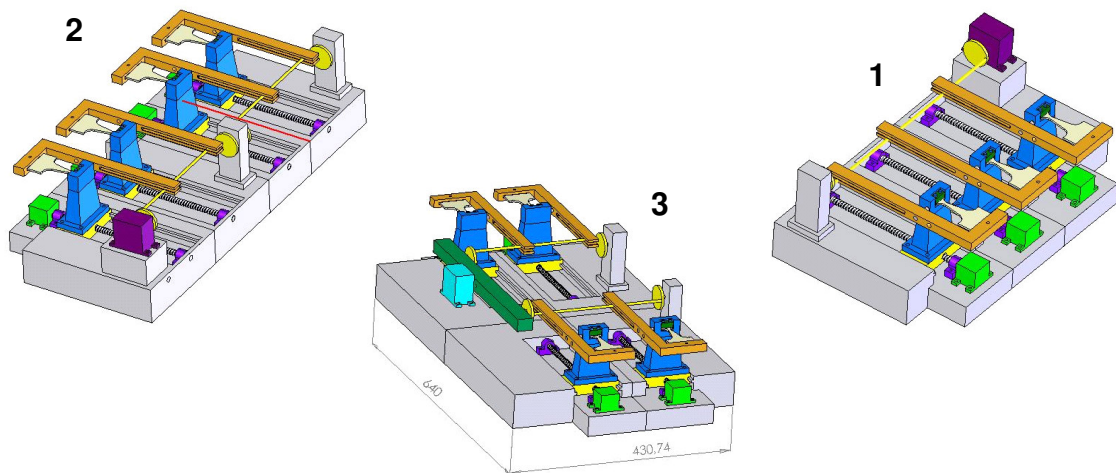


Figura 46 – Primeiras modelagens para concepção da bancada para ensaios de fadiga.

Basicamente estas concepções modeladas possuem o mesmo princípio de funcionamento, no qual um motor elétrico, servo assistido, entrará em rotação acionando um disco com um eixo excêntrico. Este eixo excêntrico estará engastado no rasgo de uma haste, que por sua vez flexionará o corpo de provas fixo em sua extremidade. O ajuste da força e amplitude será implementado por meio de um fuso, que acionado por um motor de passo, deslocará a coluna juntamente com o corpo de provas e a haste. As mudanças estão mais relacionadas à disposição dos mecanismos e a quantidade de corpo de provas a serem ensaiados.

Para se chegar a um consenso sobre qual o mecanismo, atuador, sensor etc., cada concepção passou por processo de valoração, comparação e tomada de decisões conforme abordagem da metodologia de seleção das alternativas que aplica as técnicas de verificar a viabilidade de manufatura, econômica etc., ou seja, o conceito é viável, condicionalmente viável ou inviável. A disponibilidade tecnológica que permite verificar se a tecnologia que será empregada na concepção está disponível e se está consolidada. A análise da matriz passa – não passa, baseado nas necessidades dos clientes permite avaliar os pontos fracos de um conceito e modificá-lo ajustando melhor ao problema. Isto foi verificado na concepção 1 da

figura 46, onde o eixo para aplicar os ciclos de flexão estaria sujeito a grandes tensões e teria que ter uma dimensão que inviabilizaria a aplicação dos ciclos.

E por fim a técnica da matriz avaliação ou método de Pugh, apresentada na tabela 14, que permite mensurar o quanto um conceito é capaz de atender as necessidades dos clientes. Aqui mais uma vez preponderam à experiência dos projetistas seguido do estado da arte, balizado pelas necessidades e requisitos do produto.

Tabela 14 – Matriz avaliação para diferentes concepções.

Necessidades de Projeto	Peso	1ª Conc	2ª Conc	3ª Conc	5ª Conc	6ª Conc
APRESENTAR RELATÓRIOS PADRONIZADOS	5	R	M	+	M	M
FÁCIL PREPARAÇÃO(SETUP REDUZIDO)	3	E	+	+	+	+
FLEXIBILIDADE DOS PARÂMET. DE ENSAIOS	4	F	+	+	+	+
PERMITA O ACOMPANHAMENTO DO ENSAIO	3	E	+	+	+	+
PERMITIR O MONITORAMENTO DO ENSAIO	5	R	+	+	+	+
OPERAR SEGUNDO AS NORMAS DE SEGURANÇA	5	Ê	-	+	-	-
BAIXO CUSTO DE MANUTENÇÃO	3	N	-	M	-	-
O CUSTO MÁXIMO SEJA R\$ 50.000,00	5	C	M	M	-	-
COMPONENTES DE FÁCIL FABRICAÇÃO	4	I	-	M	-	-
POSSUA MENOR N° E VARIEDADE DE PEÇAS	3	A	-	-	-	-
SEJA DE FÁCIL DESMONTAGEM	2		M	M	M	M
QUE AS PEÇAS SEJAM RESISTENTES A ATAQUES QUÍMICOS	2		M	M	M	M
TER VIDA ÚTIL ELEVADA	4	R	+	+	+	+
REALIZAR ENSAIOS EM GRANDE VARIEDADES DE MATERIAIS	3	E	+	+	+	+
GERE PATENTES	1	F	M	+	M	M
REALIZE ENSAIOS NORMALIZADOS EM PLÁSTICOS	5	E	+	+	+	+
TENHA BAIXO CONSUMO DE ENERGIA	2	R	+	M	+	+
MINIMIZAR IMPACTO AMBIENTAL	2	Ê	M	M	M	M
PERMITA MENOR TEMPO DE MONTAGEM	2	N	-	-	-	-
TENHA PESO REDUZIDO	2	C	+	M	+	+
BANCADA COM DIMENSÕES REDUZIDAS	3	I	+	+	+	+
SEJA DE FÁCIL CONSTRUÇÃO	4	A	-	M	-	-

TOTAL +			10	11	10	10
TOTAL -			6	2	7	7
TOTAL GLOBAL			4	9	3	3
PESO TOTAL		0	13	36	8	8
	Legenda:		escolha			
	Igual:	"M" = 0				
	Pior:	"-" = -1				
	Melhor:	"+" = 1				

Após definida a concepção, foi realizada a modelagem da máquina em software de CAD. Para tanto, pode-se utilizar uma grande variedade de ferramentas computacionais que auxiliam os engenheiros e projetistas no cálculo e modelagem de cada subsistema e suas interfaces, tais como: as ferramentas de CAD, CAE, CASE, Diagrama de blocos, Delphi®, circuitmaker, SimuPLC211, VisObjNet, UML, MATLAB, SLAM, POWERSIM etc.

Entretanto, convém ressaltar que a concepção gerada no processo sofreu várias modificações em sua modelagem 3D, pois, durante essa fase foram identificadas através do uso da DFMA várias condições que poderiam ser otimizadas, e que somente foram detectadas na fase preliminar do projeto.

2.3 Projeto Preliminar

Os passos metodológicos do projeto preliminar para se estabelecer o leiaute do produto envolvem: identificar os requisitos determinantes para a produção das formas e leiaute, fazer os desenhos em escala, identificar os executores dos requisitos funcionais, desenvolver as soluções para estas funções e selecioná-las. Seguir os mesmos passos para as funções auxiliares e integrá-las às funções principais. Por fim, otimizar as soluções verificando os fatores de perturbação e erros, completar os desenhos e estabelecer a lista preliminar das partes.

Enfim, a etapa do projeto preliminar, que consistiu em transformar uma concepção abstrata (conceitual) em algo concreto (real), englobou o dimensionamento de todos os subsistemas com seus respectivos componentes e a seleção dos materiais a serem utilizados na sua fabricação. Esta tarefa deve ser desenvolvida baseada na experiência dos projetistas com um grande conhecimento técnico e embasamento teórico de inúmeros assuntos que formam o escopo do conhecimento das engenharias.

Durante o projeto preliminar de um produto a equipe confrontou-se com diversas subáreas da engenharia, tais como: materiais, cálculo estruturais, mecanismo, elementos de máquinas, dispositivos de controle e medições. Além de propiciar o contato, por meio de pesquisa de preços, com constantes inovações tecnológicas já disponíveis no mercado, apropriando-se dos avanços da internet, onde um grande número de empresas já disponibiliza seus catálogos em meio digitais. Este fator permite inclusive reestruturar elementos da concepção gerada visando melhorias sistemáticas no produto.

2.3.1 Projeto mecânico dos componentes

Nesta fase, a equipe de projeto estabeleceu o ponto inicial de dimensionamento da bancada como sendo o elemento atuador do movimento de flexão, que foi a haste de aplicação de ciclos, visto que este mecanismo está diretamente ligado à aplicação dos esforços, forças,

tensões, momentos e amplitude de deslocamentos aplicados ao corpo de prova. Como a haste representa uma alavanca interfixa, conforme ilustração da figura 47a e 47b, respectivamente, foi feito o dimensionamento do comprimento ($d + D$) necessário para permitir a variação de amplitude (deslocamento $X - Y$) mínima e máxima no corpo de prova, envolvendo os diversos tipos de materiais plásticos que a bancada poderá ensaiar.

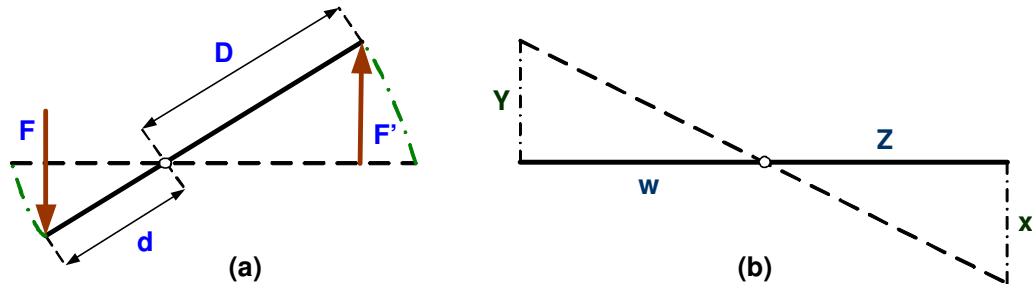


Figura 47 – Diagrama de corpo livre da haste (alavanca interfixa).

Durante o dimensionamento do comprimento da haste, verificou-se uma contradição entre os parâmetros envolvidos. Como os ciclos de flexão seriam aplicados através do deslocamento angular da haste, foi necessário avaliar qual deveria ser o comprimento mínimo considerando um material com menor valor de módulo de elasticidade e maior valor de tensão limite. Em outras palavras, há uma limitação do tipo de material que poderia ser ensaiado considerando o máximo valor de deflexão que poderia ser aplicada pelo equipamento. Entretanto, não foi possível resolver o problema de maneira simples uma vez que não necessariamente o material com maior tensão limite de ruptura teria o menor módulo de elasticidade.

Assim, quando foram considerados os valores extremos das propriedades supracitadas, as dimensões da haste calculadas ficaram muito grandes. A solução encontrada, baseada no uso da metodologia proposta por Ashby (1999), foi relacionar o módulo de elasticidade e a tensão última do material através dos valores de deslocamentos máximos da extremidade do corpo de provas, e utilizar o diagrama ilustrado na figura 48 para determinar o valor do comprimento da haste. Contudo, para adotar este procedimento, restringiu-se o uso do equipamento para ensaiar materiais no domínio dos termoplásticos mais usados nas engenharias.

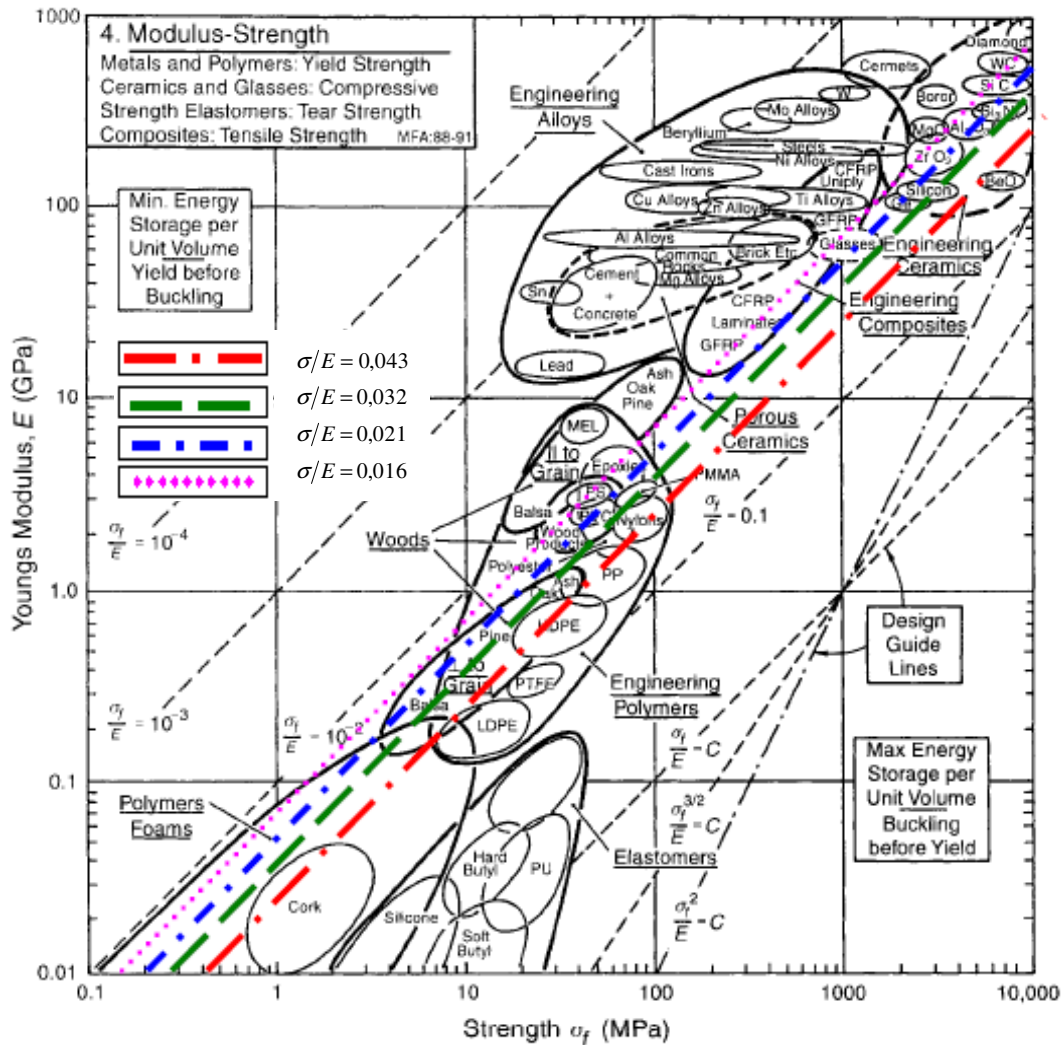


Figura 48 – Diagrama σ_f/E , Ashby (1999).

Os resultados permitem afirmar que é possível realizar ensaios de fadiga para os seguintes materiais: todos os polímeros de engenharia com exceção de alguns polietilenos de baixa e alta densidade, de alguns nylons, Poliésteres, Expoxie, PS, PVC e alguns LDPE, HDPE, PP e PTFE.

As escolhas do material para dimensionamento dos mecanismos foram feitas por meio dos catálogos e tabelas que tratam das ciências e engenharia dos materiais, onde conhecendo os esforços e propriedades desejáveis, como dureza, resistência à flexão, cisalhamento etc., pode-se verificar se existe produto disponível no mercado.

No exemplo da haste de aplicação de ciclos, após determinar os esforços e estabelecer um fator de segurança de ordem três, foi possível escolher o material de fabricação baseado nas tabelas (B4) do Callister (2002), cujo resultado está apresentado na tabela 15, a seguir.

Tabela 15 – Características do material da haste de aplicação de ciclos para bancada de ensaios

Material	Condições	Limite de escoamento (MPa)	Limite resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Liga de aço 1040	Laminado a quente	290	520	207

Para dimensionamento da carga que a haste deverá suportar foi levado em consideração o material do corpo de prova de maior tensão de escoamento (o ABS = 100MPa), assim como o tipo de esforço ao qual estará submetido, segundo a norma ASTM – D671 que normaliza os ensaios de fadiga em plásticos por flexão. Chegando-se as equações de resistência dos materiais que permitiram determinar a força máxima que será aplicada ao corpo de prova, conforme equações apresentada a seguir.

$$(2) \sigma = \frac{M * c}{I} = \frac{F * d * c}{I}, \text{ onde para uma seção retangular, temos:}$$

$$(3) I = \frac{b * h^3}{12}, \text{ sendo:}$$

- σ = Tensão de escoamento do material
 M = Momento fletor atuante na seção
 c = Distância da linha neutra até extremidade da seção transversal
 F = Força aplicada ao corpo de provas
 d = Distância da extremidade do corpo de provas até a seção de menor largura
 I = Momento de inércia da seção

A figura 49 apresenta as seções mais solicitadas do corpo de prova e da haste, enquanto a figura 50 mostra a haste de aplicação dos ciclos completamente dimensionada. Este processo foi sendo aplicado para cada mecanismo e pode ser visto em detalhes no trabalho final do curso de engenharia mecânica da UFBA, por Pimentel (2006).

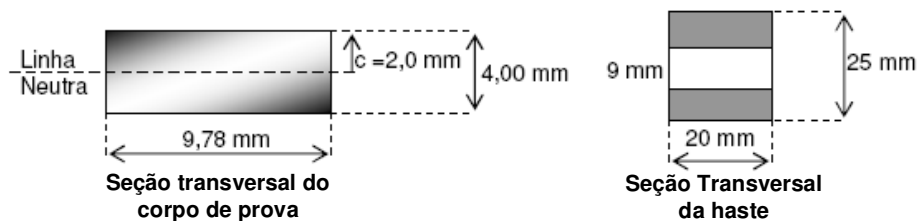
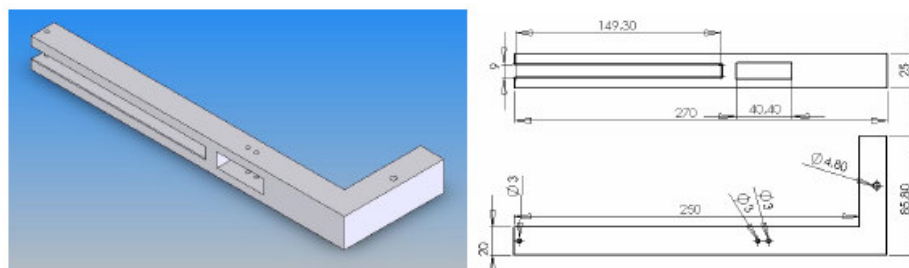


Figura 49 – Seções transversais mais solicitadas do corpo de prova e haste, respectivamente.



Haste para aplicação de ciclos

Figura 50 – Haste de aplicação dos ciclos para o ensaio de fadiga.

A concepção final da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, apresentada na figura 51, foi idealizada para realizar quatro ensaios simultâneos e independentes, seguindo as especificações levantadas no projeto informacional descritas neste trabalho. Em destaque apresentam-se alguns componentes mecânicos e elétricos que foram dimensionados e descritos de acordo com a legenda.

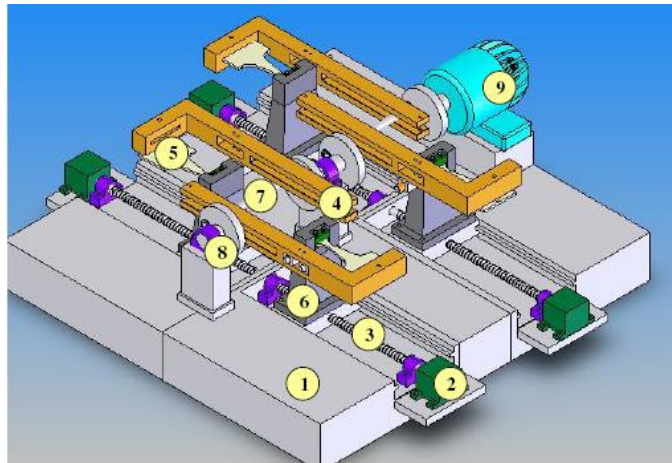


Figura 51 – Concepção da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.

1 – Bancada (base de fixação) – Tem como função sustentar a coluna de fixação do corpo de prova e da haste de aplicação dos ciclos de flexão e os demais componentes. A base de fixação sofre ação dos pesos dos componentes e do carregamento dinâmico. Foi escolhido o ferro fundido cinzento G4000, devido ao fato de que esse material é muito eficiente no amortecimento de energia vibracional, além de possuir elevada resistência ao desgaste, conforme ilustrado na figura 52.

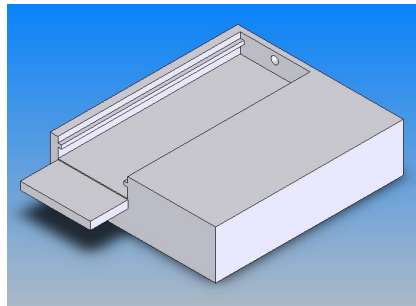


Figura 52 – Base da bancada.

2 – Motor de Passo – é o atuador responsável pelo deslocamento da coluna de fixação do corpo de prova. Este atuador possui uma grande precisão sendo capaz de girar entre $1,8^\circ$ a $0,72^\circ$ por passo. Ele permitirá o ajuste de amplitude e força que atuam no corpo de prova. O qual será transmitido por meio do fuso. Sua realimentação para os ajustes finos da máquina são provenientes dos sensores de carga e posição. A figura 53 apresenta um modelo bipolar.

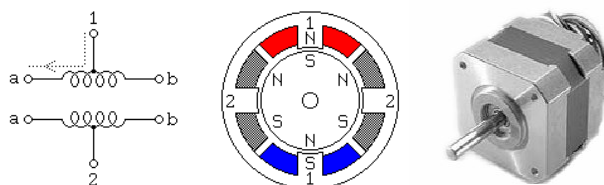


Figura 53 – Exemplo de um motor de passo da bancada.

3 – Fuso – Responsável pela transmissão do movimento do motor de passo para a coluna de fixação da haste, o qual permite variar a posição do excêntrico e conseqüentemente a amplitude e as forças sobre o corpo de prova, conforme figura 54.

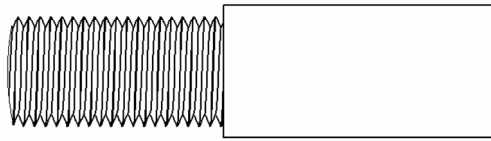


Figura 54 – Fuso.

4 – Haste de aplicação dos ciclos de ensaios – Fixada na coluna e no corpo de prova permite flexioná-lo a fim de produzir os ciclos do ensaio, conforme apresentado na figura 55.

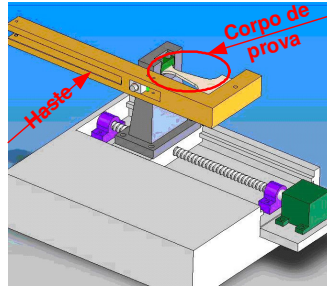


Figura 55 – Haste de aplicação dos ciclos.

5 – Coluna de fixação da haste – é o componente responsável pela fixação da peça e do eixo. Por ser um elemento de sustentação de componentes móveis e por ter um furo que gera uma região de muitos esforços, foi escolhido o ferro fundido cinzento G4000, devido ao fato de que esse material é muito eficiente no amortecimento de energia vibracional, conforme ilustra a figura 56.

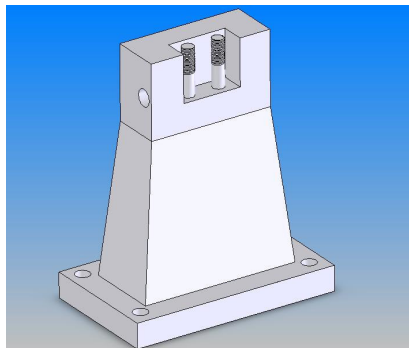


Figura 56 – Coluna de fixação da haste e corpo de prova.

6 – Eixo do excêntrico – Transmitirá o movimento circular do servo motor em movimento alternado junto a excentricidade do disco, conforme figura 57. Será fabricado com liga de aço 1040 laminado a quente, submetido a tratamento térmico superficial para aumentar a dureza e diminuir o desgaste.

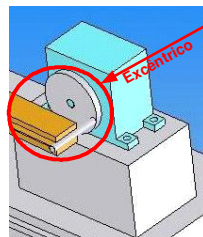


Figura 57 – Disco excêntrico para transmissão de movimento alternado.

7 – Mancal de rolamentos – Tem a função de apoiar os eixos de rotação do excêntrico e dos fusos na base da coluna. Facilitará a montagem e desmontagem e reduzirá o atrito no movimento, conforme mostra a figura 58.

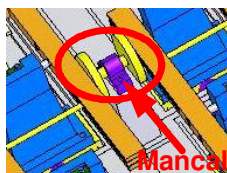


Figura 58 – Mancal de rolamento do eixo de aplicação de ciclos.

8 – Motor servo elétrico para acionamento – Atuador que aciona o eixo de rotação com o excêntrico. Permite alterar a frequência de rotação e conseqüentemente os ciclos de oscilação dos ensaios. Também será retro alimentado por sinais dos sensores de carga e posição a fim de manter constante a frequência durante o ensaio. A figura 59 apresenta um modelo dimensionado para a bancada.



Figura 59 – Servo Motor com controlador de frequência.

Outros componentes além dos supracitados, de dimensões menores foram especificados, mas não foram identificadas na legenda, como: eixo da haste/coluna (é o eixo que suporta e articula a haste na coluna de fixação), guia do eixo da haste/coluna (cuja função é variar a posição do eixo para adaptar o equipamento ao comprimento do corpo de prova a ser ensaiado), parafuso Allen (cuja função é impedir o deslocamento do guia citado anteriormente), bucha de bronze (é encaixada no eixo da haste/coluna para evitar o desgaste do eixo), guia da coluna de fixação (cuja função é movimentar a coluna de fixação por meio do fuso para modificar a amplitude de ensaio do corpo de prova) parafusos da coluna de fixação (para fixar a coluna no guia da coluna), dentre outros.

O mecanismo de transmissão do movimento rotatório do motor elétrico à haste sofreu modificação após aplicação dos princípios da ferramenta DFMA, reduzindo o número de componentes, de um sistema com três engrenagens redutoras acionando dois cames e uma haste, para um disco com eixo excêntrico. Estas mudanças otimizaram o acoplamento e facilitaram o processo de montagem, mantendo sua múltipla funcionalidade, conforme apresentada na figura 60, a seguir.

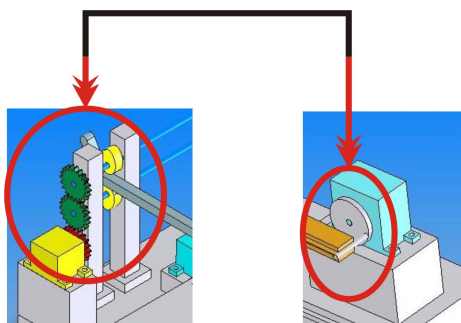


Figura 60 – Aplicação da ferramenta DFMA em mecanismo da bancada de ensaios.

A apresentação detalhada de todos os componentes com os referidos cálculos e simulação dos esforços utilizando métodos de elementos finitos por meio de software de CAE, tipo NASTRAN NX, FEMAP, ABAQUS etc., foram implementados e estão detalhados no trabalho final de curso de PIMENTEL (2006). Entretanto, ficaria bastante extenso apresentá-los aqui afastando assim do escopo deste trabalho.

2.3.2 Projeto de modelagem do sistema computacional pela UML

A modelagem do sistema computacional seguiu os princípios da linguagem simbólica orientada a objetos nos padrões da UML sendo implementada a partir da análise funcional, onde se conhecendo a funcionalidade de cada subsistema com suas relações, foi possível estabelecer um primeiro nível de estruturação com os respectivos diagramas de classes, caso de uso e seqüência de ação. Deste modo, buscou-se estabelecer a lógica da programação, identificando os parâmetros de entrada e saída de dados com seus atributos e métodos de atuação para cada classe, conforme apresentado nas figuras 61, 62 e 63.

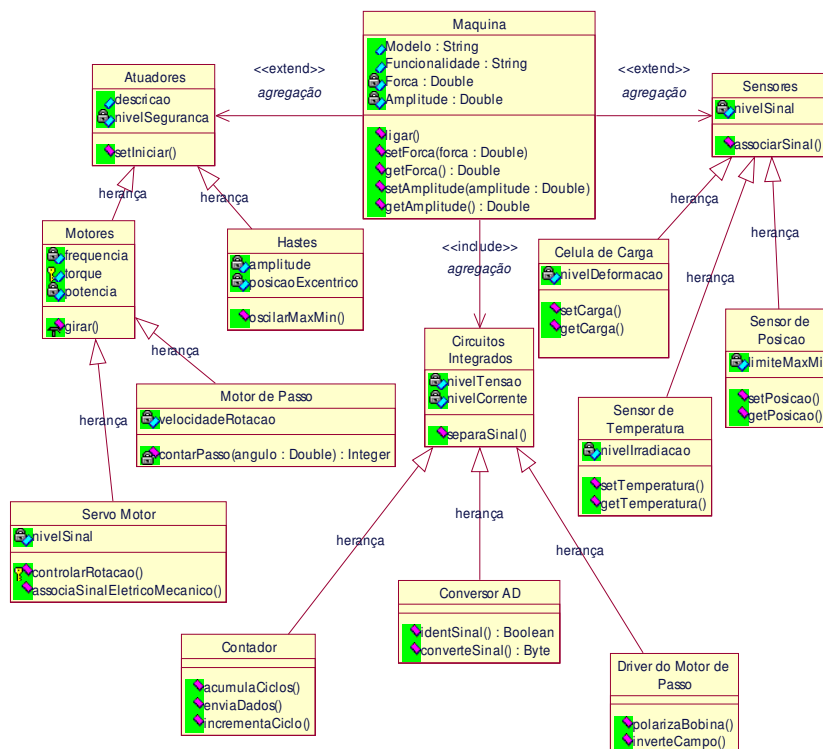


Figura 61 – Diagrama de classe (Bancada de ensaios).

Para estabelecer a modelagem parcial do sistema em UML, a equipe recorreu a um especialista em ciência da computação. Este teve acesso à análise funcional da bancada através de seu diagrama e de uma explanação sobre o projeto da bancada com os requisitos desejáveis para controle. O mesmo questionou sobre os dispositivos de sensoriamento e atuadores. Então, foi-lhe perguntado se era possível desenvolver a modelagem sem uma concepção física da máquina? A resposta foi positiva, entretanto, ele gostaria de saber mais detalhes do funcionamento do produto.

O diagrama de classe da bancada foi montado a partir da análise funcional onde se buscou identificar os objetos do produto e suas funcionalidades, de que modo estas se relacionam (por exemplo: herança), que tipo de ação (método) executa e com quais atributos (propriedades). Portanto, o diagrama de classe nos mostrou os aspectos estáticos e estruturais do sistema.

Convém destacar que a utilização das ferramentas de modelagem do sistema foram utilizadas aqui com o propósito de verificar sua aplicabilidade no processo de desenvolvimento do produto, não tendo a pretensão de descrever todo o sistema da bancada nem gerar os códigos de programação. Este processo em sua completude é bastante amplo e possivelmente poderá gerar outros trabalhos de dissertação.

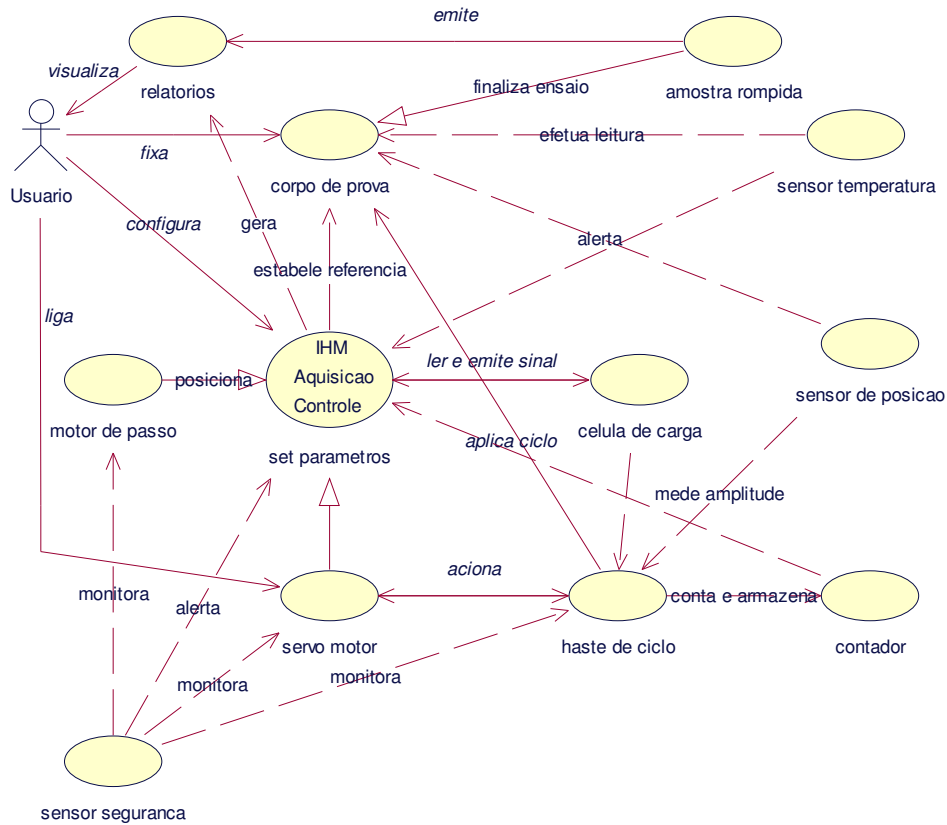


Figura 62 – Diagrama de Caso de uso (Bancada de ensaios).

O processo de construção dos diagramas foi feito juntamente com um componente da equipe de projeto, no qual ia esclarecendo dúvidas sobre as interfaces de relacionamento dos subsistemas, o que era fornecido na entrada, o que se esperava na saída e que tipo de sinais seria tratado. O diagrama de caso de uso parcial da bancada teve como finalidade principal mostrar esta inter-relação dos sistemas, ou seja, de que forma o sistema está interagindo com os usuários, que podem ser pessoas ou outros sistemas computacionais.

A figura 62 ilustra este processo que permitiu visualizar as múltiplas interações. Quanto mais detalhada forem descritas as relações, maior será a probabilidade do sistema em atender as diferentes requisições e consequentemente terá mais flexibilidade à implementação de mudanças.

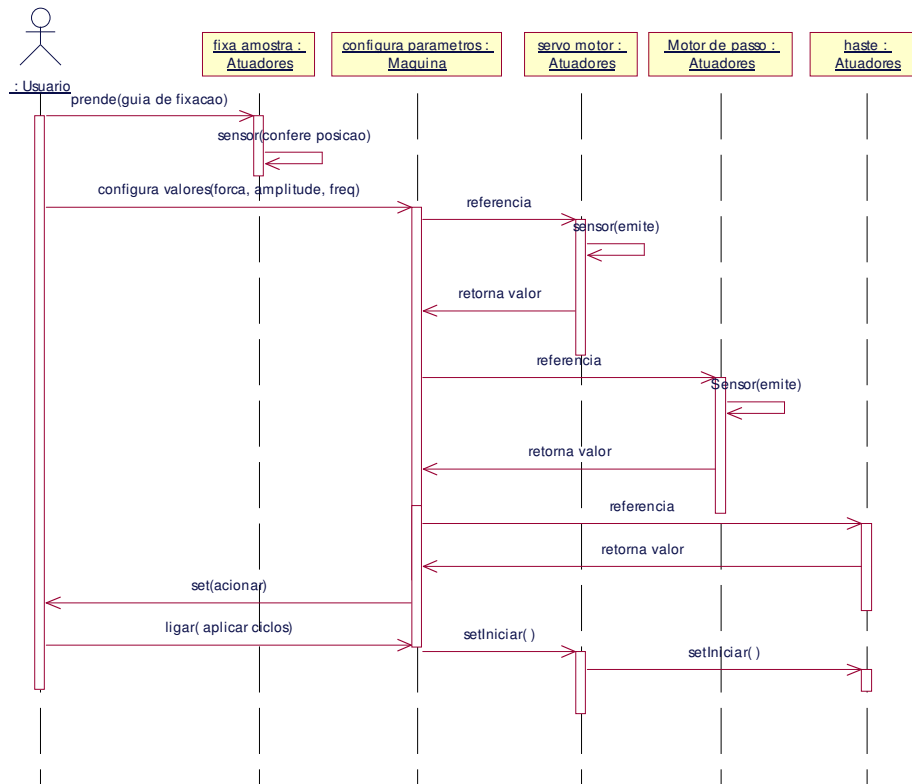


Figura 63 – Diagrama de seqüência (Bancada de ensaios).

A construção do diagrama de seqüência representou o desenvolvimento temporal do sistema, pois mapeou a seqüência de processos, mais especificamente, de mensagens passadas entre os objetos num programa de supervisão e controle do ensaio da bancada.

O diagrama de seqüência descreveu a maneira como os grupos de objetos colaboram em algum comportamento ao longo do tempo. No exemplo, foi registrado apenas o comportamento de um único caso de uso, portanto, quando existirem muitos 'atores', como no caso da bancada, será necessário construir vários diagramas de caso de uso. No exemplo da figura 63, verifica-se que ele exibiu os objetos e as mensagens passadas entre esses objetos. Esse diagrama é simples e lógico, a fim de tornar óbvios a seqüência e o fluxo de controle.

2.3.3 Projeto de modelagem do sistema de controle através das RdP

As redes de Petri como ferramenta matemática e gráfica permitiu uma visualização simultânea da estrutura e seu comportamento, mais especificamente os eventos, condições e suas relações. Ou seja, uma ocorrência de eventos que ocasionam as mudanças de estado do sistema, como por exemplo: quando o corpo de prova for rompido, o sistema deverá acionar algum dispositivo de segurança ou alarme etc., que por sua vez levará a máquina ao estado de repouso.

Ao se modelar o sistema através de uma rede de Petri criou-se necessariamente uma interpretação da Rede (RdP). Segundo Barros (1996), as redes de Petri não apenas fornecem uma representação da estrutura e funcionamento de um sistema, mas também permitem visualizar seu comportamento por meio do "movimento" das marcas capturando a dinâmica do sistema e tornando-as úteis nas simulações.

Para estabelecer a modelagem do subsistema de aplicação de ciclos da bancada para ensaios de fadiga utilizou-se as redes de Petri temporalizada por meio da ferramenta de

modelagem Visobjnet++, desenvolvida pela equipe de projetos da Ilmenau University of Technology (Department of Automatic Control and Systems Engineering – Germany).

Os passos metodológicos para implementar a rede de Petri do subsistema da bancada: “aplicar ciclos de flexão” foi: 1. Identificar os recursos e ações do subsistema, 2. Estabelecer uma ordem cronológica para as atividades principais, 3. Criar a rede com seqüência básica, 4. Estabelecer as atividades intermediárias a fim de fechar o ciclo, e, por fim, 5. Colocar as marcações (fichas) começando pela marcação inicial.

Estes passos foram construídos a partir da análise funcional da bancada justamente para verificar a aplicabilidade da ferramenta independente de se ter uma concepção física do produto, apenas tendo conhecimento da funcionalidade de cada subsistema. Para tanto foi escolhido a subsistema “aplicar ciclos de flexão”, conforme ilustra a figura 64.

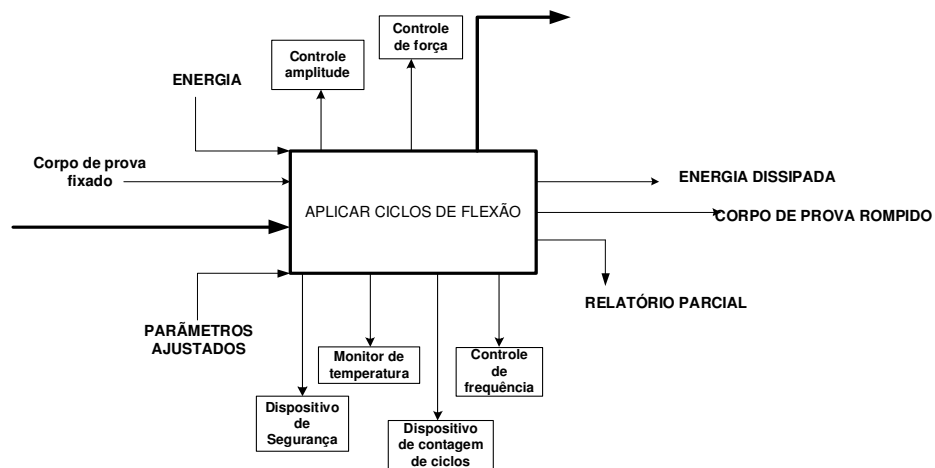


Figura 64 – Subsistema da bancada de ensaios: Aplicar ciclos de flexão.

O primeiro passo de identificação dos recursos e ações, com seus códigos, estão listadas na tabela 16, a seguir.

Tabela 16 – Rede de Petri: Identificação dos recursos e ações.

Código	Descrição – Recursos e ações	Obs.
C _{pf}	Corpo de prova fixado	
P _{aj}	Parâmetros ajustados	
B _a	Botão de acionamento	
R _s	Dispositivo de segurança	
R _t	Dispositivo de temperatura	
R _c	Dispositivo contador (+ buffer)	
R _a	Dispositivo controlador de amplitude	Motor de passo
R _f	Dispositivo aplicador de força (+ controle de força)	Motor de passo
R _{hz}	Dispositivo controlador de frequência	Servo motor
F _{cp}	Flexionador do corpo de prova	Haste
C _{pr}	Corpo de prova rompido	
R _{lt}	Relatórios	Monitor/IHM
B _d	Botão de desligamento	

O segundo passo consistiu na elaboração de uma ordem de atividades principais. Estas atividades seguiram o fluxo de entrada e saída do subsistema, onde se pode verificar que entram: energia, corpo de prova fixado mais parâmetros ajustados, e saem energia dissipada,

corpo de prova rompido mais relatórios parciais. Deste modo, têm-se as atividades listadas, com respectivos códigos, na tabela 17, a seguir.

Tabela 17 – Rede de Petri: Atividades principais ordenadas cronologicamente.

Código	Descrição – Atividades principais	Obs.
P1	C_{pf} e P_{aj} estão prontos	T1 e T2
P2	B_a liga o R_{hz}	T2 e T3
P3	R_{hz} aciona F_{cp}	T3 e T4
P4	F_{cp} flexiona C_{pf} e R_c no processo P11	T4 e T5
P5	C_{pf} rompe em C_{pr}	T5 e T6
P6	C_{pr} gera R_{lt}	T6 e T7
P7	C_{pr} aciona B_d que retorna a P1	T6 e T1

O terceiro passo consistiu em criar a rede de Petri com a seqüência de atividades principais, a qual é apresentada na figura 65.

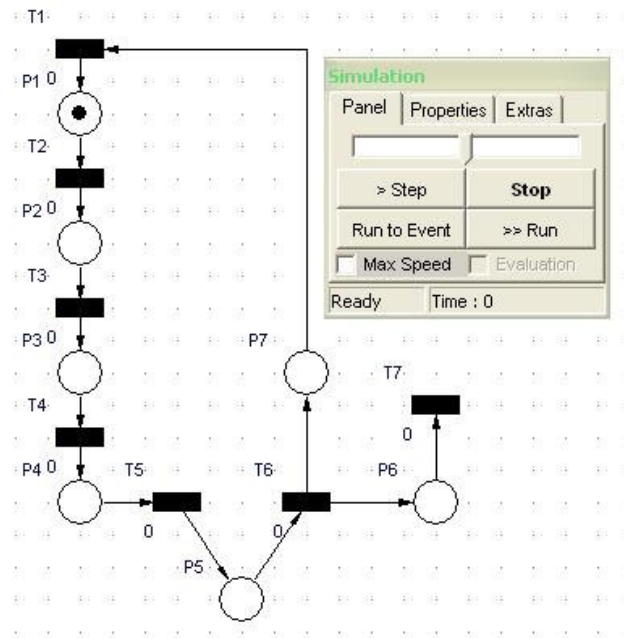


Figura 65 – Rede de Petri primária.

O quarto passo consistiu em estabelecer as ações intermediárias, a fim de fechar o ciclo de atividades do subsistema. Estas foram apresentadas na tabela 18, a seguir.

Tabela 18 – Rede de Petri: Atividades intermediárias.

Código	Descrição – Atividades intermediárias	Obs.
P8	C_{pf} aciona controle de amplitude R_a	T5 e T4
P9	C_{pf} aciona controle de força R_f	T5 e T4
P10	C_{pr} rompe e ativa R_s	T6 e T1
P11	F_{cp} ativa R_c	T4 e T6
P12	R_{lt} são mostrados no monitor ou IHM	T7

O quinto e último passo na construção da rede de Petri foi introduzir as marcações dos estados, representadas pelas fichas (círculos pretos), começando pela marcação inicial que

representa o estado inicial do sistema. Para tanto, foi considerado duas fichas no lugar P1 representando que o corpo de prova estava fixado e os parâmetros estavam ajustados para iniciar o ensaio. Uma ficha no lugar P8 e outra em P9 representando o controle da amplitude e força sobre o corpo de prova.

A rede de Petri foi simulada no programa Visobjnet++, sendo executado sem apresentar conflitos. Deste modo, pode-se verificar que é possível elaborar de maneira simultânea tanto o projeto físico quanto o de controle da bancada para ensaios de fadiga. A rede de Petri do subsistema “aplicar ciclos de flexão” é apresentada na figura 66, a seguir.

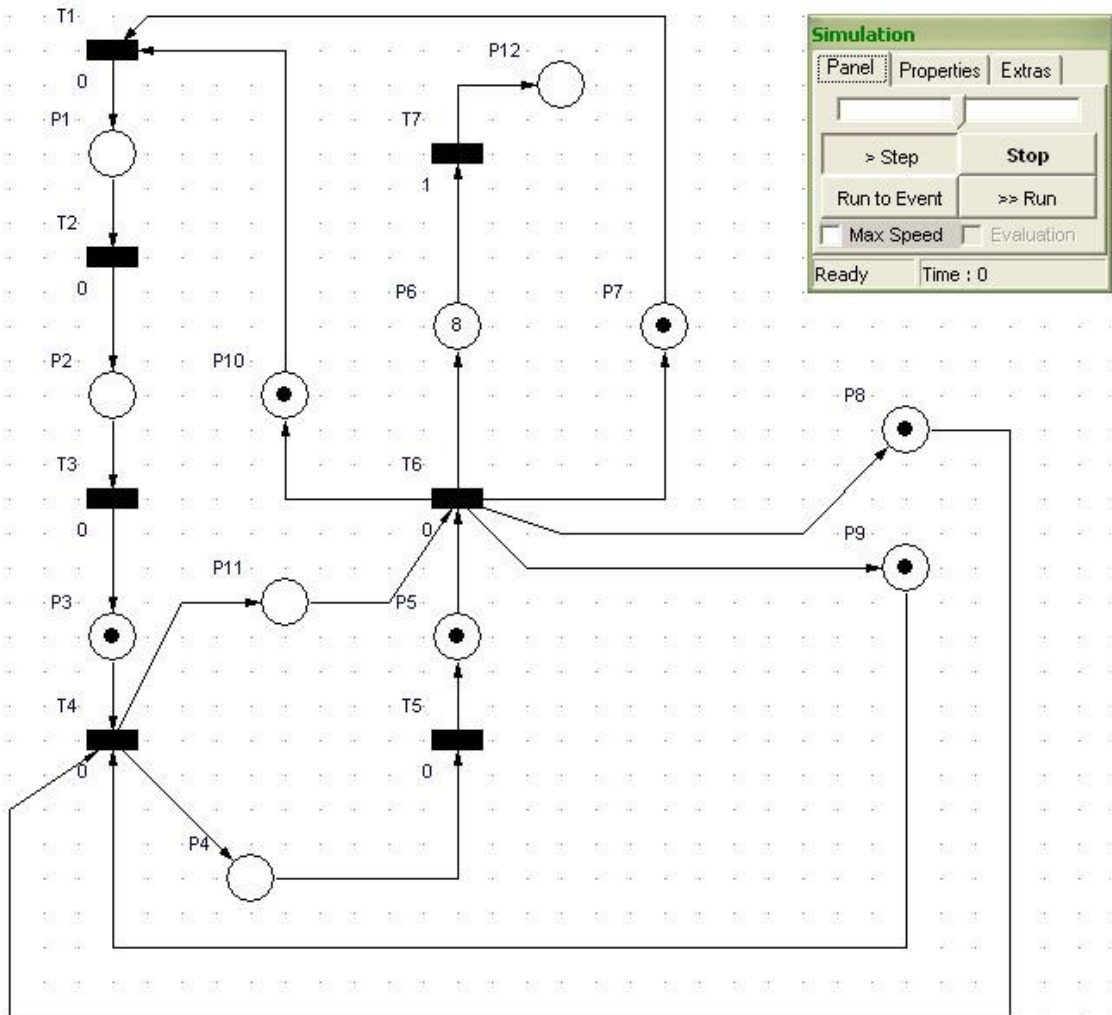


Figura 66 – Rede de Petri do subsistema da bancada: aplicar ciclos de flexão.

3. Considerações finais

Durante o desenvolvimento da bancada para ensaios de fadiga foram levadas em consideração as três fases do projeto consensual: informacional, conceitual e preliminar, observando a aplicação das ferramentas de desenvolvimento integrado em cada etapa do projeto.

As ferramentas exclusivas de cada domínio foram sendo empregadas a fim de validar sua aplicação no desenvolvimento de um produto de características multidisciplinar. No processo pôde-se perceber quanto a aplicação da matriz QFD aproxima os componentes da

equipe de projeto quando se estabelece as análises, gerando profícuos debates que resultaram nos requisitos de projeto.

O que ficou evidenciado por meio do uso da ferramenta síntese funcional é que esta técnica caracteriza-se como elemento agregador para o projeto de um produto mecatrônico. Ao mesmo tempo em que permitiu discriminar a ação de cada área envolvida dentro do projeto, quando ao extrair as subfunções viu-se a necessidade de um sistema de controle de velocidade ou um dispositivo que retornasse um valor de força ou tensão aplicada ao corpo de provas.

Nesta linha, pôde-se perceber a importância de gerenciar as informações com bastante cautela, pois, o acúmulo de conhecimento gerado numa etapa será a base para implementação subsequente. A experiência dos projetistas associada às intervenções dos especialistas de outras áreas também enriquece o processo e abre novas possibilidades de crescimento da equipe.

Ao se agregar um elemento novo que permita trocar informações sobre as concepções do projeto, estimula-se a criatividade e sedimentam-se novos conhecimentos importantes à formação, de modo a permitir a transdisciplinaridade do saber fazer.

No capítulo seguinte procura-se levantar outros aspectos da aplicação das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos por meio da visão dos demais componentes da equipe de projeto, de modo a complementar aqueles aqui descritos.

CAPÍTULO 4

ASPECTOS COMPLEMENTARES: AVALIAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS SOB O PONTO DE VISTA DA EQUIPE DE PROJETOS

1. Introdução

Este trabalho como tem sido alentado, de modo geral, buscou acompanhar uma equipe multidisciplinar no projeto de um produto mecatrônico, que foi a bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, visando analisar o processo e uso de algumas ferramentas de desenvolvimento integrado de produto, que comumente são usados nos projetos das diferentes áreas correlatas a mecatrônica: Elétrica, Mecânica, Automação e Computação.

Tendo como um dos objetivos específico responder a questões, do tipo: Será que as ferramentas utilizadas em cada área distinta são apropriadas, eficientes para desenvolver um produto multidisciplinar? É necessário e possível desenvolver uma ferramenta que permita gerenciar as informações e descrever de modo confiável todas as partes de um projeto mecatrônico, de modo integrado com todas as suas especificidades, entre outras?

Além destas questões há também de estabelecer os critérios que caracterizam o uso das ferramentas de desenvolvimento utilizadas e qual instrumento de pesquisa proporcionaria alçar os resultados das questões postuladas no capítulo 1. Sendo assim, o método científico de investigação sugere que se empreguem operações mentais e técnicas para estabelecer a linha de raciocínio do processo de pesquisa. Contudo, a escolha das técnicas e métodos depende de diferentes fatores, que vão desde os objetivos até o tipo de pesquisa adotada.

2. Metodologia de Avaliação

Dentre as várias definições de avaliação encontradas, observa-se que existe uma enorme diversidade de foco, umas enfatizando a coleta de dados, outras a tomada de decisão, etc. Segundo Gipps (1998 *apud* Maia, Mendonça e Góes, 2005), está em curso uma mudança de paradigma na área de avaliação, passando de um modelo de testes e exames que valoriza a medição das quantidades aprendidas de conhecimentos transmitidos para um modelo onde os aprendizes terão oportunidade de demonstrar o conhecimento que construíram, como construíram, o que entendem e o que podem fazer, ou seja, um modelo valorizador das aprendizagens quantitativas e qualitativas no decorrer do próprio processo de aprendizagem.

A avaliação, portanto, deve ser vista como um meio para a percepção, para o diagnóstico e para a análise de problemas no aprendizado. Assim, devido a esta diversidade, Bloom, Hasting e Madaus (1971); já propunha não uma definição de avaliação, mas sim, uma mostra das várias dimensões deste conceito.

- A avaliação é um método de coleta e de processamento dos dados necessários à melhoria dos processos de construção e aperfeiçoamento de um produto.
- A avaliação inclui uma grande variedade de dados.

- A avaliação auxilia no esclarecimento das metas e dos objetivos considerados de importância e consiste num processo de determinação da medida de referência do que se quer alcançar.
- A avaliação é um sistema de controle de qualidade pelo qual se pode determinar a cada passo o processo, se este está sendo eficaz ou não; e caso não esteja, indica que mudanças devem ser feitas a fim de assegurar sua eficácia.
- Finalmente, a avaliação é um instrumento que permite verificar se os procedimentos alternativos são igualmente eficazes na consecução de uma série de objetivos definidos na concepção do produto.

Dentre estas dimensões, vale ressaltar a que define avaliação como controle de qualidade, chamando a atenção para a abrangência da avaliação, cujos resultados não demonstram aspectos unicamente do produto (atende os requisitos ou não), mas também, pode indicar falha no processo e/ou método adotado no decorrer de seu ciclo de desenvolvimento.

Entretanto, observa-se que de uma maneira geral este conceito ainda é difuso, genérico e complicado. De modo mais específico e limitado, pode-se subdividi-la em termos mais pragmáticos. Onde, segundo Haydt (2000), testar, medir e avaliar são termos distintos, sendo importante ter conhecimento de suas diferenças.

- Testar significa submeter a um teste ou experiência, isto é, consiste em verificar o desempenho de alguém ou alguma coisa (um material, uma máquina etc.), através de situações previamente organizadas, chamadas testes.
- Medir significa determinar a quantidade, a extensão ou o grau de alguma coisa, tendo por base um sistema de unidades convencionais.
- Avaliar é julgar ou fazer a apreciação de alguém ou alguma coisa, consiste na coleta de dados quantitativos e qualitativos e na interpretação desses resultados com base em critérios previamente definidos.

A figura 67 visa demonstrar o aspecto de inserção destas camadas entre si, ou seja, apresenta o teste como um dos instrumentos que pode ser utilizados para medir enquanto que a medição é um dos recursos que podem ser usados no processo de avaliação.

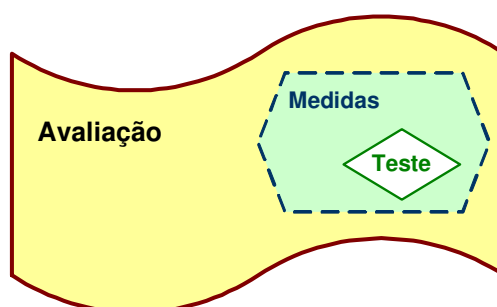


Figura 67 – Contexto de uma avaliação, medidas e teste.

De acordo com os estudos referentes à metodologia da pesquisa, estas podem ser classificadas quanto aos seus objetivos, em: descritivas, explicativas e exploratórias. As pesquisas descritivas têm como foco descrever um fenômeno (evento), já as pesquisas explicativas buscam estabelecer as relações de causa e efeito, ou seja, entender o motivo pelo qual o fenômeno (evento) se desenvolve no decorrer do tempo. Enquanto as pesquisas exploratórias procuram abrir novas fronteiras do conhecimento e construir hipóteses.

Portanto, este trabalho quanto aos seus objetivos tem uma abordagem descritiva. E quanto às estratégias de ação tem como foco um estudo de caso. Que segundo Castro (1999 *apud* Guerrero, 2001) é uma solução para situações onde não é possível um estudo condensado, isto é, que envolva uma amostragem estatística significativa.

Enquanto para Yin (1994 *apud* Guerrero, 2001), um estudo de caso é uma investigação empírica que permite tratar um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, e, Gil (1991 *apud* Guerrero, 2001), recomenda o estudo de caso quando se pretende estabelecer uma averiguação mais profunda de uma ou poucas amostras de análise de modo a permitir seu amplo e detalhado conhecimento.

Embora, segundo Yin (1994 *apud* Guerrero, 2001), as estratégias de ação dependam de três fatores (critérios): o tipo da questão de pesquisa, o nível de controle que o pesquisador pode exercer sobre o evento e o foco da pesquisa em fatos contemporâneos ou históricos. Têm-se também o modo como os dados serão manipulados: de forma qualitativa ou quantitativa, e que estarão vinculados diretamente às técnicas de coleta dos dados, que por sua vez, segundo Yin (1994 *apud* Guerrero, 2001), pode ser do tipo: entrevista, questionário, documentação, arquivos, observação direta, observação participante ou análise de objetos físicos.

Na tabela 19, a seguir, tem-se uma comparação típica de algumas estratégias em relação a estes critérios.

Tabela 19 – Comparação entre diferentes estratégias de Pesquisa

Estratégias	Tipo de questão de projeto	Exige controle sobre eventos?	Há foco em eventos contemporâneos?
Experimental	Como?, Por quê?	Sim	Sim
Survey (sondagem)	Quem?, O quê?, Onde?, Quantos?	Não	Sim
Análise de arquivo	Quem?, O quê?, Onde?, Quantos?	Não	Sim e Não
Histórica	Como?, Por quê?	Não	Não
Estudo de caso	Como?, Por quê?	Não	Sim

Fonte: COSMO Corporation (YIN, 1994 *apud* Guerrero, 2001)

Uma tentativa de sintetizar o que foi abordado anteriormente, com as principais características metodológicas estabelecendo uma seqüência lógica para tomada de decisões, é representada na figura 68. Também em destaque (amarelo), têm-se a abordagem adotada para os vários aspectos levantados, ou seja, buscou-se um estudo de caso com revisão da literatura. Este é apresentado de forma descritiva, no qual uma parcela dos dados para avaliação das ferramentas será levantada por meio de um questionário e receberá um tratamento qualitativo por se enquadrar melhor na estratégia do estudo de caso.

De modo algum se pretende esgotar o campo metodológico da pesquisa na abordagem aqui descrita, apenas apresenta-se uma visão (amostragem) do vasto conhecimento científico disponível.

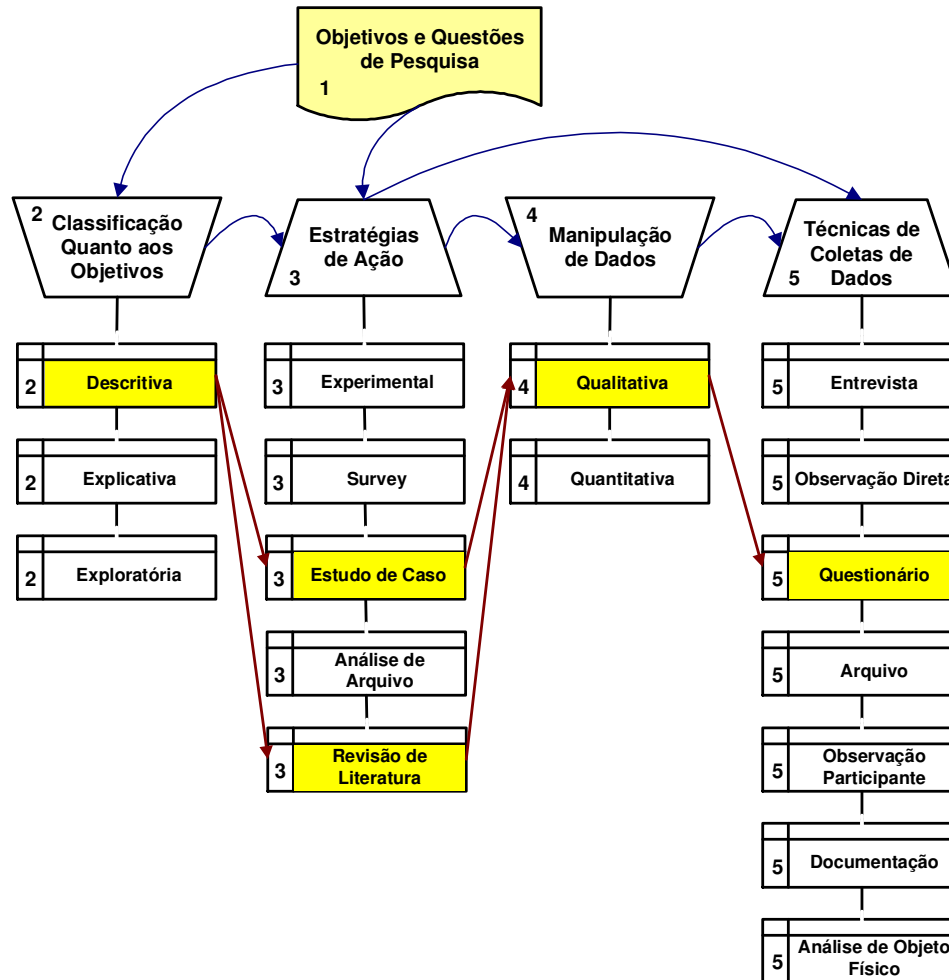


Figura 68 – Síntese das características metodológicas (adaptado: Guerrero, 2001).

Embora o estudo de caso apresente características positivas, como: aproximar o pesquisador do problema estudado; aprofundar as questões levantadas do próprio problema investigando o fenômeno dentro de seu contexto real e levantar informações e proposições para serem estudadas à luz de métodos mais rigorosos de experimentação; ela também traz consigo limitações, como: não permitir generalizações das conclusões nem dos processos ou situações obtidas e depende da precisão com que as informações foram construídas pela equipe de projeto.

3. Instrumento de Avaliação

A avaliação foi realizada observando a influência do uso das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, dentro da metodologia de projeto sugerido pela engenharia simultânea; em relação à qualidade dos resultados, conforme proposto inicialmente, além de estabelecer fronteiras, conceituar processo de projeto, conhecimento e qualidade, a qual se entende dentro deste escopo, como uma capacidade de atender bem as expectativas dos clientes.

Para auxiliar o processo de análise foi construído um instrumento de avaliação (questionário orientado), que aplicado aos clientes (componentes da equipe de projeto) permitiu levantar alguns dados, opiniões, que contribua para a avaliação do uso das ferramentas de desenvolvimento integrado de produto no estudo de caso da bancada.

Um questionário é tão somente um conjunto de questões, feito para gerar os dados necessários para se atingir às metas do trabalho em estudo. E construí-lo não é uma tarefa trivial, visto que não existe uma metodologia padrão para projeto de questionários, apenas recomendações de diversos autores (CHAGAS, 2000).

Baseado nas observações e cuidados necessários à construção de um questionário de pesquisa científica, apresentados por Chagas (2000), formulou-se um questionário que está inserido no apêndice D. Este inclui questões ligadas diretamente ao estudo da bancada para ensaios de fadiga, quanto ao uso das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos. É evidente, que o instrumento não pretende englobar todos os aspectos do trabalho. Para tal finalidade, são necessários aprimoramentos mais detalhados, entretanto, cumpre sua finalidade de atingir de modo rápido parte dos objetivos da pesquisa ora em foco.

O instrumento de pesquisa foi encaminhado a todos os participantes da equipe de projeto e mais três membros colaboradores que não participaram integralmente do projeto de desenvolvimento da bancada, mas emitiram opiniões esporádicas quando solicitados e têm noções sobre o processo de desenvolvimento e suas ferramentas. Inicialmente a equipe foi composta por seis pessoas e posteriormente agregaram-se mais dois, excluindo-se aqui os especialistas da área de controle e elétrica. Do total de dez questionários encaminhados até o fechamento das análises houve retorno de sete, sendo quatro de pessoas ligadas diretamente ao desenvolvimento da bancada e três de pessoas colaboradoras não vinculadas.

O questionário foi subdividido em duas partes: A primeira de caráter objetiva buscou caracterizar as ferramentas de desenvolvimento integrado no projeto da bancada para ensaios por meio de sete questões, atribuindo valores e conceitos a dez ferramentas utilizadas no projeto da bancada. A segunda de cunho subjetivo buscou caracterizar o processo de desenvolvimento, coletando as opiniões dos componentes da equipe de projeto.

Em se tratando de um estudo de caso, a aplicação dos resultados traz suas limitações no escopo do problema, entretanto, este estudo pode ser utilizado como referência para comparação em outros projetos com características similares.

4. Critérios de Avaliação

A questão norteadora deste estudo está em verificar a aplicação de algumas ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, comumente utilizadas em suas áreas específicas, como as engenharias mecânica, elétrica, automação e sistemas computacionais, no projeto de um produto mecatrônico. Onde os limites de atuação estão cada vez mais se tornando entrelaçadas pelos constantes avanços tecnológicos.

Atualmente verifica-se que os dispositivos mecânicos estão sendo paulatinamente substituídos por dispositivos eletrônicos que trazem embarcados todo um aparato de hardware e software. Contudo, os projetos continuam sendo executados com os mesmos ferramentais. Será que esta fusão aumentando a complexidade dos produtos não exige novas ferramentas de desenvolvimento?

Para se estabelecer a escolha dos critérios que balizaria a avaliação das ferramentas, partiu-se do pressuposto de que as ferramentas selecionadas para desenvolver produtos, em qualquer das áreas aqui destacadas, trazem no seu emprego específico, informações relevantes e custo variável. E ainda que, nenhuma delas está isenta de erros, visto que uma das características para imprecisão está no aspecto relacionado a transformações de dados incorretos.

Sendo assim, dos oitos critérios listados na pesquisa para avaliar a aplicabilidade e qualidade de algumas das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos foram dado destaque prioritariamente a quatro das características apontadas por Guerrero (2001). Deste

modo, buscou-se a simplificação das análises, sem, entretanto comprometer os resultados do trabalho. Os quatro critérios considerados são descritos a seguir:

1. A simplicidade – no qual a ferramenta deve estar limitada aos aspectos essenciais, sem complexidade desnecessária,
2. A flexibilidade – na qual a ferramenta pode ser utilizada para diversas finalidades e áreas, onde quanto maior o número de decisões possa ser tomado com uma determinada aplicação maior será sua flexibilidade e qualidade,
3. A confiabilidade – na qual expressa sua qualidade, visto que grande parte desta característica está associada à origem da informação, no caso, oriunda das necessidades dos clientes e requisitos do projeto.
4. A completude – na qual a ferramenta contém todos os parâmetros importantes que compõem seu significado.

A característica relacionada à disponibilidade de tempo da ferramenta não foi considerada crítica, pois as mesmas não dependem de máquinas ou sistemas computacionais robustos para emprego ou implementação.

5. Avaliação das Ferramentas

Os desafios para estabelecer procedimentos que avaliem de forma qualitativa e quantitativa um projeto mecatrônico, que abarque as diversas áreas afins são enormes e aumentam à medida que aumenta o grau de integração (automação) e complexidade das implementações requeridas.

A análise estatística dos dados coletados permitiu organizar e obter melhores informações, de modo mais consistentes, tirando delas suas consequências para descrição e possíveis explicações do uso das ferramentas de desenvolvimento no projeto de produtos mecatrônicos.

As questões de n^{os} 1 – Atribuir valores as ferramentas segundo os critérios abordados, e 7 – Como vê a aplicação das ferramentas em diferentes domínios, envolvendo atribuições de valores, foram organizados e sintetizados em tabelas, sendo determinado as médias ponderadas para cada subitem, conforme expressões 4 e 5, respectivamente.

$$(4) M_p = \frac{((q_1 \bullet p_1) + (q_2 \bullet p_2) + (q_3 \bullet p_3) + (q_4 \bullet p_4) + (q_5 \bullet p_5))}{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5)}$$

Onde p são os pesos (1, 2, 3, 4 e 5) e q as quantidades de respostas dadas em cada item.

$$(5) M_p = \frac{((q_1 \bullet p_1) + (q_2 \bullet p_2) + (q_3 \bullet p_3))}{(p_1 + p_2 + p_3)}$$

Onde p são os pesos (1, 2 e 3) e q as quantidades de respostas dadas em cada item.

Os pesos na questão de n^o1 variaram de 1 a 5 para permitir maior refinamento na análise dos critérios propostos. Enquanto na questão de n^o7 a variação foi de 1 a 3, suficiente para permitir a análise de aplicabilidade dos diferentes domínios de conhecimento.

Os valores máximos para as expressões (4) e (5) são $\frac{35}{15} \cong 2,33$ e $\frac{21}{6} \cong 3,50$, respectivamente. Estes valores foram normalizados para uma escala variando entre 1 e 10, permitindo assim uma melhor compreensão dos resultados.

Em seguida calculou-se a média aritmética para se estabelecer uma visão global de cada ferramenta, conforme expressões 6 e 7. E por fim, levantou-se os desvios médios, desvios padrão, desvios percentuais e a variância em torno do ponto central.

$$(6) M_A = \frac{M_{P1} + M_{P2} + M_{P3} + M_{P4} + M_{P5} + M_{P6} + M_{P7} + M_{P8}}{8}, \text{ para questão de nº1}$$

e

$$(7) M_A = \frac{M_{P1} + M_{P2} + M_{P3} + M_{P4}}{4}, \text{ para a questão de nº7.}$$

As respostas completas (sintetizadas) do instrumento pesquisa encontram-se inseridos no apêndice **H** e as tabelas completas referentes às questões de nºs 1 e 7 são apresentadas no apêndice **I**.

Pode-se verificar, por exemplo, por meio da resposta à questão de nº4 – sobre o conhecimento de outras ferramentas que poderiam ser aplicadas; uma limitação quanto ao uso de outras ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, visto que todos os pesquisados, ou deixaram em branco ou informaram desconhecer outro tipo de ferramenta. Provavelmente a escolha do emprego destas ferramentas esteja associada à vivência constante e uso mais comum dentro da equipe de projeto.

Este aspecto é levantado na análise do quesito de nº3 – quanto ao conhecimento prévio das ferramentas, que apenas um componente da equipe de projeto detinha conhecimento abaixo de 50%; enquanto do grupo externo ao projeto, apenas um detinha conhecimento acima de 50% das ferramentas de desenvolvimento listadas. Os gráficos da figura 69 apresentam os valores globais.

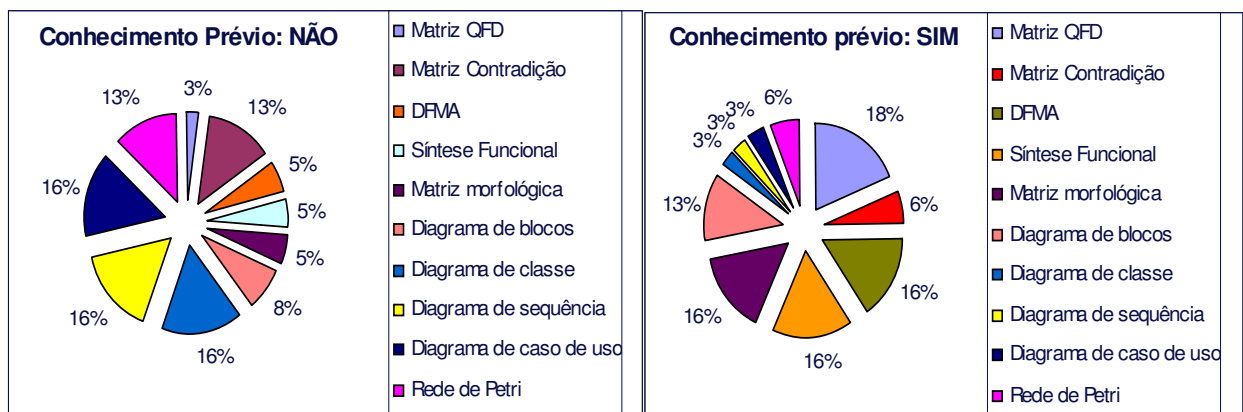


Figura 69 – Síntese das respostas da 3ª questão (valores globais).

Observou-se também que as ferramentas: matriz QFD, Síntese funcional, DFMA, matriz morfológica possuem o maior índice de conhecimento prévio, respectivamente; enquanto, as ferramentas voltadas ao controle e modelagem do sistema: diagramas de classe, sequência, caso de uso, rede de Petri e diagrama de blocos; os piores índices de conhecimento prévio.

Na questão de nº5 – quanto à classificação do nível de dificuldade no processo de aprendizagem das ferramentas verificou-se que 80 a 90% dos pesquisados consideraram fácil

ou moderado o processo de aprendizagem das ferramentas. Enquanto, a ferramenta classificada como maior nível de dificuldade foi a Rede de Petri. Estes resultados podem ser visualizados no gráfico da figura 70.

Enquanto o quesito de nº6 – referente ao emprego das ferramentas em novos projetos, observa-se que a ferramenta ‘síntese funcional’ é considerada fundamental por 86% (6/7) dos pesquisados, e 75% (3/4) pela equipe de projeto da bancada, sem índice de rejeição, isto é, nenhum pesquisado considerou-a ‘prescindível’. O gráfico da figura 71 ilustra melhor estes dados.

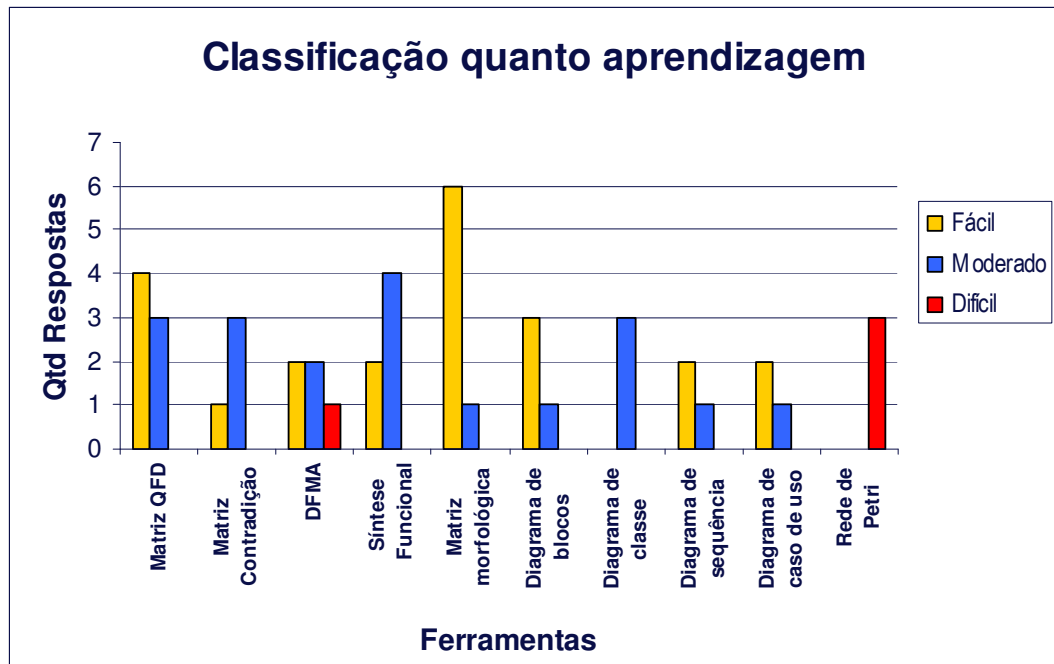


Figura 70 – Síntese das respostas da 5ª questão (valores globais).

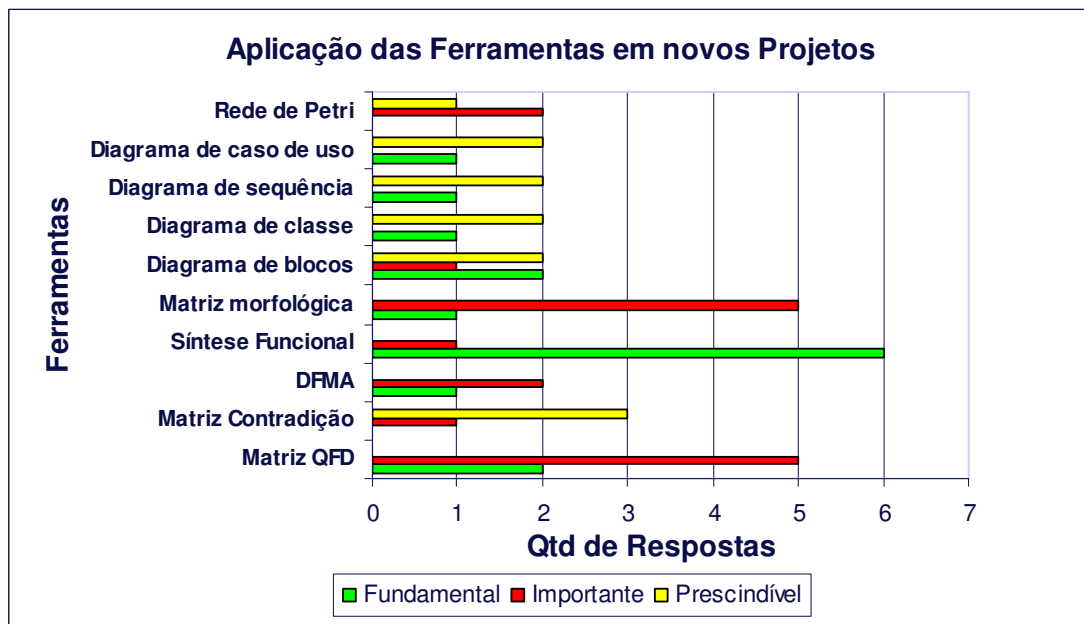


Figura 71 – Síntese das respostas da 6ª questão (valores globais).

As ferramentas: matriz morfológica e QFD são classificadas como importantes por 70 a 80% dos pesquisados, também sem índice de rejeição (prescindível). Interessante notar que a ferramenta: matriz contradição (TIPS) obteve índice global de reprovação (prescindível) de 43% (3/7), sendo que corresponde a 75% (3/4) da equipe de projeto, provavelmente por tratar-se de uma ferramenta pouco conhecida, por parte da equipe de desenvolvimento de projeto.

As questões de nº1 – classificação nos critérios, 2 – aspectos positivos e negativos das ferramentas e 7 – aplicação em diferentes domínios, da parte objetiva e a questão de nº1 – referente a processo de desenvolvimento aplicando as ferramentas; da parte subjetiva são apresentadas pontualmente a seguir, por caracterizar melhor a aplicabilidade das ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos no estudo de caso da bancada para ensaios de fadiga. Os resultados gerais e completos estão nos apêndices **H** e **I**, conforme já referido.

A ordem de apresentação das ferramentas segue a estabelecida no instrumento de pesquisa, ou seja, primeiro a matriz QFD seguida da matriz contradição e assim sucessivamente. Enquanto a ordem de apresentação das respostas foi da sétima para a primeira, ou seja, primeiramente apresentou-se a aplicabilidade da ferramenta em diferentes domínios, seguido das descrições dos aspectos relevantes (questão de nº2) e por fim a questão de nº1, referente aos critérios de flexibilidade, confiabilidade etc., das ferramentas. Esta seqüência de apresentação pareceu ser mais didática.

As opiniões referentes ao processo, questão de nº1, da parte subjetiva, serão inseridas conforme descrito pelos pesquisados com alguns comentários finais.

5.1 Matriz QFD

A ferramenta da casa da qualidade (QFD) apresentou um alto valor de admissão nas diferentes áreas de conhecimento. Dentre as ferramentas listadas é aquela ocupa a primeira colocação com média de 7,98 e 9,52 na área da engenharia mecânica, apenas 0,48 do valor global máximo (10). Isto corresponde a aproximadamente 95%. A tabela 20 mostra os valores médios obtidos.

Tabela 20 – Aplicação da QFD em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Matriz QFD	9,52	7,62	7,62	7,14	7,98	0,77	9,70

As colunas iniciais representam às médias ponderadas em cada domínio: mecânica, elétrica, eletrônica e software. A coluna média representa a média aritmética das médias ponderadas. O desvio médio é de 0,77 em torno da média, e isto representa 9,7%. Segundo os pesquisados, ela é abrangente e possibilita que seus usuários interajam e extraiam muitas informações, contudo, seu emprego é trabalhoso e demanda muito tempo, conforme apresentado na tabela 21.

Tabela 21 – Aspectos positivos e negativos da QFD.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Matriz QFD	Abrangência, organização das idéias, abrangência e quantificação das variáveis (para fins comparativos), permite o entendimento do problema, Iteração da equipe, organização das	Estática e não dinâmica, complexidade, muito trabalhoso, informações subjetivas, perde muito tempo, gera muita discussão e pode demorar muito tempo, tornando-se cansativa, tempo de

	informações, seqüência os requisitos mais importantes, permite a participação de todo grupo de projeto e serve para analisar uma grande quantidade de características importantes para o desenvolvimento do produto, capacidade de síntese do processo informacional.	conclusão extremamente demorado e cansativo.
--	---	--

Quanto a sua caracterização em termos dos critérios pré-definidos ela encontra-se em terceiro lugar com índice de confiabilidade (8,37) superior as demais ferramentas de desenvolvimento. O desvio médio é de 0,83; representando 10,41% em torno do ponto central. Este resumo é mostrado na tabela 22, a seguir.

Tabela 22 – Caracterização da matriz QFD quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Matriz QFD	6,29	8,00	8,83	8,57	8,37	9,29	6,86	7,39	7,95	0,83	10,41

5.2 Matriz Contradição (TIPS)

A matriz contradição da TIPS é uma ferramenta pouco conhecida por parte dos pesquisados, apenas 28% (2/7), além de ser considerada prescindível por 43% (3/7) da amostragem. Quanto sua aplicação em domínios diferentes obteve uma média inferior a outras ferramentas desconhecidas por parte da equipe, como por exemplo, a ferramenta diagrama de blocos. Sua média global foi de 3,69 com desvio médio de 1,55; representando um percentual de 41,94% em torno da média. A tabela 23 apresenta estes dados.

Tabela 23 – Aplicação da Matriz contradição em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Matriz Contradição	5,24	5,24	0,95	3,33	3,69	1,55	41,94

Segundo os dados referentes aos aspectos positivos e negativos, a ferramenta da matriz contradição é importante para solucionar conflitos desde que se tenha conhecimento aprofundado de sua dinâmica de construção. A tabela 24 ilustra estes aspectos levantados.

Tabela 24 – Aspectos positivos e negativos da matriz contradição.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Matriz Contradição	Aflora os pontos negativos, boa pra checar os prós e os contra de cada requisito, e assim dar prioridade, permite definir o que é importante ou não para o produto, comparar os conflitos e propor soluções.	Muito restrita, perde-se muito tempo, é muito subjetiva, difícil construção.

Considerando as respostas dos que detinham conhecimento da matriz contradição verifica-se tanto nas médias ponderadas quanto na média global certa estabilidade quanto sua aplicabilidade, com pequeno desvio de 0,57; entretanto este valor corresponde a 10,94% em torno do valor médio. Na questão referente à aplicação em novos projetos apresentou maior índice de rejeição (prescindível), figura 71. A tabela 25 mostra sua classificação quanto aos critérios de aplicabilidade.

Tabela 25 – Caracterização da matriz contradição quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Matriz Contradição	4,29	4,86	6,55	5,72	5,02	5,62	4,71	4,86	5,20	0,57	10,94

5.3 A ferramenta DFMA

A ferramenta DFMA era conhecida por 71% (5/7) dos pesquisados e 100% pela equipe de projeto, contudo apenas 14% (1/7) a considera fundamental em novos projetos. Obteve média de 4,05, com erro de 1,43 correspondentes a 35,29% em relação à média. A tabela 26 mostra estes dados sumarizados.

Tabela 26 – Aplicação da ferramenta DFMA em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
DFMA	6,67	4,29	2,86	2,38	4,05	1,43	35,29

Como característica relevante pode-se verificar sua facilidade de aprendizagem, com abordagem simples, embora exija conhecimento de processos de fabricação. Há aspectos que pode apresentar conflito com os princípios inventivos da TIPS, como: a segmentação (princípio inventivo nº1) e a assimetria (princípio inventivo nº4), visto que, simplificar o produto e reduzir o número de partes são princípios básicos da ferramenta DFMA. A tabela 27 apresenta os aspectos relatados pela pesquisa.

Tabela 27 – Aspectos positivos e negativos da ferramenta DFMA.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
DFMA	Abordagem simples; permite reavaliar a solução pontualmente, boa ferramenta organizacional; evita erros e diminui custos de fabricação do produto; de fácil aprendizado e implementação.	Restrita, muito trabalhoso o ganho nem sempre é relevante, ferramenta incompleta, isto é, depende de outras ferramentas, exige conhecimento de processos de fabricação e de muito detalhamento do produto, não pode ser aplicado sem restrições. Há aspectos que conflitam com a matriz contradição.

A ferramenta DFMA é considerada com alto grau de flexibilidade por 33% (2/6) dos pesquisados e 50% (3/6) atribuíram nível médio (6,0 a 6,45) para os critérios de simplicidade, completude e confiabilidade. A tabela 28 resume esta análise.

Tabela 28 – Caracterização da ferramenta DFMA quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
DFMA	5,72	6,00	6,66	6,86	6,45	6,71	6,41	5,72	6,32	0,38	5,99

5.4 Síntese funcional

A síntese funcional ocupou a segunda colocação dentre as ferramentas de maior aplicação em domínios diferentes, com média de 7,50; além de ser considerada aplicável em novos projetos por 86% (6/7) dos pesquisados (figura 71) e 100% da equipe de projetos. Toda equipe detinha conhecimento da ferramenta e acima de 66% a consideraram de aprendizado moderado a fácil (figura 70). A tabela 29 apresenta estes resultados.

Tabela 29 – Aplicação da Síntese funcional em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Síntese Funcional	9,52	7,14	7,14	6,19	7,50	1,01	13,49

Esta ferramenta é fundamental e importante nas diversas áreas permitindo identificar com clareza a seqüência de funções com seus múltiplos aspectos inter-relacionais. Entretanto, as informações obtidas com a síntese são consideradas subjetivas e exige alto grau de abstração. A tabela 30 lista os aspectos positivos e negativos levantados.

Tabela 30 – Aspectos positivos e negativos da Síntese funcional.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Síntese Funcional	Dinâmica e interativa, visualização global do processo, permite identificar os vários aspectos (disciplinas) do problema, Clara, mostra o fluxo do processo, permite identificar com maior clareza a seqüência de funções a que o produto se destina, permite visualizar todos os aspectos funcionais do produto.	Impossibilidade de comparação, informações subjetivas, Ferramenta incompleta, isto é, depende de outras ferramentas, algumas funções podem não ser percebidas ou muito detalhadas, alto grau de abstração exigido.

No quesito referente à aplicabilidade constatou-se que a ferramenta da síntese funcional também ocupa o segundo lugar com média geral de 8,27; e desvio de 0,55. Difere da primeira colocada, matriz morfológica em apenas 1,32 pontos percentuais. Na tabela 31, a seguir, encontram-se os valores resumidos.

Tabela 31 – Caracterização da síntese funcional quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Síntese Funcional	7,72	8,29	8,83	8,86	8,04	9,29	7,72	7,39	8,27	0,55	6,65

5.5 Matriz Morfológica

A matriz morfológica foi considerada uma ferramenta de fácil aprendizado por 86% (6/7) dos pesquisados, sendo que 71% detinham conhecimento prévio e 83% a considera aplicável em novos projetos. Alcançou a terceira colocação quanto à aplicação em diferentes domínios com média global de 7,02. A tabela 32, a seguir resume estes resultados.

Tabela 32 – Aplicação da Matriz morfológica em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Matriz morfológica	9,52	6,67	7,14	4,76	7,02	1,31	18,64

Esta ferramenta estimula a criatividade no momento de geração de soluções facilitando a escolha das diferentes concepções do produto, entretanto, não descarta soluções inviáveis tecnologicamente. Os aspectos positivos e negativos sinalizados pelos pesquisados são apresentados na tabela 33.

Tabela 33 – Aspectos positivos e negativos da Matriz morfológica.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Matriz morfológica	Detalhamento; exercita as possíveis soluções, fácil concepção, permite gerar muitas soluções para o problema; ferramenta muito boa para encontrar várias soluções; detalha bem as características do produto que serão importantes e facilita na escolha de uma concepção final; estimula criatividade e permite visualizar princípios de solução.	Pouco aprofundada, muitas soluções visivelmente descartáveis são consideradas, não achei nenhum ponto negativo, exige muita paciência e “imaginação” da equipe de projeto, classificação dos subsistemas.

Quanto aos parâmetros de aplicabilidade, segundo dados da pesquisa, verificou-se que esta ferramenta obteve maior índice, tanto nas médias ponderadas, com destaque para a flexibilidade (9,14), quanto na média global (8,31). Isto pode ser visto na tabela 34, a seguir.

Tabela 34 – Caracterização da Matriz morfológica quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Matriz morfológica	6,86	8,57	8,83	9,14	7,79	9,05	8,60	7,63	8,31	0,66	7,97

5.6 Diagrama de blocos

Dentre as ferramentas de modelagem do sistema de controle, o diagrama de blocos é a que possui maior compreensão e facilidade de aprendizagem por parte dos pesquisados, em torno de 57% (4/7). Apenas 33% (1/3) a consideram de fundamental importância para aplicação em novos projetos. Sua aplicabilidade em diferentes domínios obteve média de 6,55; com desvio de 0,36; representando 5,45% em torno do ponto central. Sua média

ponderada é mais significativa no domínio de elétrica e eletrônica; com médias de 7,14 e 6,67; respectivamente. Na tabela 35 têm-se estes resultados.

Tabela 35 – Aplicação da ferramenta diagrama de blocos em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Diagrama de blocos	6,19	7,14	6,67	6,19	6,55	0,36	5,45

Como aspecto positivo destaca-se a facilidade de visualização do sistema, contudo, sua implementação é considerada complexa em virtude de estabelecer as funções que melhor representem as condições de funcionamento do produto. A tabela 36 mostra as características listadas na pesquisa.

Tabela 36 – Aspectos positivos e negativos da ferramenta diagrama de blocos.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Diagrama de blocos	Visão geral do problema, solução muito simples e básica, dá uma idéia geral de como deve ser o produto, simples visualização.	Não é interativa, imprecisa, dá as informações necessárias para concepção do produto, mas não mostra o produto como ele realmente deve ser; implementação é complexa.

Em relação às demais ferramentas de modelagem do sistema, também se destaca quanto à aplicabilidade em todos os itens observados: simplicidade, flexibilidade, confiabilidade e completude. Provavelmente por ser a ferramenta fora do escopo da engenharia mecânica e de maior conhecimento dos pesquisados. Na tabela 37 apresentam-se estes dados resumidos.

Tabela 37 – Caracterização da ferramenta diagrama de blocos quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Diagrama de blocos	4,00	4,57	6,55	5,72	4,98	5,86	5,59	5,39	5,33	0,61	11,45

5.7 Diagramas de Classes, Seqüência e Caso de Uso.

As ferramentas de modelagem baseadas na programação orientada a objetos são de pouco conhecimento dos pesquisados, apenas 14% (1/7) do global e representa 25% (1/4) da equipe de projetos. A menor dentre todas as ferramentas avaliadas. Estas foram consideradas prescindíveis por 66% (2/3) da amostragem. Por se tratar de ferramentas pouco conhecida dos projetistas percebe-se um baixo índice de aplicação em domínios diferentes, com médias entre 3,57 a 3,93; inclusive na própria área de software. Na tabela 38 encontram-se estes valores resumidos.

Tabela 38 – Aplicação dos diagramas de classe, seqüência e caso de uso em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Diagrama de classe	3,81	3,81	3,33	3,33	3,57	0,24	6,67
Diagrama de seqüência	3,81	3,81	3,33	3,33	3,57	0,24	6,67
Diagrama de caso de uso	4,29	3,81	2,86	4,76	3,93	0,60	15,15

Os aspectos positivos e negativos levantados das ferramentas de modelagem do sistema, no domínio da UML, não representam significativamente a realidade de uso das mesmas num universo mais amplo, entretanto, para a amostragem estudada, ressalta o pouco conhecimento do seu emprego. Isto pode ser observado na tabela 39.

Tabela 39 – Aspectos positivos e negativos dos diagramas de classe, seqüência e caso de uso.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Diagrama de classe	É interativa; desconhece; visualização estática do sistema com suas relações.	Desconhece; difícil aprendizado.
Diagrama de seqüência	Estruturação; interessante; desconhece; visualização temporal do sistema.	É restritiva; desconhece; difícil aprendizado.
Diagrama de caso de uso	Interessante; desconhece; visão global das inter-relações.	É limitada; desconhece; difícil aprendizado.

Quanto aos critérios de aplicabilidade das ferramentas de modelagem do sistema baseados na UML há muita incerteza em face do baixo índice de conhecimento de seu emprego. Este fato se reflete nas baixas médias obtidas no quesito de nº1, o qual é apresentado na tabela 40.

Tabela 40 – Caracterização dos diagramas de classe, freqüência e caso de uso quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Diagrama de classe	4,29	4,29	5,03	4,86	4,45	4,71	4,56	4,24	4,55	0,24	5,21
Diagrama de seqüência	4,29	4,00	4,66	4,86	4,20	5,05	4,56	4,24	4,48	0,30	6,66
Diagrama de caso de uso	2,57	3,14	3,52	3,71	3,10	3,52	3,70	3,96	3,40	0,35	10,24

5.8 Redes de Petri (RdP)

A ferramenta de modelagem dinâmica do sistema RdP apresentou um índice de conhecimento e aplicação em novos projetos maior do que as ferramentas de modelagem em UML, na ordem de 28,6% (2/7), entretanto 100% dos que detinham conhecimento de seu emprego a consideraram de difícil aprendizagem. Sua média referente à aplicação em diferentes domínios ficou em torno de 5,00; com desvio de 0,48. Isto representa um desvio percentual de

9,52%. Comparado ao valor máximo global (10) corresponde a 50%. A tabela 41 apresenta estes resultados.

Tabela 41 – Aplicação da Rede de Petri (RdP) em diferentes domínios de conhecimento.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Rede de Petri	5,24	5,71	4,29	4,76	5,00	0,48	9,52

Apesar de ser uma das ferramentas que permite a visualização dinâmica do sistema juntamente com o diagrama de seqüência, seu nível de dificuldade de aprendizagem é muito superior e demanda um longo processo de assimilação dos procedimentos metodológicos. A tabela 42 relata os aspectos negativos e positivos coletados.

Tabela 42 – Aspectos positivos e negativos da Rede de Petri.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Rede de Petri	É interativa e afloram as restrições, visualizar a dinâmica do processo.	Demanda tempo excessivo para montar a rede, se não for uma equipe treinada para desenvolver a Rede de Petri aplicada ao produto algumas etapas ou características do produto podem ser omitidas; difícil aprendizado.

A ferramenta de modelagem dinâmica do sistema RdP também não apresentou boa aplicabilidade em face de seu pouco conhecimento e dificuldade de aprendizagem, apesar de obter média superior à ferramenta diagrama de caso de uso. Este fato também pode estar relacionado à formação da equipe de projetos está mais voltada à engenharia mecânica. A tabela 43 mostra os índices obtidos pela ferramenta quanto aos critérios destacados.

Tabela 43 – Caracterização da Rede de Petri (RdP) quanto aos critérios de aplicabilidade.

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Rede de Petri	4,00	4,00	4,66	4,29	4,16	4,43	3,85	4,29	4,21	0,21	4,89

De uma maneira geral verifica-se que o emprego de ferramentas diversas no desenvolvimento de produtos é inevitável devido à diversidade de áreas envolvidas num projeto de produtos mecatrônicos. Alguns aspectos relevantes quanto ao uso de algumas destas ferramentas no processo de desenvolvimento da bancada para ensaios de fadiga são reunidas na tabela 44.

Tabela 44 – As ferramentas de desenvolvimento no projeto da bancada para ensaios de fadiga.

OPINIÃO 1	A matriz QFD, DFMA, síntese funcional e a matriz morfológica são imprescindíveis para um bom projeto. As ferramentas foram muito importantes para direcionar e auxiliar a equipe.
OPINIÃO 2	O uso das ferramentas com todas as suas metodologias tornam o projeto mais longo, contudo, acredita-se que é mais seguro e eficaz, sem necessidade de reprojeto. As ferramentas de modelagem podem ser aplicadas a partir da etapa da síntese funcional.

-
- OPINIÃO 3 O processo de desenvolvimento da matriz QFD foi demorado e exigiu um pouco de paciência dos integrantes da equipe. Essa fase gera muitas idéias e muitas discussões entre o grupo, mas essas são fundamentais para se ter um melhor entendimento do problema abordado. Já o uso da matriz contradição causou algumas dúvidas sobre o grau de importância das características analisadas e isso pode induzir a erros. A síntese funcional para o caso da bancada foi mais fácil de ser desenvolvida porque as funções e tipos de ensaios a serem realizados pela bancada já estavam previamente definidos. Já a geração da matriz morfológica deu liberdade aos membros da equipe para exporem as idéias que tinham em mente, principalmente soluções para a parte mecânica da bancada.
-
- OPINIÃO 4 O uso da matriz QFD levantou um número excessivo de informações e dificultou o trabalho da equipe resultando uma matriz extensa que posteriormente foi resumida. O desenvolvimento da síntese funcional do sistema foi a fase na qual a natureza multidisciplinar (por tratar-se de um produto mecatrônico) do produto ficou mais evidente. Foi possível identificar os vários subsistemas necessários para realizar cada função. Na fase de busca de soluções (matriz morfológica), não identifiquei algo de novo com relação a produtos de outra natureza.
-

6. Considerações finais

Cada uma das ferramentas de projetos aqui são aplicadas para domínios de conhecimento específicos, isto de certo modo dificulta a integração entre as diferentes áreas de conhecimento. Entretanto, pôde-se perceber que há ferramentas como a matriz morfológica, a matriz QFD e a síntese funcional, que possibilitam reunir equipes multidisciplinares em torno de um projeto de maior nível de complexidade.

Ao considerar que estas ferramentas prestam grande auxílio no desenvolvimento de produtos, mesmo àquelas que requerem maior nível de dificuldade de aprendizado e aplicação, pode-se estabelecer um patamar mínimo de conhecimento, a fim de que o processo de uso gere informações relevantes que otimize os resultados do projeto.

A qualidade destes resultados poderá ser influenciada diretamente pelo emprego destas ferramentas em diferentes campos de atuação. Além disto, a magnitude desta influência não se mostra constante e depende proporcionalmente dos vários fatores observados, da adequação das ferramentas, do nível de conhecimento e qualidade das informações disponíveis.

A matriz QFD, por exemplo, apesar de mostrar-se com alto índice de aplicação nos diferentes domínios e de fácil aprendizado, ela é considerada “cansativa” no seu uso. Este fator pode desestimular seu emprego caso não se tenha clareza quanto aos resultados que ela permite levantar. Por outro lado, a ferramenta Rede de Petri (RdP) possui alto grau de dificuldade de aprendizagem, entretanto, tendo-se uma metodologia bem definida é possível construir de modo rápido a modelagem dinâmica do sistema.

Nesta linha observa-se que o emprego de múltiplas ferramentas num processo colaborativo e participativo permite que equipes de projetos possam atingir os objetivos de um projeto multidisciplinar. Contudo, ter-se-á de manter a coesão dos seus membros e produzir novos projetos para que ocorra maior produtividade. Caso contrário, se gasta mais tempo para sincronizar a equipe e maturar os resultados desejáveis.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Introdução

A proposta deste trabalho foi avaliar o emprego de algumas ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos no projeto de uma bancada para ensaios de fadiga, a qual apresenta características das diferentes áreas que compõe a mecatrônica. O conhecimento sobre o tema e suas nuances foram construídos por meio de uma revisão do estado da arte, complementados pelo acompanhamento de uma equipe de projeto de produtos formada nos moldes da engenharia simultânea.

A engenharia simultânea é realmente um eficiente meio para melhorar a qualidade dos produtos, reduzir o ciclo de desenvolvimento e conseqüentemente minimizar os custos de projeto, visto que muitas fases do processo são consideradas e abordadas conjuntamente por várias pessoas, antecipando problemas futuros. Esta escolha também propiciou observar a complexidade do trabalho entre especialistas das diferentes áreas em prol de um objetivo comum.

A tarefa de projetar sistemas mecatrônicos não é simples. Todavia, as ferramentas aplicadas no estudo de caso em questão já permitiram uma gama de análises pertinentes ao desenvolvimento de um produto desta natureza. Portanto, torna-se fundamental a criação de uma equipe multidisciplinar para desenvolver um produto de modo integrado, segundo os preceitos da engenharia simultânea.

É possível notar também, a partir deste estudo, a necessidade de criar uma cultura de desenvolvimento integrado no meio acadêmico, para que uma nova geração de projetista incorpore nos seus trabalhos os conceitos e as ferramentas da engenharia simultânea. É importante estabelecer os vínculos multidisciplinares existentes no projeto de produtos mecatrônicos, cada vez mais presentes no mundo contemporâneo.

Dentro desta linha de raciocínio, estudou-se o processo de desenvolvimento desde a fase de definição do problema, com a escolha das ferramentas de uso comum, até a fase preliminar do projeto, seguindo a seqüência metodológica proposta por Ferreira (1997) e Ogliari (1999). O estudo de caso foi um dos elementos mais importantes para obtenção dos dados. Estas informações complementaram aquelas levantadas na revisão bibliográfica. Acrescida à pesquisa aplicada aos componentes da equipe de projeto, aprofundou-se os aspectos subjacentes ao processo de desenvolvimento e uso das ferramentas de projeto. Deste modo, os objetivos propostos inicialmente neste trabalho foram sendo alcançados.

A maioria das ferramentas de projeto foi desenvolvida para domínios de conhecimento específicos, pois, ainda não há uma ferramenta padrão que englobe todos os domínios no perímetro da mecatrônica. Este fator dificulta a integração entre as diferentes áreas de conhecimento, visto que as pessoas possuem diferentes culturas, níveis variados de conhecimento e forma de trabalho. Por outro lado, o fato de utilizar múltiplas ferramentas enriquece o processo de desenvolvimento de novos produtos. Estas características são evidenciadas no estudo de caso quando, no capítulo 5, foram levantadas as condições de aplicabilidade das diversas ferramentas nas diferentes áreas abordadas: mecânica, elétrica, eletrônica e software.

O conhecimento das ferramentas e a troca de informação quanto ao emprego das mesmas, em seu campo específico, é imprescindível para um desenvolvimento integrado de produtos com ampla desenvoltura. Há um crescimento e aprendizado salutar entre os componentes da equipe de projeto desde o início do projeto informacional até a escolha de uma concepção preliminar do produto. O que foi constatado no processo quanto ao emprego de algumas ferramentas é que quanto maior o conhecimento da ferramenta em uso, maior é a interação da equipe, todavia maior também é o tempo gasto na tomada de decisões, pois, nem sempre o consenso ocorre de modo natural. Há de se prosseguir com a decisão da maioria.

2. Aspectos relevantes na aplicação das ferramentas DIP no projeto da bancada

É possível identificar indícios quando se levantou os aspectos referentes ao conhecimento prévio das ferramentas e seu grau de dificuldade de aprendizagem, em que a situação atual da escolha das ferramentas de trabalho é feita a partir primeiramente do conhecimento prévio e da facilidade de uso das mesmas. As mais complexas e de difícil aprendizado somente são solicitadas quando não há tecnologia da informação disponível para adequar um ambiente virtual do processo de desenvolvimento de produtos.

Na análise das ferramentas feita no capítulo 5 observou-se que aquelas com maior índice de conhecimento e facilidade de uso são as que mais oferecem flexibilidade e aplicabilidade nos diferentes domínios. Foi o caso das ferramentas matriz morfológica, matriz QFD e síntese funcional. O ideal é que se tenha uma infra-estrutura informatizada que propicie um ambiente multidisciplinar com várias ferramentas que permitam construir todo o projeto de um produto com suas características classificadas por área de atuação seguindo os passos metodológicos do projeto consensual.

Esta realidade ainda não está disponível atualmente, pelo menos para pequenos grupos de projeto. Todavia, o emprego das ferramentas específicas de cada área foi utilizado no estudo de caso da bancada, gerando os resultados parciais desta pesquisa descritiva. O que mostra a possibilidade de aplicá-las desde que se siga uma metodologia bem definida, que otimize as atividades e auxiliem na organização dos conhecimentos existentes e na formação de novos. No caso, a metodologia de projeto consensual de Ferreira M. (1997) e Ogliari (1999) atendeu as especificações da bancada para ensaios de fadiga.

Pode-se seguramente dizer que a metodologia de projeto melhorou o processo de projeto da bancada, dando-lhe uma diretriz, pois, o caminho trilhado pela equipe de projeto já estava delineado. Isto considerando que o projeto nada mais é do que uma transformação de informações segundo um modelo consensual a vários tipos de problemas, que visa satisfazer certas necessidades, e que para isto o conhecimento em todas as suas formas é essencial. E, guardadas as devidas proporções da adequação de cada ferramenta com certos tipos de problemas, esta melhoria é tanto maior quanto mais adequada à metodologia for ao problema.

Ao buscar levantar o estado da arte dos temas comuns aos diferentes domínios pôde-se observar que o projeto informacional de um produto é comum a todas as áreas correlatas a mecatrônica. Todas buscam de alguma forma estabelecer o que se pretende alcançar. No estudo de caso da bancada não foi diferente. Levantou-se as necessidades dos clientes por meio de uma entrevista aonde as respostas foram listadas numa tabela. A forma, ou instrumento usado não é relevante. Contudo, o processo de análise das necessidades por meio de várias sessões de debates é recomendável num projeto multidisciplinar. Questões não percebidas em um momento do projeto puderam ser discutidas, propiciando uma nova reflexão sobre os itens compilados. Aqui de forma ainda implícita, as características mecatrônicas do produto começaram a delinear-se. Entretanto, foi a partir da aplicação da ferramenta síntese funcional que todos os subsistemas tornaram-se explícitos.

Nesta linha de raciocínio pode-se afirmar que uma avaliação processual do desenvolvimento ao final de cada fase é fundamental para permitir o amadurecimento do projeto. Para isto, torna-se necessário ter um sistema de controle das informações com registro histórico, a fim de permitir uma tomada de decisão por parte da equipe de projeto.

O projeto com equipes multidisciplinares permitiu levantar as necessidades e requisitos da bancada englobando as distintas especificidades das áreas que integram a mecatrônica. Isto pôde ser conferido na análise funcional quando a função global foi subdividida em subsistemas elementares que evidenciaram a necessidade de se ter mecanismos de controle de velocidade, força, etc. E, posteriormente quando foram levantados os princípios de solução por meio da matriz morfológica, ao se propor princípios que são da área de eletrônica, como sensores de carga, posição ou ainda um atuador como um motor elétrico servo assistido para acionar o eixo mecânico para aplicação dos ciclos de flexão.

Deste modo é possível concluir que quanto mais abrangente for a formação da equipe de projeto maior probabilidade das características multidisciplinares do produto aflorarem. Contudo, o gerenciamento da equipe torna-se mais complicada pelos fatores já expostos, em relação às dificuldades de integração entre as diferentes áreas.

A partir das análises das tabelas apresentadas no capítulo 4, é possível levantar algumas conclusões do trabalho quanto à aplicabilidade das ferramentas de DIP. Estas tabelas mostram que; de acordo com os membros da equipe, as ferramentas Matriz da casa da qualidade (QFD), matriz morfológica e a síntese funcional são as mais promissoras para desenvolver produtos com características mecatrônicas. Estas técnicas apresentaram os maiores índices de aprovação tanto na questão referente à aplicação em domínios diferentes, quanto nos critérios de aplicabilidade definidos na pesquisa: simplicidade, flexibilidade, confiabilidade e completude.

Na parte prática verificou-se que a Matriz QFD, no seu primeiro desdobramento, mostra-se como uma ferramenta de grande apoio para organizar e avaliar de modo criterioso as necessidades e requisitos de forma sintética e objetiva, permitindo ordenar as prioridades do projeto sem perda de foco. Num primeiro momento têm-se a impressão de um gasto excessivo de tempo, mas este processo de construção da casa da qualidade é o elemento motor para motivar a criatividade sem devaneios. Esta permite, de modo global, contemplar as necessidades do produto listadas pela equipe multidisciplinar, inclusive classificá-las dentro dos diferentes domínios.

Entretanto, percebe-se que é uma ferramenta bem genérica que pode ser aplicada a múltiplas áreas, inclusive externa as engenharias. Não evidenciando seu emprego exclusivo a produtos mecatrônicos. Mas, sua capacidade de análise e síntese é preponderante no desenvolvimento de um produto mecatrônico por permitir organizar e classificar desde a primeira fase do desenvolvimento as necessidades dos clientes nos distintos domínios. Deste modo, pode-se atribuir a ferramenta Matriz QFD o *'status'* de certo nível de importância para auxílio à implementação da Engenharia Simultânea.

Durante o desenvolvimento do estudo de caso, observou-se que a ferramenta da matriz da qualidade (QFD) associada à matriz contradição da TIPS mostrou-se formidável para avaliação dos requisitos e soluções dos conflitos existentes entre eles, permitindo explorar soluções em diferentes domínios de conhecimento. Entretanto, devido ao baixo nível de conhecimento de suas funcionalidades, por parte da equipe de projeto, conforme visto no capítulo anterior, a mesma ficou relegada a um segundo plano. Fato que corrobora com as afirmações de que o conhecimento das ferramentas é imprescindível para desenvolver um produto com boa desenvoltura.

A ferramenta matriz morfológica cumpre a função de estimular a criatividade na busca de soluções explicitando muitas vezes dispositivos, mecanismos, sensores, atuadores etc., do produto, e facilita a construção de diversas concepções. Esta característica pode ser

comprovada, por exemplo, no subsistema ‘ajustar parâmetros/dispositivo de aplicação de força’, onde foram apresentados seis princípios de solução: garra hidráulica, torquímetro, mola/dinamômetro, manual com mola, manual com extensômetro, amortecimento eletrônico (circuito RCL). Entretanto, não se consegue filtrar princípios inviáveis tecnologicamente ou visivelmente descartáveis, aumentando o número de combinações que serão analisadas e possivelmente inutilizadas por estarem fora das especificações do projeto. Este aspecto colabora para aumentar o tempo e custo do desenvolvimento do produto.

Assim como a matriz QFD permite implementar o trabalho em equipe multidisciplinar, a ferramenta síntese funcional se destaca por distinguir todas as áreas de um produto mecatrônico. É a partir da síntese funcional que todos os subsistemas do produto ficaram evidenciados, por exemplo, no subsistema ‘aplicar ciclos de flexão’ verifica-se a necessidade de dispositivos que controle a amplitude, força, monitore a temperatura, conte e armazene os ciclos de ensaio e permita visualizar estes resultados a medida ocorra o ensaio.

O estudo de caso da bancada revelou, por meio da síntese funcional, que todas as áreas envolvidas no projeto podem prosseguir paralelas em suas especificidades. Isto é, foi na segmentação da função global em funções básicas que se observou o que seria implementado na elétrica, eletrônica, mecânica e quais parâmetros e sinais seriam necessários para estabelecer o controle e desenvolver os códigos da programação. Tendo-se a compreensão do funcionamento do produto e suas interfaces foi possível modelar o sistema tanto na UML quanto em Rede de Petri. Mesmo que em caráter parcial, apenas para verificar a aplicabilidade da ferramenta.

A síntese funcional não explicitou, por exemplo, a forma que teria o atuador para flexionar o corpo de prova, nem o tipo de sensor que verificaria a posição da amostra ou que tipo de linguagem seria utilizado para estabelecer a interface do sistema de aquisição de dados com o sistema computacional ou com o usuário. Contudo, tornou visível que para os subsistemas desempenharem suas funções conforme estabelecidas nas especificações do projeto, estes fatores teriam que ser construídos (virar realidade, se tornar concreto).

As especificações de projeto auxiliaram a análise funcional da bancada. No entanto, ao elaborá-la, tem-se uma situação de desconforto, pois, sabe-se que o produto necessita realizar uma determinada função, entretanto, ainda não se estabelece os dispositivos de atuação ou monitoramento. Este aspecto torna a ferramenta bem abstrata, indo de encontro ao pragmatismo dos engenheiros que compõe a equipe de projeto, visto que a tendência é sugerir, de imediato, soluções prontas e já consolidadas. Isto pode ser um empecilho para a criatividade e necessita um cuidado especial por parte da equipe de projeto.

Prosseguindo na busca de respostas as questões formuladas sobre a aplicabilidade das ferramentas DIP, o estudo de caso da bancada permitiu constatar que 86% dos entrevistados consideram a síntese funcional a ferramenta com maior probabilidade de aplicação nos diferentes domínios, além de diferir da matriz morfológica, que obteve maior índice; em apenas 1,32 pontos percentuais, nos itens referentes à flexibilidade, simplicidade, confiabilidade e completude. Se considerarmos também os aspectos já relacionados anteriormente é possível concluir que a ferramenta síntese funcional detém as melhores características para que ocorra um desenvolvimento integrado de produtos que propicie melhorias significativas na qualidade dos projetos multidisciplinares, como no caso da bancada para ensaios de fadiga.

Dentre as ferramentas que envolveram as áreas de controle e software o diagrama de blocos é o mais simples de ser visualizado e construído, entretanto, é bastante complexo implementá-lo, visto que não se conhece o comportamento prévio do sistema e, portanto, construir as equações de estados para o controle não foi tarefa trivial, ficando assim deixada para trabalhos futuros. Os diagramas de modelagem da UML foram parcialmente construídos, a partir da síntese funcional, com um especialista em sistemas computacionais. O objetivo foi

verificar a possibilidade de estabelecer os diagramas a partir da análise funcional, o que foi plenamente comprovado, conforme apresentados na descrição da bancada. Contudo, estes diagramas não estão completos e precisam ser refinados e concluídos também em trabalhos futuros.

Por fim, a rede de Petri (RdP) do subsistema ‘aplicar ciclos’ foi modelada e simulada por meio do software Visobjnet++, mostrando também a possibilidade de uso de uma ferramenta de modelagem dinâmica do sistema. Ficou evidente a dificuldade de aprendizado da ferramenta com suas múltiplas condições (estados, transições, arcos etc.) para construção e estabelecimento das condições iniciais do sistema. Seguir uma seqüência metodológica bem mapeada é recomendável, sem a qual, tornar-se-ia longo e árduo o processo de sua modelagem.

É importante ressaltar que, somente após a geração da concepção do produto foi possível analisar a viabilidade tecnológica e econômica da solução escolhida. Este fato mostra quão importante é seguir uma metodologia que permita registrar as informações consolidadas em cada fase, pois, uma decisão inicial imatura por parte da equipe de projeto, pode comprometer significativamente os resultados finais do produto. Em se tratando de produtos mecatrônicos, esta decisão é complexa, pois envolve inúmeros fatores relativos a distintos domínios de conhecimento, conforme já explanados no decorrer deste trabalho.

3. Conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros

O projeto de alguns tipos de sistemas técnicos já possui metodologia e ferramentas próprias que evoluem rapidamente e de forma contínua devido ao alto grau de inovações tecnológicas e emprego em larga escala, como é o caso de aparelhos celulares, computadores etc. No entanto, algumas classes de sistemas técnicos, como a de máquinas para realizar ensaios, ainda não possuem uma metodologia e ferramental específico para um projeto estabelecido, o que pode provocar um número bastante grande de dificuldades quanto a sua criação, inovação e atualização, o que não significa que estes tipos de sistema não sejam projetados e construídos. Isto pôde ser observado no estudo de caso da bancada para ensaios de fadiga, aqui descrita. Todavia, ainda estão relativamente fragmentados.

As afirmações de Negri (1997 *apud* SANTOS, 2003) corroboram para o que foi descrito. Segundo o autor, o projeto de sistemas automáticos tem sido conduzido tradicionalmente de acordo com as orientações dadas pelos fabricantes de hardware e de aplicativos computacionais, pressupondo que o projeto físico já esteja concebido ou implementado. Embora a equipe de projeto tendo sido constituída de forma multidisciplinar, englobando indivíduos de várias áreas, após conceber uma solução, ainda constataram que os especialistas em controle mantiveram a preferência em estabelecer os diagramas de controle após uma concepção física da bancada ratificando as observações de Bonfe et al (2002). Esta situação de projeto está parcialmente descrita no desenvolvimento da bancada de ensaios, apesar de ter como proposta um desenvolvimento integrado, algumas etapas transcorreu conforme a prática comum (parcialmente integrado), como explanado anteriormente.

As ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos podem ser utilizadas com as devidas restrições e cuidados, desde que guiadas por uma equipe multidisciplinar que tenha domínio de suas funcionalidades. Este processo permitiu que os componentes da equipe adquirissem familiaridade com seu emprego e deu-se início ao processo de reeducação estimulando a criação de uma cultura para desenvolver produtos mais complexos com características mecatrônicas.

Ao término deste processo de desenvolvimento da bancada pôde-se perceber uma maior interação entre os componentes da equipe de projeto, visto que conviveram por muitas

horas pensando e aplicando as diversas ferramentas em várias fases do projeto. Nesta linha pode-se inferir que quanto maior for esta afinidade da equipe melhor a qualidade dos seus resultados. O que pode ter como parâmetro de avaliação o atendimento satisfatório às especificações definidas no projeto informacional.

Finalmente pode-se ressaltar do estudo de caso da bancada a necessidade de estabelecer uma metodologia que priorize as ferramentas da casa da qualidade e da síntese funcional, nas suas respectivas etapas, informacional e conceitual por meio de equipes multidisciplinares, vistos que estas foram evidenciadas neste estudo como as mais promissoras para fundamentar o projeto de produtos multidisciplinares. Os passos metodológicos podem ser transformados em software que permitam entrar com as necessidades e requisitos, assim como os valores ponderados atribuídos pelos clientes, e gerar como saída os requisitos funcionais ou especificações do projeto em ordem de prioridades. Deste modo ter-se-ia ganho de tempo numa das fases mais demoradas do projeto, conforme opinião dos entrevistados.

Convém destacar que já existe, em fase de experimentação projetos como o do grupo de engenharia de produtos e processos da UFSC, USP e UFSCAR, que propõe uma arquitetura para implementação de sistemas computacionais colaborativos que buscam auxiliar as fases do processo de projeto informacional e conceitual; aonde as ferramentas específicas de gerenciamento de projetos e comunicação são estruturadas baseadas numa metodologia de projetos. Maiores detalhes podem ser obtidos na homepage: www.pdp.org.br; ou em trabalhos como o de FERREIRA (2006). Todavia, faz-se necessário testar a amplitude e validação para sistemas com características mecatrônicas, conforme a bancada de ensaios.

Este trabalho também pode servir como base para uma avaliação de alguma das estruturas propostas por um destes grupos de pesquisa, no projeto de um produto mecatrônico, como no caso da bancada e estabelecer comparações entre o que foi descrito aqui e o obtido com a nova estrutura desenvolvida pelos referidos grupos de pesquisas.

Há também propostas de trabalhos futuros visando à conclusão do projeto detalhado da bancada e construção de um protótipo para testes e validação. Para tanto, são necessários também o desenvolvimento de toda a estrutura de controle utilizando uma das ferramentas de projeto de controle, além de escrever os códigos de programação (estruturada ou orientada a objetos) que permitirão o sistema de aquisição de dados, o usuário e o sistema computacional comunicar entre si. Isto permitirá que a bancada para ensaios de fadiga cumpra seu requisito funcional de gerar os relatórios parciais e totais do ensaio de fadiga.

Grupos de pesquisas voltados para área de software podem refinar toda a estrutura de modelagem de programação orientada a objetos, via UML e implementar toda a rede de Petri da bancada permitindo uma visualização dinâmica do seu funcionamento através do MATLAB ou do próprio Visobjnet++.

Algumas sugestões de temas para trabalhos futuros podem ser apresentadas como segue:

1. Aplicação da Rede de Petri temporizada na modelagem de uma bancada para ensaios de fadiga em plásticos.
2. Modelagem em UML do sistema de controle de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.
3. Aplicação dos diagramas de blocos para controle de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.

REFERÊNCIAS

ASHBY, M. F. **Materials selection mechanical design**. Department of Engineering, Cambridge University, England, second edition, 1999.

ASTM STANDARD D671, Standard test method for flexural fatigue of plastic by constant-amplitude-of-force. An American National Standard; Annual Book of ASTM Standard, vol 08.01. Dec 1993.

BARROS, J. P. M. P. R. **CpPNeTS: Uma Classe de Redes de Petri de Alto-nível. Implementação de um sistema de suporte à sua aplicação e análise**. 1996. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Departamento de Informática, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. URL: <http://www.estig.ipbeja.pt/~jpb/BarrosTeseDeMestrado.pdf> (último acesso em 27 de outubro de 2006).

BLOOM, B. S.; HASTINGS, J. T. & MADAUS, G. F. **Manual de Avaliação Formativa e Somativa do Aprendizado Escolar**. McGraw-Hill, 1971.

BONFE, M.; DONATI, C. e FANTUZZI, C. **An Application of Software Design Methods to Manufacturing Systems Supervision and Control Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications**. Glasgow, Scotland, UK. 2002.

BOOTHROYD, G; DEWHURST, P & KNIGHT, Winston A. **Product design for manufacture and assembly**. New York: Marcel Dekker. 1994. 540p.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução**. Editora LTC, 5ª edição, 2002. Apêndice B, p. 542.

COSTA, Eduard Montgomery M. e GÓES, Gilberto Bispo da S. Apostila: **Redes de Petri, Controle Supervisório e Controladores Lógicos Programáveis**. UFBA, 2003. 66p.

CHAGAS, Anivaldo Tadeu R. **O questionário na pesquisa científica**. Artigo, Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado. Administração online – ISSN 1517-7912, Vol. 1, nº 1, março 2000. URL: http://www.fecap.br/adm_online/art11/anival.htm (último acesso em 08 de janeiro de 2007).

CHEN, Y. M.; TSAO, T. H. **A structured methodology for implementing engineering data management**. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. v.14. 1998.

CHIN, K; WONG, T. **Knowledge-based Evaluation for the Conceptual Design Development of injection Molding Parts**. In: *Engng Applic. Artificial Intelligence*, v.9, n.4. 1996.

DARÉ, Giovanni. **Proposta de um modelo de referência para desenvolvimento integrado de componentes de plásticos injetados**. 2001. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

DE NEGRI, V. J.; PAES, F. H. S. **Sistematização do projeto de automação de sistemas mecatrônicos com aplicação às pequenas centrais hidroelétricas**. III Seminário Nacional de Controle e Automação, 2003.

DE NEGRI, V. J. **Estruturação da Modelagem de Sistemas Automáticos e sua Aplicação a um banco de testes para sistemas hidráulicos**. Florianópolis. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia elétrica) – Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina.

_____. **Introdução aos sistemas para automação e controle industrial**. Apostila de curso. Pós-graduação em engenharia mecânica – UFSC, 2004. 52 p.

DRATH, R., **Visual Object Net ++**. URL: http://www.systemtechnik.tu-ilmenau.de/~drath/visual_E.htm. Technical University of Ilmenau, Alemanha, 2004. (último acesso em outubro de 2006).

FERREIRA, Marcelo Gitirana G. **Utilização de Modelos para a Representação de Produtos no Projeto Conceitual**. Florianópolis. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina.

_____, M. G. Gomes. **Requisitos e Arquitetura para sistemas de apoio à colaboração nas fases iniciais do processo de projeto**. 230f. Florianópolis. Fevereiro de 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina.

FERREIRA, Cristiano V. **Apostila sobre TIPS – Theory of Inventive Problem Solving**. Departamento de Engenharia Mecânica, NeDIP – Núcleo de desenvolvimento integrado de produtos. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina. 2000.

FORCELLINI, Fernando Antônio. **Projeto Conceitual**. Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos. UFSC/CT. Março 2003.

GUERRERO, Vander. **Análise do Gerenciamento de Informação em um Ambiente Colaborativo e Distribuído de Desenvolvimento de Produto**. 136f. 2001. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

HAYDT, R. C. **Avaliação do Processo Ensino-Aprendizagem**. 6ª ed. São Paulo: Ática, 2000.

LUBISCO, Nídia Maria L. **Manual de estilo acadêmico: monografias, dissertações e teses**. Nídia M. L. Lubisco; Sônia Chagas Vieira revisão e sugestões de Isnaia Veiga Santana. 2. ed. rev. e ampl. – Salvador: EDUFBA, 2003. 145p.; il.

MAIA, Marta de Campos; MENDONÇA, Ana Lúcia e GÓES, Paulo. **Metodologia de ensino e avaliação de aprendizagem**. In: Avaliação de um curso de ensino à distância. Fundação Getúlio Vargas – EAESP. 2005.

MICHAELIS. **Dicionário Multimídia: Português, Inglês e Espanhol**. [São Paulo]: UOL, c2000. 1 CD.

MICROSOFT Visio® Professional 2002 for Windows: Create, edit and share diagrams. Version (10.0.5110). Microsoft Corporation, 2002. 1 CD-ROM.

NORTON, Robert L. **Machine Designer and Integrated Approach**. New Jersey. Prentice Hall/Upper Saddle River. 1998. 985p.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno**. Tradução Paulo Álvaro Maya; revisão técnica Fabrício Leonardi et al. 4 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

OGLIARI, André. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plástico injetado**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia de Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina.

PAES, Fred Henrique S. **Sistematização da modelagem no projeto de sistemas mecatrônicos exemplificada na automação de centrais hidrelétricas**. 2001. Dissertação de Mestrado (mestrado em Engenharia mecânica). Programa de Pós-graduação em engenharia mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach - 2Rev.ed**, Berlin: Springer – Verlag London Limited. 1996.

PIMENTEL, Márcio de Souza. **Projeto Preliminar de uma Bancada para Ensaios de Fadiga em Termoplásticos**. 2006. 73f. Monografia (conclusão de curso de Bacharel em Engenharia Mecânica da UFBA). Universidade Federal da Bahia – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica. Salvador – Ba.

PIZZATO, Alex e FORCELLINI, Fernando Antônio. **Sistemática de Projeto para Produtos Modulares com Aplicação em Móveis**. 1998. 160f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico, Florianópolis.

POSTSCA, Gerd & MICHAELI, Walter. **Injection Molding and Introduction**. New York. Hanser/Gadner Publications Inc. 1995. 194p.

PRASAD, B.; WANG, F. e DENG, J. **A concurrent Workflow Management Process for Integrated Development**. In: Journal Engineering Design. Vol. 9, nº 2. 1998.

ROOZEMBURG, N. F. M. & EEKELS, J. **Product Desing. Fundamentals and Methods**. Chichester. John Wiley & Sons. 1995.

ROTATIONAL Rose® 2000e for Windows 2000: Edition for Unified Modeling Language. Version (2000.02.10). Rotational Software Corporation, 1991-2000. 1 CD-ROM.

RUMBAUGH, James; BLAHA, M.; PREMERLANI W.; EDDY, F. and LORENSEN W. **Object-Oriented Modeling and Design**. Prentice-Hall, 1996.

SANTOS, Eduardo A.P. **Contribuições ao Projeto Conceitual de Sistemas de Manipulação e Montagem Automatizados**. 280f. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SHETTY, Devdas & KOLK, Richard A. **Mechatronics System Design**. PWS Publishing Company, a division of International Thompson Publishing, Inc. Boston. 1997.

SILVA, Sérgio Luis da. **Proposição de um Modelo para Caracterização das Conversões do Conhecimento no Processo de Desenvolvimento de Produtos**. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

SOUTO, Rodrigo Barbosa. **Projeto de sistemas automáticos com modelagem e controle da comunicação com o ambiente externo**. 2005. Dissertação (mestrado em Engenharia mecânica). Programa de Pós-graduação em engenharia mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

SMITH, Robert P. **The Historical Roots of Concurrent Engineering Fundamentals**. IEEE Transaction on Engineering Management. V.44, nº 1. 1997.

SPRAGUE, R. A.; SING, K. J. & WOOD, R. T. **Concurrent Engineering in Product Development**. In: IEEE Design & Test of Computer. Vol. 8, nº 1. March, 1991.

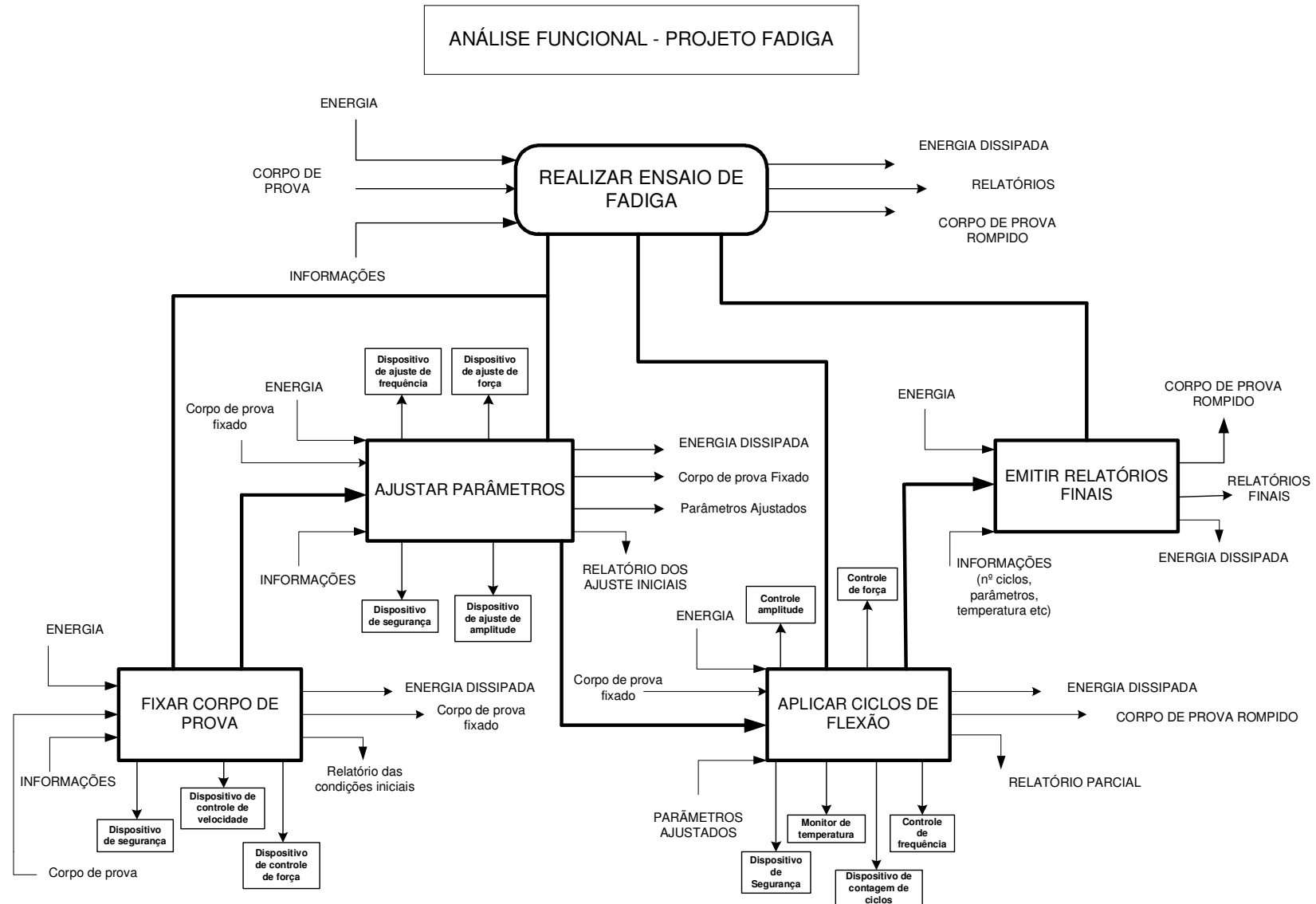
THESKA, René. **Precision Engineering**. In: Apresentação de Tópicos Especiais de Engenharia de Precisão. UFBA, 2004. By: DAAD - Technische Universität Ilmenau. Department of Precision Engineering.

TROTIGNON, J. P. **A new universal fatigue machine for plastics and composites**. Elsevier Science Limited, Paris-France, 1995, Polymer testing 14, 129-147. Received 28 may 1994, accepted 5 july 1994.

ULLMAN, David G. **The Mechanical Design Process**. 3th Edition. New York. Mc Graw – Hill. 2003. 415p.

APÊNDICES

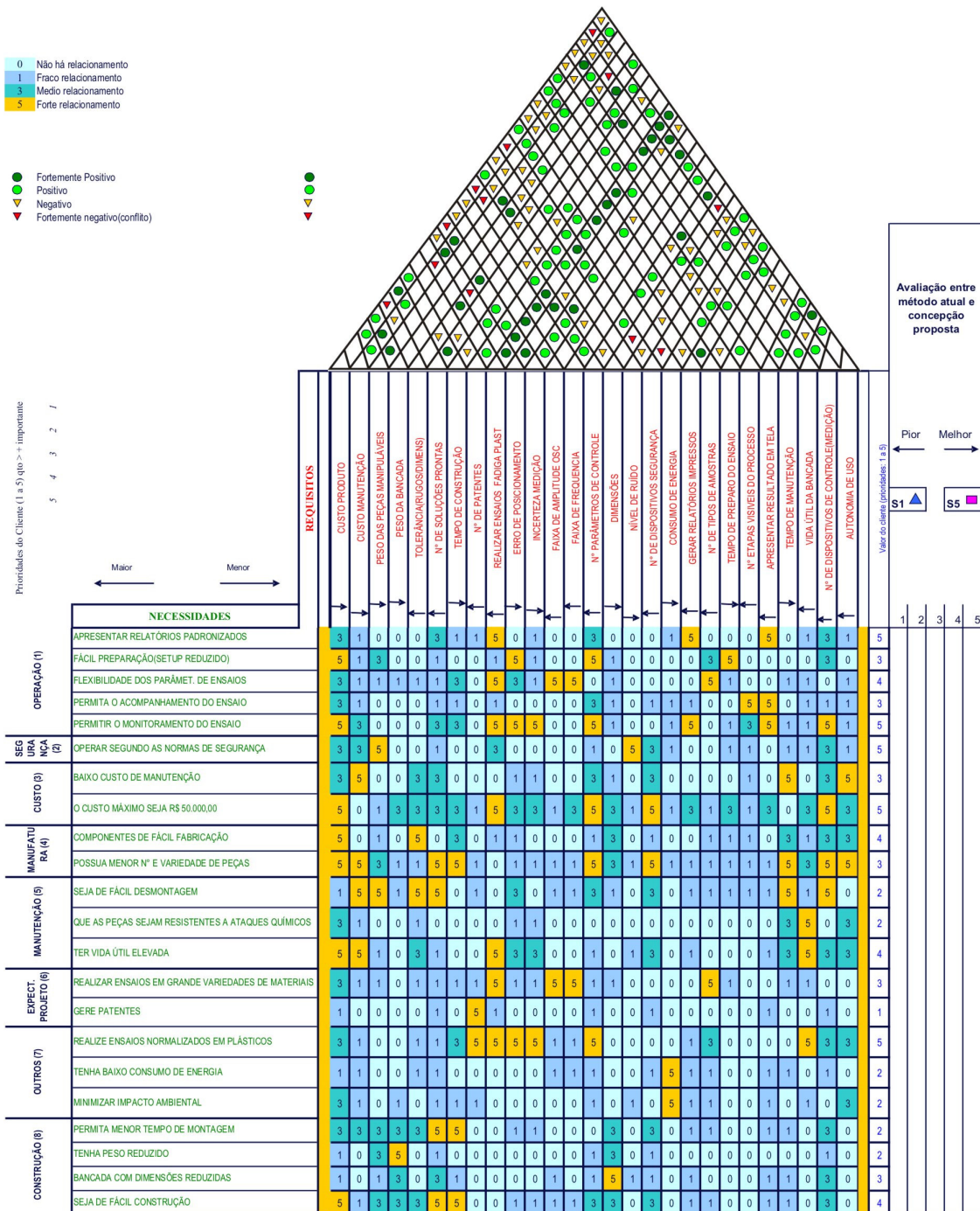
APÊNDICE A – Síntese Funcional: Análise funcional da bancada para ensaios de fadiga.



APÊNDICE B – Matriz da casa da qualidade (QFD), primeiro desdobramento.

- 0 Não há relacionamento
- 1 Fraco relacionamento
- 3 Medio relacionamento
- 5 Forte relacionamento

- Fortemente Positivo
- Positivo
- ▲ Negativo
- ▼ Fortemente negativo(conflicto)



Unidades	RS	RS	Kg	Kg	%	n°	min	n°	%	%	mm	Hz	n°	m	db	n°	kmh	%	n°	min	n°	%	min	ano	n°	h	
Valor estimado do grau de importância (soma ponderada)	252	129	100	83	103	152	130	50	181	131	104	59	69	182	96	42	115	49	95	83	54	52	103	98	112	197	119
Classificação por ordem de prioridade (>val.>-priori)	1	8	21	19	5	7	25	4	6	12	22	20	3	16	27	10	25	16	15	23	24	13	11	2	3	9	

Análise Classificação











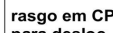





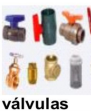
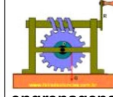

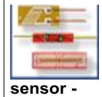



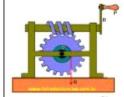


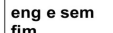
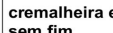




- mais importantes - rebaixar?
- médios - promover ou rebaixar?
- menos importantes - dúvidas







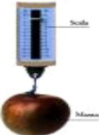



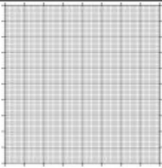

ATENÇÃO!
Analisar os valores extremos, da escala de prioridades.
Obs: Os n° acima foram exemplos para TESTAR funções!







TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE GRAU DE IMPORTÂNCIA DOS REQUISITOS

REQUISITOS :	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27		
VALORES :	252	129	100	83	103	152	130	50	181	131	104	59	69	182	96	42	115	49	95	83	54	52	103	98	112	197	119		
MENOR E MAIOR	42	46	50	52	56	59	63	66	69	73	77	81	85	89	93	98	103	108	112	115	119	123	130	131	152	181	182	197	252
ORDENADOS :	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		

APÊNDICE C – Matriz Morfológica da Bancada para Ensaio de Fadiga.

MATRIZ MORFOLÓGICA									
Função	Sub-sistema	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4	Solução 5	Solução 6	Solução 7	
FIXAR CORPO DE PROVAS	DISPOSITIVO DE ACIONAMENTO	 manual (mecânico)	 botão elétrico	 pedaleira hidráulica	 botão hidráulico	 alavanca			
	DISPOSITIVO DE FIXAÇÃO	 garra	 mandril	 cunha	 parafuso-porca	 tipo castelo	 rasgo em CP para desloc.	 garra com mov horizontal	
	DISPOSITIVO DE CONTROLE DE VELOCIDADE	 engrenagens	 motor de passo	 manual	 dispositivo hidráulico	 válvulas	 engrenagens + parafuso sem fim		
	DISPOSITIVO DE CONTROLE DE FORÇA PARA FIXAÇÃO	 torquímetro	 sensor - strain gauge	 mola - dinamômetro	 deslocamento				
	DISPOSITIVO DE POSICIONAMENTO DO CORPO DE PROVA	movimentação do dispositivo de fixação				movimentação da parte motora			
		 barramento manual	 eng e sem fim	 cremalheira e sem fim			 barramento manual	 eng e sem fim	 cremalheira e sem fim
	DISPOSITIVO DE SEGURANÇA	 trava porta	 capela	 sensor de toque - fim de curso	 sem controle				

AJUSTAR PARÂMETROS	DISPOSITIVO DE AJUSTE DE AMPLITUDE	 garra manipuladora	 servo motor	 biela + manivela com escala	 came				
	DISPOSITIVO DE AJUSTE DE FORÇA/sensor	 garra hidráulica	 torquímetro	 mola - dinamômetro	 manual com mola	 manual com straingauge	amortecimento eletrônico		
	DISPOSITIVO DE SEGURANÇA	 foto sensor	sensor - capacitivo	 sensor de toque - fim de curso					
	DISPOSITIVO PARA VISUALIZAR RELATÓRIO	 monitor + software	 papel milimetrado	 tv + câmera	IHM				

		Controle por posicionamento			Controle por amplitude			
APLICAR CICLOS	DISPOSITIVO PARA CONTROLE DE TENSÃO	 barramento manual	 eng e sem fim	 cremalheira e sem fim	 sistema de molas concentricas	 amortecedor eletrônico circuitoRLC		
	DISPOSITIVO PARA CONTROLE DE VELOCIDADE CONTÍNUA	 encoder	 potenciômetro	 motor de passo	 servo motor	 sistema hidráulico		
	DISPOSITIVO PARA MONITORAR TEMPERATURA	 termopar	 termômetro de radiação	 termômetro de mercúrio	 resistor			
	DISPOSITIVO PARA CONTAGEM DE CICLOS	 encoder	 odômetro	 contador				
	DISPOSITIVO DE SEGURANÇA	 foto sensor	 câmara	 sensor capacitivo	 chave final de curso	 olho humano	 porta com sensor de abertura	
	DISPOSITIVO PARA APRESENTAR RELATÓRIO FINAL	 computador	 IHM (interface homem máquina)	 internet				
	EMITIR RELATÓRIOS	 impressora	 t	 Interne				

APÊNDICE D – Instrumento de Pesquisa (Questionário Orientado).

Este instrumento tem como finalidade avaliar o uso das ferramentas (DIP) aplicadas no projeto de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos e levantar alguns aspectos do processo de desenvolvimento do projeto.

Conforme apresentado no capítulo 2, e adaptado para o estudo em foco, as características de uma ferramenta de qualidade envolvem os conceitos apresentados e reproduzidas a seguir.

Características de uma ferramenta de qualidade

Características	Descrição
1. Precisa	Uma informação (ferramenta) precisa é aquela que não contém erros. Em alguns casos, a imprecisão é resultado da transformação de dados incorretos.
2. Completa	Uma ferramenta completa contém todos os parâmetros importantes que compõem seu significado.
3. Econômica	O custo de uma ferramenta é um fator importante para a sua qualidade, por exemplo: Muitos softwares de CAE permitem fazer simulações complexas, entretanto seu custo é bastante elevado.
4. Flexível	A ferramenta flexível pode ser utilizada para diversas finalidades, ou seja, quanto maior o número de decisões que podem ser tomadas com uma determinada aplicação, maior é a sua flexibilidade e maior sua qualidade.
5. Confiável	A confiabilidade de uma ferramenta é um indicador de sua qualidade. Na maioria dos casos a confiabilidade está associada à fonte da informação.
6. Relevante	Toda informação é relevante pela sua definição, ou seja, a ferramenta é um conjunto auxiliar do projeto que faz a diferença. Contudo, diferentes níveis de relevância indicam diferentes níveis de qualidade da ferramenta.
7. Simples	Uma ferramenta de qualidade deve estar limitada aos aspectos essenciais, sem complexidade desnecessária.
8. Em tempo	A ferramenta deve estar disponível por um maior período de tempo para que sua qualidade não seja comprometida;

(Fonte: GUERRERO, 2001. Adaptado).

Estas características devem ser buscadas no processo de desenvolvimento, a fim de garantir a qualidade das informações e conhecimentos gerados.

As questões objetivas devem ser respondidas conforme código apresentado.

O espaço disponibilizado deverá ser usado para justificar o motivo da escolha.

As questões subjetivas visam obter uma opinião mais detalhada do tema proposto.

Identificação:

Formação:

Objetivo: 1	Caracterizar as ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, no caso, da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, conforme parâmetros a seguir:
------------------------------	--

1. Atribua valores segundo o código.

1	Não se aplica	2	Não Satisfaz	3	Baixo	4	Médio	5	Alto
----------	---------------	----------	--------------	----------	-------	----------	-------	----------	------

Ferramentas	Características							
	Precisa	Completa	Econômica	Flexível	Confiável	Relevante	Simples	Em tempo
Matriz QFD								
Matriz Contradição								
DFMA								
Síntese Funcional								
Matriz morfológica								
Diagrama de blocos								
Diagrama de classe								
Diagrama de seqüência								
Diagrama de caso de uso								
Rede de Petri								

2. Descreva os aspectos mais relevantes.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Matriz QFD		
Matriz Contradição		
DFMA		
Síntese Funcional		
Matriz morfológica		
Diagrama de blocos		
Diagrama de classe		
Diagrama de seqüência		
Diagrama de caso de uso		
Rede de Petri		

3. Assinale com X.

Ferramentas	Questão: Havia conhecimento prévio da ferramenta?	
	Sim	Não
Matriz QFD		
Matriz Contradição		
DFMA		
Síntese Funcional		
Matriz morfológica		
Diagrama de blocos		
Diagrama de classe		
Diagrama de seqüência		
Diagrama de caso de uso		
Rede de Petri		

Questão 4:	Há outras ferramentas de seu conhecimento que poderiam ser aplicadas?		
	Nome	Funcionalidade	Área
1			
2			
3			

5. Assinale com X.

Ferramentas	Questão: Quanto ao processo de aprendizagem pode-se classificar em:		
	Fácil	Moderado	Difícil
Matriz QFD			
Matriz Contradição			
DFMA			
Síntese Funcional			
Matriz morfológica			
Diagrama de blocos			
Diagrama de classe			
Diagrama de seqüência			
Diagrama de caso de uso			
Rede de Petri			

6. Assinale com X.

Ferramentas	Questão: Como vê a aplicação da ferramenta em novos projetos?		
	Fundamental	Importante	Prescindível
Matriz QFD			
Matriz Contradição			
DFMA			
Síntese Funcional			
Matriz morfológica			
Diagrama de blocos			
Diagrama de classe			
Diagrama de seqüência			
Diagrama de caso de uso			
Rede de Petri			

7. Responda conforme código:

- 1 Não se aplica
 2 Aplicável, entretanto, precisa de adaptações.
 3 Aplicável

Ferramentas	Questão: Como você vê a aplicação da ferramenta em diferentes domínio de conhecimento?			
	Mecânica	Elétrica	Eletrônica	Software
Matriz QFD				
Matriz Contradição				
DFMA				
Síntese Funcional				
Matriz morfológica				
Diagrama de blocos				
Diagrama de classe				
Diagrama de seqüência				
Diagrama de caso de uso				
Rede de Petri				

Objetivo: 2	Caracterizar o processo de desenvolvimento integrado de produtos, no caso, da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.
Questão 1:	Descreva com suas palavras como foi o processo de desenvolvimento da bancada, levando em consideração o emprego das ferramentas de projeto.

APÊNDICE E – Parâmetros de Engenharia.

Tabela 45 – Parâmetros de Engenharia.

39 - PARÂMETROS DE ENGENHARIA DA TIPS

ITEM	PARÂMETRO	DESCRIÇÃO	ITEM	PARÂMETRO	DESCRIÇÃO
1	PESO OBJ MÓVEL	Massa do objeto no campo gravitacional.	21	POTÊNCIA	A taxa de tempo no qual uma ação é executada, ou a taxa de uso da energia.
2	PESO OBJ ESTÁTICO	Massa do objeto no campo gravitacional.	22	PERDA ENERGIA	Corresponde ao uso de energia que não contribui para realização de uma ação.
3	COMPRIMENTO OBJETO MÓVEL	Qualquer dimensão linear, não necessariamente a maior.	23	PERDA SUBSTÂNCIA	Corresponde à perda de alguns dos materiais, substâncias do sistema. Pode ser parcial, completa, temporária ou permanente.
4	COMPRIMENTO OBJETO ESTÁTICO	Qualquer dimensão linear, não necessariamente a maior.	24	PERDA INFORMAÇÃO	Corresponde a perda ou aquisição de dados que ocorrem no sistema. Pode ser parcial ou total, temporária ou permanente.
5	ÁREA OBJETO MÓVEL	A medida da superfície interna ou externa.	25	PERDA DE TEMPO	Tempo é a duração de uma atividade. Reduzindo as perdas de tempo, o tempo necessário para executar a atividade será minimizado.
6	ÁREA OBJETO ESTÁTICO	A medida da superfície interna ou externa.	26	QUANTIDADE DE SUBSTÂNCIA	Corresponde ao nº ou a quantidade de materiais das substâncias, das partes, dos subsistemas que podem ser alterados.
7	VOLUME OBJETO MÓVEL	A medida cúbica do espaço ocupado pelo objeto.	27	CONFIABILIDADE	Habilidade do sistema executar suas funções de modo previsível.
8	VOLUME OBJETO ESTÁTICO	A medida cúbica do espaço ocupado pelo objeto.	28	PRECISÃO DA MEDIDA	A proximidade entre o valor especificado e o valor medido de uma propriedade do sistema. Reduzindo o erro melhora a precisão.
9	VELOCIDADE	Corresponde à distância percorrida em função do tempo.	29	PRECISÃO DA MANUFATURA	Correspondem as características e os requisitos do sistema obtidos durante o

					processo de manufatura em relação as especificadas.
10	FORÇA	Na Física Newtonia, $F = m \times a$. Na TIPS é qualquer interação que ocorre no sentido de alterar o estado de um objeto.	30	FATORES PREJUDICIAIS EXTERNOS AO OBJETO	Fatores externos que influenciam o sistema causando perda de eficiência do sistema.
11	TENSÃO, PRESSÃO	Força por unidade de área.	31	EFEITOS COLATERAIS DA AÇÃO DO OBJETO	Um efeito prejudicial é aquele que causa a redução da eficiência ou qualidade do sistema. São gerados pelo próprio sistema como resultado de sua operabilidade.
12	FORMA	Contorno externo, aparência do sistema.	32	MANUFATURABILIDADE	Refere-se ao grau de facilidade, conforto ou esforço despendido na fabricação do sistema.
13	ESTABILIDADE	Integridade do sistema e a relação entre seus componentes. Uso, decomposição química e desmontagem diminuem a estabilidade.	33	CONVENIÊNCIA USO	Simplicidade. Os sistemas simples são preferidos aos complexos, pois é mais executar as suas funções. Quanto maior nº de processos e pessoas maior complexidade.
14	RESISTÊNCIA	Ponto até o qual o Objeto resiste a mudar de estado.	34	REPARABILIDADE	Características de qualidade do sistema: conveniência, conforto etc.
15	DURABILIDADE DO OBJETO MÓVEL	Tempo que o objeto pode executar a ação até q ocorra uma falha. Tempo de vida.	35	ADAPTABILIDADE OU VERSATILIDADE	Tem a ver com a resposta do sistema as mudanças externas. Em poder ser utilizado em modo e circunstâncias diferentes.
16	DURABILIDADE DO OBJETO ESTÁTICO	Tempo que o objeto pode executar a ação até q ocorra uma falha. Tempo de vida.	36	COMPLEXIDADE DO DISPOSITIVO	Corresponde ao nº, a relação e a diversidade de componentes do sistema. O usuário aumenta a complexidade.
17	TEMPERATURA	A condição térmica do sistema. Inclui outros parâmetros como: capacidade térmica.	37	COMPLEXIDADE DE CONTROLE	A dificuldade de medir (detectar, controlar) e obter informações para diagnosticar e corrigir o sistema no tempo.
18	BRILHO	Fluxo de luz por unidade de área, ou outra característica de iluminação do sistema.	38	NÍVEL AUTOMAÇÃO	Até que ponto um sistema executa suas funções sem necessitar da interface humana. O nível mais baixo é manual.
19	ENERGIA GASTA PELO	A medida da energia gasta pelo	39	PRODUTIVIDADE	Corresponde ao nº de operações

	OBJETO MÓVEL	objeto móvel para executar a ação. Na mecânica, o Trabalho realizado pela força ($W = f \times d$)			executadas por unidade de tempo. O tempo para uma operação unitária, ou o custo por unidade de produção.
20	ENERGIA GASTA PELO OBJETO ESTÁTICO	A medida da energia gasta pelo objeto para executar a ação. Na mecânica, o Trabalho realizado pela força ($W = f \times d$)	40	*****	

APÊNDICE F – Princípios inventivos, segundo Altshuller.

Tabela 46 – Princípios Inventivos.

40 - PRINCÍPIOS INVENTIVOS

ITEM	PRINCÍPIOS	DESCRIÇÃO	ITEM	PRINCÍPIOS	DESCRIÇÃO
1	SEGMENTAÇÃO	Divida o objeto em partes independentes.	21	TORNAR MAIS RÁPIDO (RUSHING THOUGH)	Execute as operações prejudiciais ou perigosas em alta velocidade.
2	EXTRAÇÃO	Extraí (remova ou separe) uma parte ou propriedade indesejada.	22	CONVERTER DANO EM BENEFÍCIO	Utilize fatores ou efeitos ambientais prejudiciais para obter efeito positivo.
3	QUALIDADE LOCAL	Ter diferentes partes desempenhando funções diferentes. Arranje cada parte do objeto sob condições mais favorável para operação.	23	REALIMENTAÇÃO	Introduza realimentação. Se já existe inverta o sentido.
4	ASSIMETRIA	Substitua formas simétricas por assimétricas. Aumente grau de assimetria.	24	MEDIADOR	Use objeto intermediário para transferir ou manter uma ação. Conecte temporariamente um objeto a outro de fácil remoção.
5	COMBINANDO	Combine no espaço e tempo, objetos homogêneos ou que destinam a operações contíguas.	25	AUTO-SERVIÇO	Faça o objeto se auto reparar e mantenha as operações suplementares e de reparo. Utilize material e energia perdida.
6	UNIVERSALIDADE	Ter um objeto capaz de executar múltiplas funções eliminando a necessidade do uso de outros objetos.	26	COPIANDO	Use cópia de um objeto simples e barato, em vez de um complexo, caro, frágil. Substitua objeto pela sua cópia óptica, infra-vermelha.
7	ALINHAMENTO	Conter um objeto dentro de outro que, pode ser colocado dentro de um terceiro. Passe um objeto pela cavidade de um outro objeto.	27	DESCARTÁVEL-BARATO AO INVÉS CARO-DURÁVEL	Substitua um objeto caro por uma coleção de barato, deixando de lado suas propriedades (por exemplo: longevidade)
8	NEUTRALIZAR PESO	Compense o peso de um obje-	28	SUBSTITUIÇÃO SISTEMA	Substitua um sistema mecânico

	(COUNTERWEIGHT)	to unindo-o a outro que apresenta força de levantamento, ou interações com o ambiente.		MECÂNICO	por: óptico, acústico. Utilize campo elétrico, magnético para interagir com objetos.
9	CONTADOR DE AÇÃO ANTECESSOR	Projete um contador-ação antecessor. Se o objeto está sob tensão planeje um efeito anti-tensão.	29	CONSTRUÇÃO PNEUMÁTICA OU HIDRÁULICA	Substitua as partes sólidas por líquidos e gases. Podem ser utilizados ar ou água para inflar objetos.
10	AÇÃO ANTECESSORA	Mantenha tudo ou parte da ação exigida com antecedência. Organize os objetos de modo que possam executar uma ação em tempo e posição oportuna.	30	MEMBRANAS FLEXÍVEIS OU FILMES FINOS	Substitua construções tradicionais por princípios que utilizam membranas flexíveis ou filmes finos. Isole objeto utilizando membranas flexíveis e filmes finos.
11	AMORTECEDOR ANTECIPADO	Compense baixa confiabilidade através de medidas antecipadas.	31	UTILIZE MATERIAL POROSO	Projete objetos porosos ou adicione material poroso. Se é poroso preencha os poros.
12	EQUIPOTENCIALIDADE	Altere as condições de funcionamento de modo que não haja necessidade de elevar ou abaixar.	32	ALTERAÇÃO DE COR	Altere a cor do objeto ou do ambiente. Altere o grau de transparência. Adicione cor para melhor visualizar ou elemento luminescente.
13	INVERSÃO	Em vez de implementar uma ação especificada, implemente ação oposta. Transforme partes imóveis em móveis, posição superior em inferior.	33	HOMOGENEIDADE	Projete objetos que interagem entre si com mesmo material ou que tem comportamento próximo.
14	ESFEROCIDADE	Substitua partes lineares e planas por superfícies curvas e esféricas.	34	REJEITANDO E REGENERANDO PARTES	Depois de desempenhado a função rejeite ou modifique um componente do sistema. Restabeleça.
15	DINAMICIDADE	Faça o objeto, em seu ambiente, a ajustar-se automaticamente, visando otimizar desempenho. Divida objetos em distintos componentes para obter movimento relativo. Faça-o intercambiável.	35	TRANSFORMANDO ESTADOS FÍSICOS E QUÍMICOS	Altere o estado, a densidade, o grau de flexibilidade e a temperatura do sistema técnico.

16	AÇÃO PARCIAL OU EXAGERADA	Caso seja difícil desempenhar uma ação totalmente, faça gradativamente, simplificando o problema apresentado.	36	TRANSFORMAÇÃO DE FASES	Implemente um efeito durante a transição de fase de uma substância. Por exemplo: ao mudar volume, libere ou absorva calor.
17	MOVER PARA NOVA DIMENSÃO	Remova problema de objetos que se movem em linhas, movendo-se em um plano. Use uma montagem de vários estágios. Incline o objeto ou vire de lado.	37	EXPANSÃO TÉRMICA	Use material que expanda ou contraia com calor. Use vários materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica.
18	VIBRAÇÃO MECÂNICA	Faça o objeto oscilar. Aumente a frequência até ultra-sônica se necessário. Use frequência de ressonância. Em vez de vibração mecânica utilize vibrações piezo-elétricas. Use vibrações ultra-sônicas com campos eletromagnéticos.	38	UTILIZE OXIDANTES FORTES	Substitua ar normal por ar enriquecido. Substitua ar enriquecido por oxigênio. Aplique radiação ionizada ou use oxigênio ionizado.
19	AÇÃO PERIÓDICA	Substitua ações contínuas por ações pulsantes (período único). Mude a frequência, use pulsos entre impulsos para prover ações adicionais.	39	AMBIENTE INERTE	Substitua ambiente normal por ambiente inerte. Mantenha o processo a vácuo.
20	CONTINUIDADE DE UMA AÇÃO ÚTIL	Faça uma ação ser contínua, sem pausas, onde todas as partes operam a capacidade máxima. Remova movimentos intermediários ou inativos.	40	MATERIAIS COMPOSTOS	Substitua um material homogêneo por outro material composto.

APÊNDICE G – Necessidades dos clientes.

Tabela 47 – Necessidades dos clientes no projeto da bancada para ensaios de fadiga.

Clas	Atrib	Necessidades
4	01.	TENHA GEOMETRIA SIMPLES
4	02.	POSSUA MENOR VARIEDADE DE PEÇAS
-	03.	USAR TECNOLOGIA DISPONÍVEL
3	04.	TENHA MATERIAL DE FÁCIL AQUISIÇÃO
4	05.	MATERIAL FÁCIL DE PROCESSAR
4	06.	POSSA SER FABRICADO COM UTILIZAÇÃO DE EQUIPAMENTO DISPONIVEL
4	07.	TENHA MENOR NÚMERO DE PEÇAS
4	08.	POSSUA BOM ACABAMENTO * (MINIZAR DESGATE ENTRE COMPONENTES?)
4	09.	SEJA DE FÁCIL FABRICAÇÃO
3	10.	UTILIZE COMPONENTES PADRONIZADOS
6	11.	APRESENTE SOLUÇÕES INOVADORAS
6	12.	PERMITA GERAR PATENTE
6	13.	GERE PELO MENOS 1 ARTIGO EM REVISTA E 2 EM CONGRESSOS
6	14.	GERE UMA DISSERTAÇÃO
8	15.	TENHA O MÁXIMO DE SOLUÇÕES PRONTAS
3	16.	O CUSTO MÁXIMO SEJA DE R\$ 50.000,00
6	17.	OBTENHA CERTIFICAÇÃO – REQUISITO FUNCIONAL
6	18.	POSSIBILITE REALIZAR OUTROS ENSAIOS MECÂNICOS
1	19.	PERMITA REALIZAR ENSAIOS NUMA MAIOR VARIEDADE DE MATERIAIS
7	20.	TENHA DIMENSÕES REDUZIDAS
2	21.	TENHA BAIXO NÍVEL DE RUÍDO EM OPERAÇÃO
3	22.	TENHA BAIXO CONSUMO DE ENERGIA
1	23.	PERMITA CONTROLE DE FORÇA, AMPLITUDE, FREQUÊNCIA E TEMPERATURA.
2	24.	TENHA BAIXO NÚMERO DE CANTOS VIVOS
8	25.	PERMITA MENOR TEMPO DE MONTAGEM
7	26.	UTILIZE CONCEITO DE D.F.A (DESIGN FOR ASSEMBLY)
8	27.	TENHA MENOR NÚMERO DE UNIÃO
7	28.	TENHA PESO REDUZIDO
1	29.	PERMITA VISUALIZAR O PROCESSO
1	30.	APRESENTE OS RESULTADOS EM TELA – REQUISITO FUNCIONAL
1	31.	TENHA ESCALA DE AMPLITUDE – REQUISITO FUNCIONAL

Obs 1: Os termos em destaques foram feitos pela equipe de projeto visando realçar os itens que caracterizavam os requisitos funcionais da bancada ou desejáveis no produto.

Clas	Atrib.	Necessidades
1	32.	GERE RELATÓRIOS ESTRUTURADOS – REQUISITO FUNCIONAL
3	33.	REALIZE ENSAIOS COM BAIXO CUSTO
3	34.	MINIMIZE O TEMPO DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS
1	35.	TENHA DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO SIMPLES
2	36.	TENHA SEGURANÇA NO MANUSEIO
2	37.	TENHA SEGURANÇA NO PROCESSO DE ENSAIO
1	38.	SEJA DE FÁCIL PREPARAÇÃO (SETUP REDUZIDO)
1	39.	EMITA RELATÓRIOS PARCIAIS
1	40.	EMITA RELATÓRIO IMPRESSO DETALHADO COM DESCRIÇÃO DE CARACTERÍSTICAS
7	41.	TENHA GERADOR PRÓPRIO (NOBREAK)
2	42.	QUE AS PEÇAS MANIPULÁVEIS TENHAM PESO REDUZIDO
5	43.	SEJA DE FÁCIL DESMONTAGEM
5	44.	QUE AS PEÇAS SEJAM RESISTENTES A ATAQUES QUÍMICOS
6	45.	POSSIBILITAR USO DE FORMATO E DIMENSÕES DE DIFERENTES AMOSTRAS
1	46.	PERMITIR MEDIR A VARIAÇÃO DE TEMPERATURA DA AMOSTRA
7	47.	TER VIDA ÚTIL ELEVADA
7	48.	MINIMIZAR IMPACTO AMBIENTAL
1	49.	MEDIR A DURAÇÃO DO ENSAIO
3	50.	BAIXO CUSTO DE MANUTENÇÃO

Obs 2: A primeira coluna representa uma classificação estabelecida pela equipe com finalidade de agrupar as necessidades em áreas de atuação, conforme descrito no capítulo 3 deste trabalho.

APÊNDICE H – Resumo das respostas do Instrumento de Pesquisa.

Este instrumento tem como finalidade avaliar o uso das ferramentas (DIP) aplicadas no projeto de uma bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos e levantar alguns aspectos do processo de desenvolvimento do projeto.

Conforme apresentado no capítulo 2, e adaptado para o estudo em foco, as características de uma ferramenta de qualidade envolvem os conceitos apresentados e reproduzidas a seguir.

Características de uma ferramenta de qualidade

Características	Descrição
1. Precisa	Uma informação (ferramenta) precisa é aquela que não contém erros. Em alguns casos, a imprecisão é resultado da transformação de dados incorretos.
2. Completa	Uma ferramenta completa contém todos os parâmetros importantes que compõem seu significado.
3. Econômica	O custo de uma ferramenta é um fator importante para a sua qualidade, por exemplo: Muitos softwares de CAE permitem fazer simulações complexas, entretanto seu custo é bastante elevado.
4. Flexível	A ferramenta flexível pode ser utilizada para diversas finalidades, ou seja, quanto maior o número de decisões que podem ser tomadas com uma determinada aplicação, maior é a sua flexibilidade e maior sua qualidade.
5. Confiável	A confiabilidade de uma ferramenta é um indicador de sua qualidade. Na maioria dos casos a confiabilidade está associada à fonte da informação.
6. Relevante	Toda informação é relevante pela sua definição, ou seja, a ferramenta é um conjunto auxiliar do projeto que faz a diferença. Contudo, diferentes níveis de relevância indicam diferentes níveis de qualidade da ferramenta.
7. Simples	Uma ferramenta de qualidade deve estar limitada aos aspectos essenciais, sem complexidade desnecessária.
8. Em tempo	A ferramenta deve estar disponível por um maior período de tempo para que sua qualidade não seja comprometida;

(Fonte: GUERRERO, 2001. Adaptado).

Estas características devem ser buscadas no processo de desenvolvimento, a fim de garantir a qualidade das informações e conhecimentos gerados.

As questões objetivas devem ser respondidas conforme código apresentado.

O espaço disponibilizado deverá ser usado para justificar o motivo da escolha.

As questões subjetivas visam obter uma opinião mais detalhada do tema proposto.

Identificação: RESULTADOS TABULADOS

Formação:

VALORES GLOBAIS (RESUMO)

Objetivo: 1	Caracterizar as ferramentas de desenvolvimento integrado de produtos, no caso, da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos, conforme parâmetros a seguir:
------------------------------	--

1. Atribua valores segundo o código.

1	Não se aplica	2	Não Satisfaz	3	Baixo	4	Médio	5	Alto
----------	---------------	----------	--------------	----------	-------	----------	-------	----------	------

Ferramentas	Características							Em tempo
	Precisa	Completa	Econômica	Flexível	Confiável	Relevante	Simples	

Ferramentas	MPd Prec	MPd Comp	MPd Econ	MPd Flex	MPd Conf	MPd Relev	MPd Simp	MPd Temp	Média	Desvio Médio	Desvio %
Matriz QFD	6,29	8,00	8,83	8,57	8,37	9,29	6,86	7,39	7,95	0,83	10,41
Matriz Contradição	4,29	4,86	6,55	5,72	5,02	5,62	4,71	4,86	5,20	0,57	10,94
DFMA	5,72	6,00	6,66	6,86	6,45	6,71	6,41	5,72	6,32	0,38	5,99
Síntese Funcional	7,72	8,29	8,83	8,86	8,04	9,29	7,72	7,39	8,27	0,55	6,65
Matriz morfológica	6,86	8,57	8,83	9,14	7,79	9,05	8,60	7,63	8,31	0,66	7,97
Diagrama de blocos	4,00	4,57	6,55	5,72	4,98	5,86	5,59	5,39	5,33	0,61	11,45
Diagrama de classe	4,29	4,29	5,03	4,86	4,45	4,71	4,56	4,24	4,55	0,24	5,21
Diagrama de sequência	4,29	4,00	4,66	4,86	4,20	5,05	4,56	4,24	4,48	0,30	6,66
Diagrama de caso de uso	2,57	3,14	3,52	3,71	3,10	3,52	3,70	3,96	3,40	0,35	10,24
Rede de Petri	4,00	4,00	4,66	4,29	4,16	4,43	3,85	4,29	4,21	0,21	4,89

2. Descreva os aspectos mais relevantes.

Ferramentas	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Matriz QFD	Abrangência, organização das idéias, abrangência e quantificação das variáveis (para fins comparativos), permite o entendimento do problema, Iteração da equipe, organização das informações, sequencia os requisitos mais importantes, permite a participação de todo grupo de projeto e serve para analisar uma grande quantidade de características importantes para o desenvolvimento do produto, capacidade de síntese do processo informacional.	Estática e não dinâmica, complexidade, muito trabalhoso, informações subjetivas, perde muito tempo, gera muita discussão e pode demorar muito tempo, tornando-se cansativa, tempo de conclusão extremamente demorado e cansativo.

Matriz Contradição	Aflora os pontos negativos, boa pra checar os prós e os contra de cada requisito, e assim dar prioridade, permite definir o que é importante ou não para o produto, comparar os conflitos e propor soluções.	Muito restrita, perde-se muito tempo, é mui subjetiva, difícil construção.
DFMA	Abordagem simples, permite reavaliar a solução pontualmente, boa ferramenta organizacional, evita erros e diminui custos de fabricação do produto, de fácil aprendizado e implementação.	Restrita, muito trabalhoso o ganho nem sempre é relevante, ferramenta incompleta, isto é, depende de outras ferramentas, exige conhecimento de processos de fabricação e de mui detalhamento do produto, não pode ser aplicado sem restrições. Há aspectos que conflitam com a matriz contradição.
Síntese Funcional	Dinâmica e interativa, visualização global do processo, permite identificar os vários aspectos (disciplinas) do problema, Clara, mostra o fluxo do processo, permite identificar com maior clareza a seqüência de funções a que o produto se destina, permite visualizar todos os aspectos funcionais do produto.	Impossibilidade de comparação, informações subjetivas, Ferramenta incompleta, isto é, depende de outras ferramentas, algumas funções podem não ser percebidas ou muito detalhadas, alto grau de abstração exigido.
Matriz morfológica	Detalhamento, exercita as possíveis soluções, fácil concepção, permite gerar muitas soluções para o problema, ferramenta muito boa para encontrar varias soluções, detalha bem as características do produto que serão importantes e facilita na escolha de uma concepção final, estimula criatividade e permite visualizar princípios de solução.	Pouco aprofundada, muitas soluções visivelmente descartáveis são consideradas, não achei nenhum ponto negativo, exige muita paciência e “imaginação” da equipe de projeto, classificação dos subsistemas.
Diagrama de blocos	Visão geral do problema, solução muito simples e básica, dá uma idéia geral de como deve ser o produto, simples visualização.	Não é interativa, imprecisa, dá as informações necessárias para concepção do produto, mas não mostra o produto como ele realmente deve ser, implementação é complexa.
Diagrama de classe	É interativa, desconhece, visualização estática do sistema com suas relações.	Desconhece, difícil aprendizado.
Diagrama de seqüência	Estruturação, interessante, desconhece, visualização temporal do sistema.	É restritiva, desconhece, difícil aprendizado.
Diagrama de caso de uso	Interessante, desconhece, visão global das inter-relações.	É limitada, desconhece, difícil aprendizado.
Rede de Petri	É interativa e aflora as restrições, visualizar a dinâmica do processo.	Demanda tempo excessivo para montar a rede, se não for uma equipe treinada para desenvolver a Rede de Petri aplicada ao produto algumas etapas ou características do produto podem ser omitidas, difícil aprendizado.

3. Assinale com X.

Ferramentas	Questão: Havia conhecimento prévio da ferramenta?	
	Sim	Não
Matriz QFD	6	1
Matriz Contradição	2	5
DFMA	5	2
Síntese Funcional	5	2
Matriz morfológica	5	2
Diagrama de blocos	4	3
Diagrama de classe	1	6
Diagrama de seqüência	1	6
Diagrama de caso de uso	1	6
Rede de Petri	2	5

Questão 4:	Há outras ferramentas de seu conhecimento que poderiam ser aplicadas?		
	Nome	Funcionalidade	Área
1		Desconhece	
2		Desconhece	
3		Desconhece	

5. Assinale com X.

Ferramentas	Questão: Quanto ao processo de aprendizagem pode-se classificar em:		
	Fácil	Moderado	Difícil
Matriz QFD	4	3	
Matriz Contradição	1	3	
DFMA	2	2	1
Síntese Funcional	2	4	
Matriz morfológica	6	1	
Diagrama de blocos	3	1	
Diagrama de classe		3	
Diagrama de seqüência	2	1	
Diagrama de caso de uso	2	1	
Rede de Petri			3

6. Assinale com X.

Ferramentas	Questão: Como vê a aplicação da ferramenta em novos projetos?		
	Fundamental	Importante	Prescindível
Matriz QFD	2	5	
Matriz Contradição		1	3
DFMA	1	2	
Síntese Funcional	6	1	
Matriz morfológica	1	5	
Diagrama de blocos	2	1	2
Diagrama de classe	1		2
Diagrama de seqüência	1		2
Diagrama de caso de uso	1		2
Rede de Petri		2	1

7. Responda conforme código:

1	Não se aplica	2	Aplicável, entretanto, precisa de adaptações.	3	Aplicável
----------	---------------	----------	---	----------	-----------

Ferramentas	Questão: Como você vê a aplicação da ferramenta em diferentes domínios de conhecimento?			
	Mecânica	Elétrica	Eletrônica	Software

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Matriz QFD	9,52	7,62	7,62	7,14	7,98	0,77	9,70
Matriz Contradição	5,24	5,24	0,95	3,33	3,69	1,55	41,94
DFMA	6,67	4,29	2,86	2,38	4,05	1,43	35,29
Síntese Funcional	9,52	7,14	7,14	6,19	7,50	1,01	13,49
Matriz morfológica	9,52	6,67	7,14	4,76	7,02	1,31	18,64
Diagrama de blocos	6,19	7,14	6,67	6,19	6,55	0,36	5,45
Diagrama de classe	3,81	3,81	3,33	3,33	3,57	0,24	6,67
Diagrama de seqüência	3,81	3,81	3,33	3,33	3,57	0,24	6,67
Diagrama de caso de uso	4,29	3,81	2,86	4,76	3,93	0,60	15,15
Rede de Petri	5,24	5,71	4,29	4,76	5,00	0,48	9,52

Objetivo: 2	Caracterizar o processo de desenvolvimento integrado de produtos, no caso, da bancada para ensaios de fadiga em materiais plásticos.
Questão 1:	Descreva com suas palavras como foi o processo de desenvolvimento da bancada, levando em consideração o emprego das ferramentas de projeto.
OP 1	Foi demorado como todo projeto que preza a qualidade e tem critério e cuidado. A matriz QFD, DFMA, síntese funcional e a matriz morfológica são imprescindíveis para um bom projeto. As ferramentas foram muito importantes para direcionar e auxiliar a equipe.
OP 2	Como primeiro contato com metodologias de projeto, considero o método utilizado adequado e bem estruturado. Principalmente para um equipamento de função tão específica.
OP 3	Achei o processo interessante, entretanto, complexo e demorado. Creio que o uso das ferramentas com todas as suas metodologias tornam o projeto mais longo, contudo, creio que mais seguro e eficaz, sem necessidade reprojeto. Visto que busca seguir toda uma seqüência de procedimentos bem planejados.
OP 4	A fase inicial quando a equipe de projeto reuniu-se com objetivo de ter as primeiras idéias da bancada de ensaios foi bastante produtiva e um pouco cansativa, exigindo várias reuniões. O processo de desenvolvimento da matriz QFD foi demorado e exigiu um pouco de paciência dos integrantes da equipe. Essa fase gera muitas idéias e muitas discussões entre o grupo, mas essas são fundamentais para se ter uma melhor concepção do produto final. Já o uso da matriz contradição causou algumas dúvidas sobre o grau de importância das características analisadas e isso pode induzir a erros. Não participei de atividades referentes a DFMA, portanto não posso descrever o processo aplicado a bancada. A síntese funcional para o caso da bancada foi mais fácil de ser desenvolvida porque as funções e tipos de ensaios a serem realizados pela bancada já estavam previamente definidos. Já a geração da matriz morfológica deu liberdade aos membros da equipe para exporem as idéias que tinham em mente, principalmente soluções para a parte mecânica da bancada. Não participei de outras etapas que utilizaram outras ferramentas como Diagrama de classe, diagrama de seqüência, Diagrama de caso de uso e Rede de Petri.
OP 5	1 - Na fase inicial, que envolveu o uso da matriz QFD, foi levantado um número excessivo de informações o que dificultou o trabalho da equipe e resultou em uma matriz extensa que posteriormente foi resumida. O fato de ter disponível uma ferramenta para organizar as informações de certa forma induziu a equipa uma idéia de que poderia ser feito um detalhamento minucioso do problema. O resultado, do meu ponto de vista, foi uma desmotivação da equipe em concluir a matriz. 2 - O desenvolvimento da síntese funcional do sistema foi a fase na qual a natureza multidisciplinar (por tratar-se de um produto mecatrônico) do produto ficou mais evidente. Foi possível identificar os vários subsistemas necessários para realizar cada função. Desta forma, acredito que nesta fase possa ocorrer o desdobramento do produto e caracterizar

melhor a especificação de cada sub-sistema de maneira que estes possam ser desenvolvidos por grupos de especialistas. Em outras palavras, não acredito que seja necessária toda a equipe na busca de soluções para cada subsistema identificado.

3 – Na fase de busca de soluções, não identifiquei algo de novo com relação a produtos de outra natureza. De fato foi realizado pela equipe apenas o projeto mecânico e, após consulta com o pessoal da área de controle, concluímos que os trabalhos poderiam ser realizados de maneira independente, como foi feito.

APÊNDICE I – Levantamento Estatístico dos Dados do Instrumento de Pesquisa.

Tabela 48 – Tabulação da 7ª questão.

Ferramentas	Mecânica			Mp	Elétrica			Mp	Eletrônica			Mp	Software			Mp	Média	Desvio %	DesMed	DesPad	Var
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3						
Matriz QFD		1	6	9,52		2	4	7,62		2	4	7,62		3	3	7,14	7,98	9,70	0,77	1,06	1,11
Matriz Contradição		1	3	5,24		1	3	5,24		1		0,95	2	1	1	3,33	3,69	41,94	1,55	2,03	4,14
DFMA		1	4	6,67	1	1	2	4,29	2	2		2,86	3	1		2,38	4,05	35,29	1,43	1,92	3,70
Síntese Funcional		1	6	9,52		3	3	7,14		3	3	7,14	2	1	3	6,19	7,50	13,49	1,01	1,42	2,02
Matriz morfológica		1	6	9,52	1	2	3	6,67		3	3	7,14	2	1	2	4,76	7,02	18,64	1,31	1,96	3,84
Diagrama de blocos	1		4	6,19			5	7,14		1	4	6,67		2	3	6,19	6,55	5,45	0,36	0,46	0,21
Diagrama de classe		1	2	3,81		1	2	3,81		2	1	3,33	1		2	3,33	3,57	6,67	0,24	0,27	0,08
Diagrama de sequência		1	2	3,81		1	2	3,81		2	1	3,33	1		2	3,33	3,57	6,67	0,24	0,27	0,08
Diagrama de caso de uso			3	4,29		1	2	3,81	1	1	1	2,86	1		3	4,76	3,93	15,15	0,60	0,81	0,66
Rede de Petri		1	3	5,24			4	5,71	1	1	2	4,29	1		3	4,76	5,00	9,52	0,48	0,61	0,38

$$(2) M_p = \frac{((q_1 \cdot p_1) + (q_2 \cdot p_2) + (q_3 \cdot p_3))}{(p_1 + p_2 + p_3)}, p \text{ são os pesos (1, 2 e 3) e } q \text{ são as quantidades de respostas dadas em cada item. O valor}$$

máximo para este item seria igual a $\frac{21}{6} \cong 3,5$. Valores normalizados para escala entre 1 e 10. Fator de conversão 0,35.

Tabela 49 – Resumo da tabulação da 7ª questão.

Ferramentas	MédiaPd Mecânica	MédiaPd Elétrica	MediaPd Eletrônica	MédiaPd Software	Média	Δ Médio	Δ %
Matriz QFD	9,52	7,62	7,62	7,14	7,98	0,77	9,70
Matriz Contradição	5,24	5,24	0,95	3,33	3,69	1,55	41,94
DFMA	6,67	4,29	2,86	2,38	4,05	1,43	35,29
Síntese Funcional	9,52	7,14	7,14	6,19	7,50	1,01	13,49
Matriz morfológica	9,52	6,67	7,14	4,76	7,02	1,31	18,64
Diagrama de blocos	6,19	7,14	6,67	6,19	6,55	0,36	5,45
Diagrama de classe	3,81	3,81	3,33	3,33	3,57	0,24	6,67
Diagrama de sequência	3,81	3,81	3,33	3,33	3,57	0,24	6,67
Diagrama de caso de uso	4,29	3,81	2,86	4,76	3,93	0,60	15,15
Rede de Petri	5,24	5,71	4,29	4,76	5,00	0,48	9,52

Valores normalizados para uma escala entre 1 e 10. Fator de conversão 0,35.

Tabela 50 – Tabulação da 1ª questão.

Ferramentas	Precisa					Mp	Completa					Mp	Econômica					Mp	Flexível					Mp	Confiável					Mp	
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
Matriz QFD		1	1	3	1	6,29			2	3	2	8,00			1	3	3	8,83			2	1	4	8,57				5	2	8,37	
Matriz Contradição		1	3	1		4,29			3	2		4,86			1	1	3	6,55			1	3	1	5,72				2	3	5,02	
DFMA	1		1	4		5,72			3	3		6,00			2	3	1	6,66			2	2	2	6,86				2	3	1	6,45
Síntese Funcional		1		5	1	7,72				6	1	8,29			1	3	3	8,83			1	2	4	8,86				6	1	8,04	
Matriz morfológica		1	2	4		6,86			1	3	3	8,57			1	3	3	8,83					3	4	9,14			1	5	1	7,79
Diagrama de blocos		1	4			4,00			4	1		4,57			1	1	3	6,55		1	1			3	5,72		1		4		4,98
Diagrama de classe	1		2	2		4,29	1		2	2		4,29	1		2		2	5,03	1		2		2	4,86	1		1	3		4,45	
Diagrama de sequência	1		2	2		4,29	1		3	1		4,00	1		2	1	1	4,66	1		1	2	1	4,86	1		2	2		4,20	
Diagrama de caso de uso	1	1	2			2,57	1		2	1		3,14	1		2		1	3,52	1		1	1	1	3,71	1		2	1		3,10	
Rede de Petri			2	2		4,00			2	2		4,00			1	2	1	4,66			1	3		4,29			1	3		4,16	

$$M_p = \frac{((q_1 \cdot p_1) + (q_2 \cdot p_2) + (q_3 \cdot p_3) + (q_4 \cdot p_4) + (q_5 \cdot p_5))}{(p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5)}, p \text{ são os pesos (1, 2, 3, 4 e 5) e } q \text{ são as quantidades de respostas dadas em}$$

cada item. O valor máximo para este item seria igual a $\frac{35}{15} \cong 2,33$. Valores normalizados para escala entre 1 e 10. Fator de conversão 0,2333.

(continuação da tabela 50).

Relevante					Mp	Simples					Mp	Em tempo					Mp	Média	Desvio %	DesMed	DesPad	Var
1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5						
			3	4	9,29			5	1	1	6,86		1	1	4	1	7,39	7,95	10,41	0,83	1,03	1,06
		1	4		5,62			4	1		4,71		1	1	3		4,86	5,20	10,94	0,57	0,72	0,51
		2	3	1	6,71			3	3		6,41		1	2	3		5,72	6,32	5,99	0,38	0,45	0,20
			3	4	9,29			3	2	2	7,72		1	1	4	1	7,39	8,27	6,65	0,55	0,67	0,45
			4	3	9,05			1	2	4	8,60		1	1	3	2	7,63	8,31	7,97	0,66	0,80	0,64
		1	3	1	5,86			2	1	2	5,59		1		3	1	5,39	5,33	11,45	0,61	0,80	0,63
1		1	3		4,71	1		2	2		4,56	1	1	1	1	1	4,24	4,55	5,21	0,24	0,29	0,09
1			4		5,05	1		2	2		4,56	1	1	1	1	1	4,24	4,48	6,66	0,30	0,36	0,13
1		1	2		3,52	1		1	2		3,70	1			2	1	3,96	3,40	10,24	0,35	0,44	0,20
		1	3		4,43			3	1		3,85			1	3		4,29	4,21	4,89	0,21	0,26	0,07

Tabela 51 – Resumo da tabulação da 1ª questão.

Ferramentas	MédiaPd Precisa	MédiaPd Completa	MédiaPd Econômica	MédiaPd Flexível	MédiaPd Confiável	MédiaPd Relevante	MédiaPd Simples	MédiaPd Tempo	Média	Desvio Médio	Desvio %
Matriz QFD	6,29	8,00	8,83	8,57	8,37	9,29	6,86	7,39	7,95	0,83	10,41
Matriz Contradição	4,29	4,86	6,55	5,72	5,02	5,62	4,71	4,86	5,20	0,57	10,94
DFMA	5,72	6,00	6,66	6,86	6,45	6,71	6,41	5,72	6,32	0,38	5,99
Síntese Funcional	7,72	8,29	8,83	8,86	8,04	9,29	7,72	7,39	8,27	0,55	6,65
Matriz morfológica	6,86	8,57	8,83	9,14	7,79	9,05	8,60	7,63	8,31	0,66	7,97
Diagrama de blocos	4,00	4,57	6,55	5,72	4,98	5,86	5,59	5,39	5,33	0,61	11,45
Diagrama de classe	4,29	4,29	5,03	4,86	4,45	4,71	4,56	4,24	4,55	0,24	5,21
Diagrama de sequência	4,29	4,00	4,66	4,86	4,20	5,05	4,56	4,24	4,48	0,30	6,66
Diagrama de caso de uso	2,57	3,14	3,52	3,71	3,10	3,52	3,70	3,96	3,40	0,35	10,24
Rede de Petri	4,00	4,00	4,66	4,29	4,16	4,43	3,85	4,29	4,21	0,21	4,89

Valores normalizados para uma escala entre 1 e 10. Fator de conversão 0,2333.