

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designing procedure used in the beginning of the 80's, which comprised by distinct, easy-to-distinguish stages, has been replaced by a process where simultaneous activities are developed by multidisciplinary teams that consider all the product life cycle.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 mechatronic 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 mechatronic 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 Environment (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