

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**MODELAGEM CONCEITUAL DE UM BIOSSENSOR PARA
DETECÇÃO DE AFLATOXINA EM CASTANHA-DO-BRASIL**

GISELLE AMARAL LEITE

ORIENTADORA: ANDREA CRISTINA DOS SANTOS, Dr(a). Eng.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM SISTEMAS MECATRÔNICOS

PUBLICAÇÃO: ENM. DM – 68/14

BRASÍLIA / DF: JUNHO - 2014

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**MODELAGEM CONCEITUAL DE UM BIOSSENSOR PARA
DETECÇÃO DE AFLATOXINA EM CASTANHA-DO-BRASIL**

GISELLE AMARAL LEITE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSARIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM SISTEMAS MECATRÔNICOS.

APROVADA POR:

ANDREA CRISTINA DOS SANTOS, Dr(a). Eng. (UnB/EPR)
(ORIENTADOR)

RUDI HENRI VAN ELS, Dr. Eng. (UnB/FGA)
(EXAMINADOR INTERNO)

RÉGIS KOVACS SCALICE, Dr.Eng. (UFSC)
(EXAMINADOR EXTERNO)

DATA: BRASÍLIA/ DF, JUNHO 27 DE 2014.

FICHA CATALOGRÁFICA

LEITE, GISELLE AMARAL

Modelagem conceitual de um biossensor para detecção de aflatoxina em castanha-do-brasil.

[Distrito Federal] 2014

xvi, 101 p., 210 x 297 mm (ENM/FT/UnB, Mestre, Sistemas Mecatrônicos, 2014)

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília.

Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Projeto de Produto Mecatrônico

2. Biossensor

3. Aflatoxina

4. Castanha-do-brasil

I. ENM/FT/UnB

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LEITE, G. A. (2014). Modelagem conceitual de um biossensor para detecção de aflatoxina em castanha-do-brasil. Publicação ENM.DM-68/14, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 101 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Giselle Amaral Leite

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Modelagem conceitual de um biossensor para detecção de aflatoxina em castanha-do-brasil.

GRAU / Mestre

ANO / 2014.

É concedida a Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma cópia para esta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Giselle Amaral Leite

CLN 412/413 Bloco A apto 07, Asa Norte

CEP: 70876-510 – Brasília/DF – BRASIL

e-mail: giselle.amaral.leite@gmail.com

*“Dai-me Senhor, a perseverança das ondas do mar,
que fazem de cada recuo um ponto de partida para um novo avanço.”*

Gabriela Mistral

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar a Deus, pela força, fé e perseverança.

Aos meus pais Luis Juscelino e Dora Leite pelo apoio e amor incondicional, aos meus irmãos Mariely, Claudio, Edgar, Efraim e Cícera por me darem as quatro melhores motivações do mundo, meus sobrinhos: Sarah, Claudio Augusto, Ana Rafaela e Samuel Davi.

À professora Andrea Cristina dos Santos, minha orientadora, pela sua paciência, disposição, tempo, apoio e ensino.

Aos Professores, Rudi Henri, Janaína Diniz e Taís Pitta, pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Aos amigos de Brasília, Virginia Martins pela amizade, chás e cafés, Liliana Lopez pelos incentivos e bons conselhos, Miguel Parra, Alberto Max, Isabel Cristina e Gisele Custodio por serem sempre bons companheiros e Marcus Silveira que chegou ao final do ultimo tempo trazendo muita paz, apoio e outros amigos.

Aos amigos de Manaus Sarah Marinheiro e Mauricio Przepiorka, nossa amizade é indiscutível.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Mecatrônicos pelo apoio oferecido no curso. Agradeço também à Universidade de Brasília e a CAPES, pelo apoio logístico e financeiro prestado.

RESUMO

O Brasil vem perdendo mercado da castanha-do-brasil devido aos baixos padrões de qualidade, sendo que um dos principais problemas é a contaminação por aflatoxinas. Os métodos de detecção das aflatoxinas são realizados em laboratórios, os quais demandam de estrutura laboratorial e tempo de espera para obtenção dos resultados de análise. A utilização de métodos de identificação em tempo real por meio de biossensores pode auxiliar na melhoria do controle dos padrões de qualidade. Nesta pesquisa desenvolveu-se a concepção funcional de um biossensor, por meio do emprego de um método sistemático para o projeto de um produto mecatrônico. A concepção obtida foi desenvolvida a partir das análises das necessidades e restrições dos diferentes envolvidos na cadeia produtiva da castanha-do-brasil. Durante aplicação dos métodos sistemáticos na fase de projeto conceitual, na identificação de testes funcionais, identificou-se a necessidades de testes mais aprofundados fora da área de conhecimento da mecatrônica, na área química, exigindo o apoio de uma equipe multidisciplinar e a continuidade da pesquisa em nível mais aprofundado. A concepção obtida tem uma ênfase nos componentes e dispositivos eletrônicos necessários para o funcionamento de um biossensor.

Palavras chaves: projeto de produto mecatrônico; biossensor; aflatoxina; castanha-do-brasil.

ABSTRACT

The Brazil comes losing market of Brazil-nut due to lower standards of quality, being one of the main problems is contamination by aflatoxins. Methods for detection of aflatoxins are performed in laboratories, which require laboratory structure and waiting time for obtaining the results of analysis. The use of methods of real-time identification through biosensor may auxiliary to improve the control quality standards. In this research we developed the functional design of a biosensor, by employing a systematic method for the design of a mechatronic product. The design was developed obtained from the analysis of the needs and constraints of the different stakeholders in the production chain of the Brazil-nut. During application of systematic methods in the conceptual design phase, the identification of functional tests, we identified the need for further testing outside the knowledge of mechatronics, chemical area, requiring the support of a multidisciplinary team and continuity of research deeper level. The design has achieved an emphasis on components and necessary for the operation of a biosensor electronic device.

Keywords: design mechatronic product; biosensor; aflatoxin; Brazil-nut.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. Mercado da castanha-do-brasil	2
1.1.1. Problema enfrentado para a comercialização: contaminação da castanha-do-brasil por fungos produtores de aflatoxinas	3
1.1.2. Cadeia produtiva da castanha-do-brasil.....	4
1.2. Objetivos	6
1.3. Justificativa	6
1.4. Organização do trabalho	7
CAPÍTULO 2 – MÉTODOS E TÉCNICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS AFLATOXINAS	8
2.1. Método de detecção por cromatografia.....	8
2.2. Biossensores	10
2.2.1. Classificação e Desenvolvimento de Biossensores	11
2.3. Produtos concorrentes e similares: detectores de aflatoxina	13
2.3.1. Kits comerciais para detecção de aflatoxinas	13
2.3.2. Laboratórios especializados e equipamentos.....	16
2.3.3. Projetos de equipamentos detectores de aflatoxinas (biossensores)	18
2.4. Considerações finais.....	20
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTOS MECATRÔNICO	22
3.1. Metodologia de desenvolvimento de produto	22
3.1.1. Metodologia de desenvolvimento de produto de Pahl e Beitz (1996).....	22
3.1.2. O Processo de Desenvolvimento de Produtos - Rozenfeld, <i>et al.</i> (2006). 23	
3.2. Modelos de desenvolvimento de sistemas mecatrônicos	25
3.2.1. Modelo V	26
3.2.2. Modelo de 3- ciclos	27
3.2.3. Modelo Hierárquico	29
3.3. Metodologia para o projeto do biossensor.....	31
3.3.1. Projeto Informacional	33
3.3.2. Projeto Conceitual	35
3.3.3. Projeto Detalhado	38
3.4. Considerações finais.....	38

CAPÍTULO 4 – PROJETO INFORMACIONAL.....	40
4.1. Atores da cadeia produtiva da castanha-do-brasil.....	40
4.2. Ciclo de vida do produto e projeto.....	43
4.3. Levantamento das necessidades do cliente	47
4.4. Especificações do produto.....	53
4.5. Considerações finais.....	57
CAPÍTULO 5 – PROJETO CONCEITUAL	58
5.1. Definição da estrutura funcional do produto.....	58
5.2. Busca por princípios de solução e geração de alternativas de concepções	64
5.2.1. Procedimento para preparação de amostra, limpeza e extração de aflatoxinas em castanha-do-brasil.....	66
5.2.2. Geração e Seleção de Alternativas de Projeto	67
5.3. Sistematização do conceito e da concepção.....	71
5.3.1 Principais características técnicas da concepção do produto	73
5.3.2 Testes de funções.....	75
5.4. Considerações Finais.....	78
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	80
6.1. Análise dos objetivos e resultados	80
6.2. Sugestões para trabalhos futuros	81
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	83
ANEXO.....	89
ANEXO I - LEVANTAMENTO DAS NECESSIDADES DO CLIENTE - ATRAVÉS DE UMA ENTREVISTA SEMI – ESTRUTURADA	90
ANEXO II - LISTA COMPLETA DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES ..	94
ANEXO III – CASA DA QUALIDADE	97
ANEXO IV – PROGRAMA UTILIZADO NOS TESTES FUNCIONAIS.....	99

Lista de Figuras

Figura 1:	a) castanheira, b) ouriços, c) sementes ou castanha e d) amêndoas	1
Figura 2:	Concentração de hectares Brasil, Peru e Bolívia	2
Figura 3:	Manejo das castanheiras	4
Figura 4:	Coleta de castanhas-do-brasil	5
Figura 5:	Beneficiamento da castanha-do-brasil	5
Figura 6:	Configuração básica de um biossensor.....	11
Figura 7:	Classificação de biossensores a partir de um elemento biológico sensível ...	11
Figura 8:	Preparo da amostra: a) Medida do solvente; b) Agitar mecanicamente ou c) À mão; d) Adicionar água ao tubo de reação; e) Adicionar extrato ao tubo de reação	14
Figura 9:	Colocando a tira no tubo de reação.....	15
Figura 10:	Kit ROSA (Charm) para detecção de aflatoxinas.....	15
Figura 11:	Sistema HPLC Shimadzu- Lc2010.....	17
Figura 12:	Sistemas de Solventes: a) Solventes; b) Máquina e c) Sistema.....	18
Figura 13:	Croqui Básico do equipamento CFLAE.....	19
Figura 14:	Um biossensor portátil automatizado para aflatoxina	20
Figura 15:	Fluxograma para Desenvolvimento do Projeto	23
Figura 16:	Estrutura do Modelo de Referencia	24
Figura 17:	Visão Geral do Modelo.....	25
Figura 18:	Proposta de orientação industrial para Projeto de projeto de produto mecatrônico: Princípio básico	27
Figura 19:	“3 – Cycle-Model” (Modelo de 3 ciclos) de Engenharia de Produto	28
Figura 20:	Modelo de procedimento genérico para o projeto conceitual integrativo do sistema de produção e produto	29
Figura 21:	Atividades de Projeto Mecatrônico	32
Figura 22:	Proposta de abordagem metodológica para o projeto do biossensor.....	32
Figura 23:	Matriz de Mudge.....	34
Figura 24:	Matriz da Casa da Qualidade.....	34
Figura 25:	Estrutura de funções	35
Figura 26:	Matriz Morfológica e a combinação de princípios de solução	36
Figura 27:	Diagrama de Pugh.....	37
Figura 28:	Exemplo esquemático da aplicação da MIM.....	37
Figura 29:	Cadeia Produtiva da castanha-do-brasil no Brasil	42
Figura 30:	Ciclo de vida do produto.....	44
Figura 31:	Ciclo de vida do Projeto por encomenda.....	45
Figura 32:	Matriz geral de análise de stakeholders	47
Figura 33:	Diagrama de Mudge	52
Figura 34:	Função global do sistema.....	59
Figura 35:	Funções parciais do sistema.....	60
Figura 36:	Funções elementares do sistema 1	61
Figura 37:	Funções elementares do sistema 2.....	62
Figura 38:	Detector de aflatoxina e sistemas integrantes.....	71
Figura 39:	Esquema geral de descrição de um sistema fotoelétrico: A – Fonte luminosa; B – Meio para separar os comprimentos de onda; C – Cubetas, tubos	

ou celas de amostra; D – Detector de energia radiante e E – Medidor.....	72
Figura 40: Representação da simulação em protoboard utilizando a ferramenta Fritzing.....	74
Figura 41: .Esquema do biossensor detector de aflatoxina em castanha-do-brasil.....	75
Figura 42: .Vista superior do equipamento detector de aflatoxina	75
Figura 43: .Material a ser testado: 1) Colorímetros; 2) Papel colorido.....	77
Figura 44: .Estrutura de testes	77

Lista de Tabelas

Tabela 1:	Produção anual de castanhas no Brasil	5
Tabela 2:	Características físico-químicas das principais aflatoxinas	10
Tabela 3:	Agentes da Cadeia Produtiva da Castanha-do-brasil.....	42
Tabela 4:	Necessidades dos Clientes	48
Tabela 5:	Requisitos do Cliente	50
Tabela 6:	Lista de especificações de projeto	55
Tabela 7:	Biossensores utilizados na detecção de biotoxinas.....	64
Tabela 8:	Matriz Pugh para seleção de alternativas de concepção do produto	69
Tabela 9:	Matriz Indicadora de Módulos.....	70
Tabela 10:	Análise estatística do teste funcional.....	78

Lista de Quadros

Quadro 1: Matriz de seleção de alternativa da estrutura funcional.....	63
Quadro 2: Matriz Morfológica.....	65
Quadro 3: Matriz Morfológica – Alternativas de Solução	67

Lista de Símbolos e Abreviações

AOAC	<i>Association of official agricultural chemist</i> (Associação de agricultura oficial de química)
CCD	Cromatografia de camada delgada
CG	Cromatografia gasosa
CP	Cromatografia de papel
CLC	Cromatografia líquida clássica
CLAE	Cromatografia líquida de alta eficiência
cm	Centímetros
FAO	<i>Food and agriculture</i> (Comida e Agricultura)
H.B.K.	<i>Bertholletia excelsa</i>
HOQ	<i>House of Quality</i> (Casa da Qualidade)
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
LMT	Limite Máximo Tolerado
MT	Mato Grosso
MS	<i>Mass Spectrometer</i> (Espectrometria de massa)
NeDIP	Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos
ml	Milímetros
nm	Nanômetros
NUMA	Núcleo de Manutenção
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
MAPA	Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
ppb	Parte por bilhão
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> (Desenvolvimento da Função Qualidade)
TRIZ	Teoria da solução inventiva de problemas
UnB	Universidade de Brasília
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
USP	Universidade de São Paulo

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

A castanha-do-brasil, também conhecida como castanha-do-pará, castanha-da-amazônia ou castanha-do-brasil, de nome científico *Bertholletia excelsa* H.B.K., é uma planta nativa da região Amazônica e uma das mais importantes espécies de exploração extrativista (LEITE, 2008).

A castanheira é uma árvore de grande porte pode atingir até 50 metros de altura e 2 metros de diâmetro na base, apresenta tronco retilíneo, cilíndrico, desprovido de galhos até a copa e casca marrom-escura, o fruto conhecido como ouriço, é uma cápsula indeiscente (que não se abre espontaneamente), com casca lenhosa muito dura e de formato esférico ou levemente achatado, contém em seu interior cerca de dezoito sementes, cujas amêndoas são altamente nutritivas, conforme ilustrado na Figura 1 (EMPRAPA, 1995). Segundo Gonçalves *et al.* (2002), a amêndoa da castanha-do-brasil, contém uma fração lipídica de boa qualidade e alto valor alimentar, denominados de ácidos graxos poli-insaturados.



Figura 1: a) castanheira, b) ouriços, c) sementes ou castanha e d) amêndoas. Fonte: Leite (2008).

1.1. Mercado da castanha-do-brasil

A Bolívia domina o mercado da castanha-do-brasil, não só em quantidade exportada, mas também em tecnologia, níveis sanitários e, principalmente, valor agregado. Controla 71% do mercado de castanha processada no mundo, sendo o Brasil responsável por apenas 18% do mercado (COSLOVSKY, 2005).

Segundo Tonini (2007), as florestas com castanheiras cobrem uma superfície de aproximadamente 325 milhões de hectares na Amazônia, com a maior parte distribuída entre o Brasil (300 milhões), a Bolívia (10 milhões) e o Peru (2,5 milhões), conforme a Figura 2. No Brasil o extrativismo da castanha se caracteriza pela alta concentração da produção em poucos estados como: Acre, Amazonas e Pará, os quais detêm 80,7% da produção, sendo que os demais estados (Rondônia, Mato grosso, Amapá e Roraima) totalizando os 19,3% restantes. Roraima é o estado Amazônico de menor produção com uma média histórica de 2,03% da produção nacional (TONINI, 2007).



Figura 2: Concentração de hectares de castanheiras no Brasil, Peru e Bolívia. Fonte: Wadt (2005).

A Tabela 1, indicada abaixo, apresenta a produção anual de castanhas no Brasil entre os anos de 2001 a 2005.

Tabela 1: Produção anual de castanhas no Brasil.

ANO	PRODUÇÃO (t)	CONSUMO INTERNO (t)	EXPORTAÇÃO (t)
2001	28.467	17.915	10.552
2002	30.000	20.357	9.643
2003	25.000	16.300	6.947
2004	27.059	13.953	13.106
2005	30.000	13.073	16.927

Fonte: Martins (2005).

1.1.1. Problema enfrentado para a comercialização: contaminação da castanha-do-brasil por fungos produtores de aflatoxinas

A castanha-do-brasil é um produto com baixo controle dos padrões de qualidade. As variações de qualidade reduzem o valor comercial final do produto, podendo até mesmo impedir a exportação por meio de barreiras sanitárias. Na Europa, onde a amêndoa é consumida *in natura*, a contaminação na origem pode ser levada até o consumidor final (WADT *et al.*, 2005).

A contaminação na castanha-do-brasil é gerada principalmente por *aflatoxinas*. Estas são um grupo de compostos tóxicos produzidos por dois tipos de fungos, *Aspergillus flavus* e *Aspergillus parasiticus*, no qual em condições favoráveis de umidade relativa do ar e altas temperaturas, associados a sistemas de armazenagem precários costumam encontrar um ambiente favorável para se desenvolverem em maior quantidade, tornando a castanha imprópria para o consumo (SESSP-CVE, 2003). A infecção pode ocorrer nas fases de crescimento da planta, colheita, secagem, processamento e armazenamento (EATON; GROOPMAN, 1994).

No Brasil a Legislação vigente para a castanha-do-brasil, com casca e descascada, para exportação ou importação é descrita na Resolução CNNPA/MS nº 34/76, que dispõe sobre os limites de aflatoxina para alimentos em geral destinados ao consumo humano (BRASIL, 1977).

Em nível internacional, a Comissão do *Codex Alimentarius* tem colocado em discussão o problema da contaminação da castanha-do-brasil, tendo em vista que é a única árvore que produz nozes entre as principais culturas comercializadas que emprega o extrativismo como atividade de produção (FAO, 2008).

1.1.2. Cadeia Produtiva da Castanha-do-brasil

A cadeia produtiva da castanha-do-Brasil é basicamente formada: agroextrativistas através de associações e cooperativas; processamento (pré-colheita e pós-colheita); e a comercialização (MARTINS, *et al.*, 2008; PAS, 2004).

Souza *et al.* (2004) afirma que o processamento da castanha-do-brasil é realizado através de duas etapas a de pré-colheita e pós-colheita.

A Pré - colheita: esta etapa envolve a inovação tecnológica, realizada com o manejo das castanheiras, onde compreende as atividades de mapeamento e marcação das castanheiras, seleção de árvores a serem manejadas, corte de cipós e planejamento da fase exploratória ou colheita (Ver Figura 3).



Figura 3: Manejo das castanheiras. Fonte:

<http://www.florestasnaembrapa.com.br/noticia/18/Embrapa+inicia+avaliacao+de+produtividade+de+castanheira-do-brasil+em+Mato+Grosso>

A **Pós - colheita** se divide em duas fases a exploratória e de beneficiamento. A fase exploratória envolve a coleta e amontoa dos ouriços, seleção dos ouriços, quebra dos ouriços, seleção das castanhas, transporte para a unidade de produção, lavagem das

castanhas, secagem, armazenamento na unidade de produção e transporte para a unidade de processamento (Ver Figura 4).



Figura 4: Coleta de castanhas-do-brasil. Fonte:

<http://www.portalamazonia.com.br/editoria/amazonia/reserva-transforma-trabalho-esravo-em-atividade-extrativista-no-amazonas/>

Beneficiamento: envolve as atividades de recepção e seleção; armazenamento na unidade de beneficiamento; lavagem; tratamento térmico; quebra; seleção e classificação (Ver Figura 5).



Figura 5: Beneficiamento da castanha-do-brasil. Fonte:

<http://www.newsrondonia.com.br/noticias/seagri+quer+implantar+cinco+agroindustrias+de+beneficiamento+de+castanha+do+brasil/25525>

A detecção de aflatoxinas poderia ser realizada na fase exploratória no estágio anterior ao armazenamento, e na fase de beneficiamento em um estágio entre seleção e classificação das castanhas, ressaltando que nesta última fase a castanha é preparada para a embalagem e comercialização, assim a detecção realizada no estágio exploratório resultaria em uma não contaminação de lotes por outros contaminados, evitando a proliferação do fungo, e na fase de beneficiamento à detecção de aflatoxina o qual ajudaria a obtenção de um padrão de qualidade do produto a ser comercializado.

1.2 OBJETIVOS

O trabalho proposto tem como objetivo principal conceber um biossensor para identificação de aflatoxina em castanha-do-brasil.

Os objetivos específicos:

1. Identificar os métodos e técnicas a serem utilizados no projeto para desenvolvimento de um biossensor.
2. Aplicar os métodos e técnicas, a serem utilizados para promover a integração do sistema, durante o projeto do biossensor.
3. Desenvolver a concepção funcional do biossensor.
4. Propor possíveis temas de pesquisa para futuros trabalhos.

1.3 JUSTIFICATIVA

O Brasil, apesar de obter a maior quantidade de hectares de árvores castanheiras, vem perdido o mercado consideravelmente por causa da carência de investimento na área de tecnológica, mas precisamente no desenvolvimento de detectores de aflatoxina práticos, eficazes, portáteis e de baixo custo, para poder contribuir com a melhoria da qualidade do produto (castanha) e assim suprir as exigências internacionais para a sua comercialização.

Para o desenvolvimento do detector de aflatoxinas (biossensor), espera-se contribuir com a aplicação da metodologia de projeto de produto mecatrônico, realizando através de métodos e técnicas um esclarecer de sua utilização para desenvolvimento de protótipos de equipamentos assim como preencher lacunas de conhecimento em relação à utilização de novas abordagens de integração e interação de projeto de sistemas complexos.

Com a realização deste projeto espera-se o favorecimento e impacto na cultura da castanha-do-brasil e o beneficiamento das comunidades agroextrativistas, cooperativas e afins, possibilitando a competição no mercado nacional e internacional da castanha.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Capítulo I – este que se apresenta, traz a contextualização do problema da pesquisa, os objetivos gerais e específicos e a justificativa do mesmo.

Capítulo II – **“Métodos e técnicas de identificação de aflatoxina”**, apresenta revisão da literatura de artigos científicos e documentos técnicos sobre os principais métodos e técnicas de identificação de aflatoxina, produtos similares e patentes.

Capítulo III – **“Metodologia”**, apresenta fundamentação teórica sobre as metodologias de processo de desenvolvimento de produtos, e desenvolvimento e projeto de produto mecatrônico. O objetivo é identificar entre os modelos, uma metodologia para o desenvolvimento do biossensor.

Capítulo IV – **“Projeto Informacional”**, a partir da revisão da literatura realizada nos Capítulos II e III, nesse capítulo apresenta-se a aplicação dos métodos e técnicas para elaboração das especificações técnicas do biossensor.

Capítulo V – **“Projeto Conceitual”**, a partir das especificações técnica elaboradas no capítulo anterior, esse capítulo apresenta-se a aplicação dos métodos e técnicas para concepção funcional do biossensor.

Capítulo VI – **“Conclusões e recomendações de trabalhos futuros”**, apresenta as considerações finais do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2 – MÉTODOS E TÉCNICAS PARA IDENTIFICAÇÃO DAS AFLATOXINAS.

Devido ao problema de saúde provocados por aflatoxinas em alimentos a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabeleceu normas de controle fitossanitário. A Resolução atual - RDC Nº 7, de 18 de fevereiro de 2011, dispõe sobre os limites máximos tolerados (LMT) para micotoxinas em alimentos, incluindo para o somatório das Aflatoxinas B1, B2, G1 e G2 em diferentes categorias de alimentos. Os LMT para a castanha-do-brasil são: de 20 µg/kg para castanhas com casca para consumo direto, de 10 µg/kg para castanhas sem casca para consumo direto e de 15 µg/kg para castanhas sem casa para processamento posterior (DOU - ISSN 1677-7042, pg. 67).

As próximas seções apresentaram os principais métodos e técnicas de identificação de aflatoxinas encontrados na literatura.

2.1. MÉTODO DE DETECÇÃO POR CROMATOGRAFIA

Cromatografia é um método físico-químico de separação, baseado na migração diferencial dos componentes de uma mistura, que ocorre devido a diferentes interações, entre duas fases imiscíveis, a fase móvel e a fase estacionária. Utiliza-se para a identificação de compostos, por comparação com padrões previamente existentes, para a purificação de compostos, separando-se as substâncias indesejáveis através de uma mistura de solventes (DEGANI, *et al*, 1998).

Segundo Collins e Braga (1987), as suas diferentes formas de Cromatografia podem ser classificadas em:

1) Cromatografia em coluna: **a)** Cromatografia Líquida Clássica (CLC) para isolamento de produtos naturais e purificação de produtos de reações químicas, a quantificação é feito por análise manual; **b)** Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) para análises e separações de uma ampla gama de compostos com alta eficiência, pode ser usada para absorção de *ultravioleta* (UV), fluorescência, espectrometria de massas e amperométrica, geralmente tem-se alto custo de operação e não muito utilizada para realizar análises qualitativas; **c)** Cromatografia Gasosa de Alta Resolução (CGAR) para identificação imediata de substâncias presentes na amostra.

2) Cromatografia planar: **a)** Cromatografia em Papel (CP) é uma técnica de partição líquido-líquido, útil para a separação de compostos polares; **b)**

Cromatografia em Camada Delgada (CCD) é uma técnica de absorção líquido-sólido que também permite a separação de compostos e utiliza de misturas de solventes na fase móvel onde a quantificação pode – se usar luz ultravioleta (UV) e desintometria; c) Cromatografia por Centrifugação (Chromatotron) para acelerar o processo pode também ser usado um dispositivo em que através da aplicação de uma alta velocidade circular à fase estacionária, a fase móvel e a amostra evoluem radialmente por inércia. Esta última é utilizada só com fins preparativos.

3) Ensaio Imunoenzimático (ELIZA) o método utilizado para realizar o teste se baseia na interação anticorpo-antígeno. Normalmente é usada uma placa de superfície inerte com poços onde serão adsorvidos os antígenos de interesse, juntamente com um tampão de carbonato (processo conhecido como sensibilização), sua desvantagem é que produz falso-positivo (AMARAL; MACHINSKI, 2006).

Os métodos analíticos clássicos indicados para micotoxinas incluem Cromatografia em Camada Delgada (CCD), Cromatografia Líquida de Alto Desempenho (HPLC – “*High-Performance Liquid Chromatography*”), Cromatografia Gasosa (CG) e espectrometria de massa (MS).

Os métodos para análise de aflatoxinas são divididas em três etapas: 1º Amostragem; 2º Purificação (limpeza) para remover interferentes como lipídios e pigmentos e Extração para remover a aflatoxina utilizando-se de misturas de água e solventes relativamente polares (metanol, acetona, etilcetado); 3º Detecção/quantificação (AMARAL; MACHINSKI, 2006; FRANÇA, *et al.*, 2011).

A etapa de amostragem estabelece como a amostra a ser analisada será selecionada, nas etapas de limpeza (*Clean-up*) e extração, o objetivo é remover o máximo de impurezas e extrair de forma mais seletiva possível a aflatoxina, nesta etapa a limpeza ou extração específicas, que levam em conta propriedades físico-químicas de cada tipo de matriz. Quando existem padrões analíticos, a detecção geralmente é feita com base na comparação dos valores do fator de retenção (Rf) dos padrões em relação aos obtidos na amostra, podendo utilizar reagentes cromogênicos ou radiação ultravioleta para visualização da fluorescência das aflatoxinas (MELLO, 2010)

A quantificação pode ser feita com o uso de densitômetro; pela comparação da intensidade da cor/fluorescência com o padrão analítico; pela área das manchas; ou pela raspagem da mancha da placa, seguida de dissolução em solvente e medida por

espectrofotometria UV/Visível, utilizando como base a Tabela 2 de Características físico-químicas das principais aflatoxinas (MELLO, 2010; OPAS, 1983)

Tabela 2: Características físico-químicas das principais aflatoxinas.

Aflatoxina	Fórmula química	Massa molecular	Temperatura de fusão (°C)	Emissão de fluorescência nanômetros (nm) e cor*
AFB ₁	C ₁₇ H ₁₂ O ₆	312	269	425 – azul
AFB ₂	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	314	286-289	425 – azul
AFG ₁	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	328	244-246	450 – verde
AFG ₂	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330	237-240	450 - verde
AFM ₁	C ₁₇ H ₁₂ O ₇	328	299	425 – violeta azulada
AFM ₂	C ₁₇ H ₁₄ O ₇	330	293	425 - violeta
Aflatoxicol	C ₁₇ H ₁₄ O ₆	314	230-234	425

Nota: *Sob luz ultravioleta.

Fonte: OPAS, 1983

2.2. BIOSSENSORES

Os biossensores são métodos de detecção de contaminantes químicos e biológicos de alta sensibilidade e baixo custo, capazes de fornecer resposta da análise em tempo real, têm impulsionado pesquisas em biossensores. Essa tecnologia encontra-se disponível no mercado brasileiro para análises clínicas e possui grande potencial para ser aplicada na área de alimentos (EMPRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL, 2008).

Os **biossensores** são dispositivos bioeletrônicos, que utilizam de reações de químicas e/ou biológicas (analíticas), para obterem resultados tanto qualitativos como quantitativo, constituídos dos seguintes componentes básicos: químico (molecular), sistema de reconhecimento (receptor), e um transdutor físico- químico (THÉVENOT, *et al.*, 1999).

Fatibello e Capelato (1992) colocam que um biossensor pode ser definido como um sensor que utiliza um material biológico (enzimas, anticorpos, antígenos, organismos, tecido animal e vegetal, células, organelas, etc.) conectado a um transdutor que converte um sinal biológico em sinal elétrico. Lee, *et al.* (2008, apud Calil e Silva, 2011), os biossensores são construídos a partir de um componente que introduz a amostra, um sistema de reconhecimento molecular, um transdutor e uma unidade processadora de sinal (Ver Figura 6).

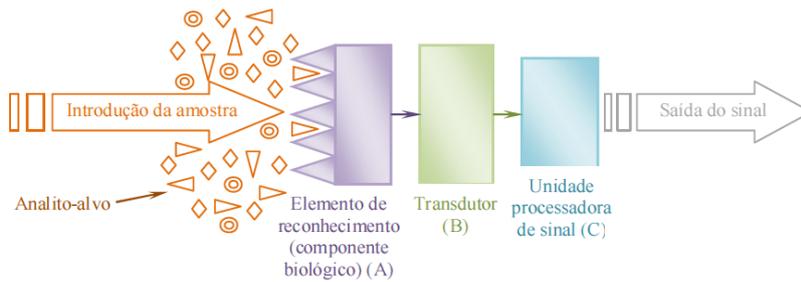


Figura 6: Configuração básica de um biossensor. Fonte: Calil (2011).

2.2.1. Classificação e Desenvolvimento de Biossensores.

Os biossensores são classificados de acordo com a interação da substância a ser detectada, ilustrado conforme a Figura 7, ou pelo modo de transdução do sinal (ANDRADE, 2006; VIEIRA, 2007; FATIBELLO FILHO; CAPELATO, 1992).

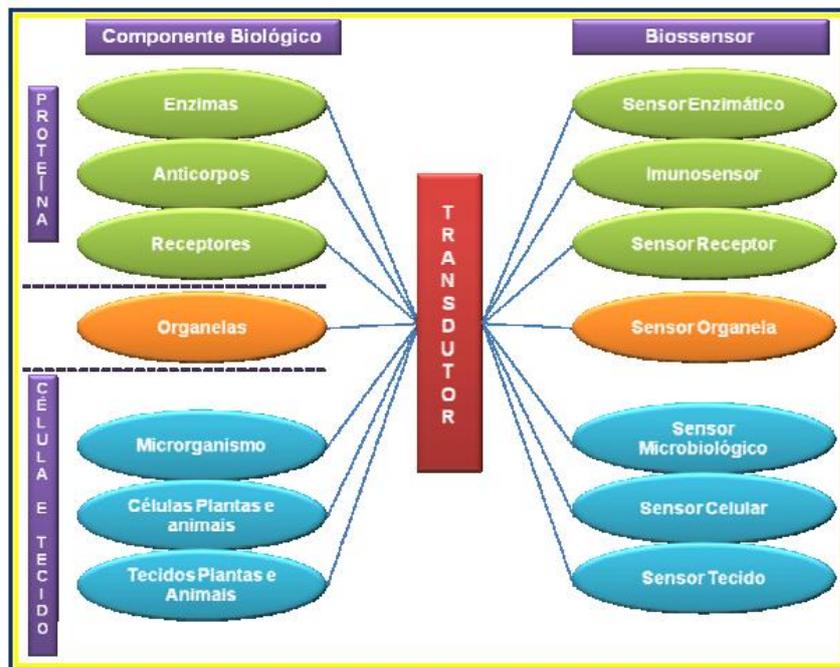


Figura 7: Classificação de biossensores a partir de um elemento biológico sensível.

Fonte: Salgado (2001).

Para o desenvolvimento de um biossensor deve-se realizar as seguintes etapas: a escolha do material biológico, e a escolha do transdutor (MELO, 2008).

A escolha do transdutor deve considerar três (ou quatro) requisitos básicos: que ele seja adequado para adaptação ao material biológico imobilizado, que seja altamente específico para o analítico de interesse, seja capaz de detectar alguma variação

específica que ocorra durante a reação biológica e que esta variação ocorra na faixa de concentração apropriada (SALGADO, 2001; MELO, 2008; FATIBELLO FILHO, CAPELATO, 1992).

Segundo Melo (2008) e Vieira (2007) o tipo de interação que ocorre entre as substâncias a serem detectadas e o material biológico, o biossensor pode ser classificado em:

➤ **Microbiológicos:** são formados por um microrganismo imobilizado, sensível e que especificamente reconhece a espécie de interesse, interligada a um adequado sistema de transdução. O princípio de funcionamento dessa classe de biossensores envolve assimilação do composto orgânico pelo microrganismo, acompanhado por uma variação na atividade respiratória ou na produção de metabolitos, que são monitorados diretamente por um transdutor.

➤ **Imunossensor:** é um tipo de biossensor baseado em uma reação imunológica específica, sendo que o antígeno ou anticorpo é imobilizado na superfície do transdutor. Os imunoenaios são classificados como homogêneos, quando para a detecção não se faz necessária a separação entre espécies marcadas e livres, e heterogêneos quando é necessário a quantificação precisa de uma etapa adicional para a separação das frações livres e ligadas da espécie marcada.

➤ **Enzimáticos:** a maior parte dos biossensores desenvolvidos utiliza como componente biológico enzimas, em geral imobilizadas. A vantagem do uso deste componente é que as enzimas são catalisadores biológicos altamente específicos e seletivos. A desvantagem em relação ao uso de enzimas na construção de um biossensor é o fato de apresentar uma estabilidade relativamente baixa, principalmente no que diz respeito a variação das condições físico-químicas do meio reacional, mas que podem ser contornados usando as condições adequadas de pH, temperatura e pressão que garantam a manutenção da atividade enzimática.

Segundo Sethi (1994) o projeto básico de qualquer transdutor deve incorporar as seguintes características: ele deve ser altamente específico para o analito de interesse e responder na concentração adequada de gama, exibindo em um tempo moderadamente rápido de resposta (1-3 minutos), passíveis de miniaturização e deve idealmente

compensar internamente quaisquer desvios causados por temperatura e outros fatores, sendo confiável e adequado para aplicações práticas.

Em relação ao tipo de transdutor os biossensores podem ser classificados: **potenciômetros** (convertem sinal biológico em potencial elétrico); **amperométricos** (convertem sinal biológico em corrente elétrica); **ópticos** (provocam desvio no caminho óptico); **condutimétricos** (alteram a condutividade elétrica do substrato); **calorimétricos** (alteram a entalpia de reação do substrato); **termométrico** (detecção de analito gera uma variação de temperatura) [SETHI, R.S., 1994; THÉVENOT *et al*, 2001].

2.3. PRODUTOS CONCORRENTES E SIMILARES: DETECTORES DE AFLATOXINA

Segundo Fonseca (2000) a busca da informação sobre o projeto, deve ser dirigida em três direções:

- **Procura de patentes sobre o produto que vai ser projetado;**
- **Procura de tecnologias e métodos de fabricação disponíveis e**
- **Procura de informação sobre produtos similares.**

A procura pode ser apoiada pela internet em “sites” de empresas produtoras de todo o tipo de produtos, ou buscar por patentes através de escritórios especializados ou Institutos de Patentes (INPI ou equivalentes) no país onde o produto vai ser produzido e/ou comercializado. Sobre os produtos similares deve-se além de visitar os sites adequados na Internet, deve-se procurar catálogos e ofertas de produtores concorrentes, assim como a maior quantidade de informação possível do produto que vai ser projetado (FONSECA, 2000).

2.3.1. Kits comerciais para detecção de aflatoxinas

Existem vários kits comerciais de detecção de aflatoxinas no mercado, esses kits são usados em ambiente laboratorial exigindo necessidade de pessoas especializadas para manuseá-los, como exemplos:

- ***EnviroLogix do Brasil Diagnósticos Ltda***, uma empresa de Campinas/SP, disponibiliza o *Kit QuickTox* para detecção de aflatoxinas em grãos de

milho.

O kit contém: 50 tiras *QuickTox* embaladas em recipiente dessecante; 50 pipetas de transferência de volume fixo descartáveis e 50 tubos de reação descartáveis. Necessitando comprar a parte: Agitador orbital/rotatório; Copos plásticos para amostra com tampa; Solvente (metanol 70% ou etanol 50%); Peneira de 20 *mesh*; Proveta graduada e Cronômetro.

Aplicação: o kit *QuicTox* para aflatoxinas extrai e detecta rapidamente a presença de resíduos totais de aflatoxinas (*B1 e B2*), detectando de forma qualitativa a presença de resíduos em grãos de milho no limite de 20 ppb (parte por bilhão).

Para se realizar os testes é necessário preparar as amostras, o primeiro passo é determinar o número e o tamanho das mesmas, triturando-as e passa-se por uma peneira de 20 *mesh*, o segundo passo é realizar a extração da amostra de milho utilizando um copo descartável com tampa, adicionando os solventes, e o terceiro e último passo é a diluição do extrato com água, utilizando uma pipeta de volume fixo para adicionar, remover e misturar a água no tubo de reação, conforme a Figura 8.

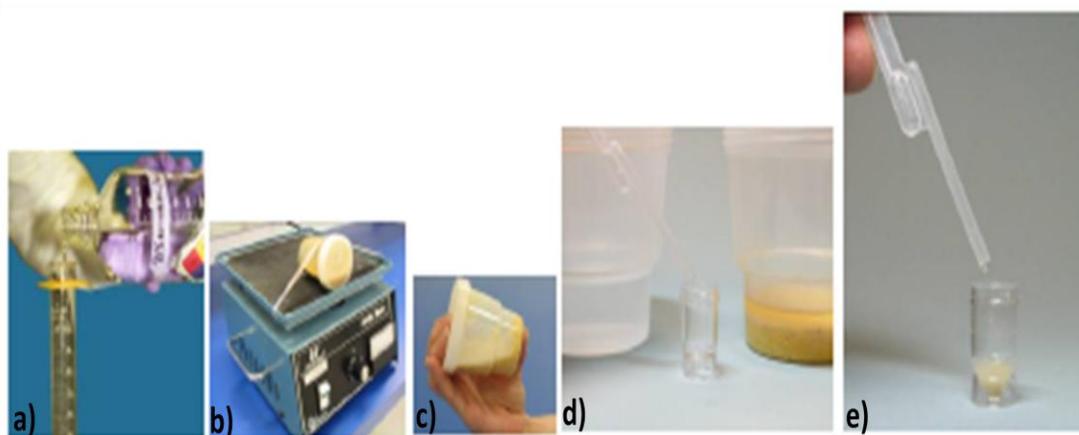


Figura 8: Preparo da amostra: a) Medida do solvente; b) Agitar mecanicamente ou c) À mão; d) Adicionar água ao tubo de reação; e) Adicionar extrato ao tubo de reação. Fonte:

http://www.envirologix.com/artman/publish/article_331.shtml

O teste é realizado utilizando tiras, colocando-as dentro do tubo de reação junto com a amostra, aguardando o tempo médio de 5 minutos para o resultado, (ver. Figura 9).



Figura 9: Colocando a tira no tubo de reação. Fonte:

http://www.envirologix.com/artman/publish/article_331.shtml

Existem ainda no mercado outras empresas que fornecem kits comerciais para a detecção de aflatoxinas. Como:

- **Hexis Científica** representante de marcas tais como, Hach Brasil, Met One, Chemtrac, Hydrolab, Charm e Satorius, estando localizada em São Paulo nas cidades de Indaiatuba, Jundiaí e Suzano.

A empresa disponibiliza do Kit *ROSA (Charm)* para detecção quantitativa e rápida da micotoxina aflatoxina (totais) em grãos de milho e derivados, arroz e derivados, aveia, centeio, sorgo, soja, trigo e outros.

O kit *Charm* contém: 100 fitas para aflatoxina; controle positivo de aflatoxina B1 e solução de tampão; Sendo necessário utilizar a parte Chapa aquecedora para micotoxinas HX0066-00111 para o processo de incubação, Leitora ROSA-M HX0066-00093 para a interpretação do resultado, tendo que ser armazenado em ambiente refrigerado (0 - 7°C).

O teste é realizado de forma quantitativo com sensibilidade de 0-150 ppb (parte por bilhão), com limite de detecção de 2 ppb (parte por bilhão), com tempo de análise de 15 minutos, o kit tem capacidade de realizar 100 análises, (ver, Figura 10).



Figura 10: Kit ROSA (Charm) para detecção de aflatoxinas. Fonte:

<http://www.hexis.com.br/cotacaofacil/produto/HX0066-00098>

- A **Beacon Analytical Systems Inc.** localizada na cidade de Saco/ME-USA, a empresa disponibiliza de 3 tipos de Kits, os quais são:

- **Aflatoxin M1 Plate Kit (ELISA)** – realiza análise quantitativa de aflatoxina M1 em amostras contaminadas, tais como leite fresco e leite em pó. Contém 12 tiras de ensaio de 8 *wells*, o teste é realizado com sensibilidade de 0, 1.5, 3.0, 10, 30 e 100 ppb (parte por bilhão), com tempo de incubação de 75 minutos (US\$ 380).

- **Aflatoxin Plate Kit (Elisa)** – realiza análises quantitativas de aflatoxinas em nozes, grãos e produtos de grãos. Contém 96 placas de microtitulação, 12 tiras de teste e 8 *wells*, o teste é realizado com sensibilidade 0, 2.0, 7.5, 25 e 100 ppb. O kit obtém resultados rápidos, com o tempo de ensaio de 20 minutos, com detecção de aflatoxinas de concentração abaixo de 2µg/kg (ppb), podendo realizar os testes individualmente ou em lotes tornando-o mais econômico (US\$ 300).

- **Aflatoxin Tube Kit (ELISA)** – realiza análise quantitativa de aflatoxina em milho e amendoim. Contém de 40 a 100 tubos de ensaio anticorpos revestidos, o teste é realizado com sensibilidade 0, 2.0, 7.5, 25 e 100 ppb. O kit obtém resultados rápidos, com o tempo de ensaio de 20 minutos, com detecção de aflatoxinas de concentração abaixo de 2µg/kg (ppb), podendo realizar os testes individualmente ou em lotes tornando-o mais econômico (US\$ 250).

Pode-se verificar que mesmo comprando um kit comercial para detecção torna-se necessário ter a disponibilidade de equipamentos para realizar o teste, tais como, balança, triturador, tubos de ensaio, pipetas, equipamentos de incubação e refrigeração e principalmente um ambiente laboratorial específico para o ensaio.

2.3.2. Laboratórios especializados e equipamentos

Os laboratórios especializados em detecção de aflatoxinas na castanha-do-brasil, os quais são chamados de **Lanagros** (Laboratórios Nacionais Agropecuários), são também laboratórios oficiais do **MAPA** - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Existem 6 Lanagros que estão localizados nas 5 regiões do Brasil, sendo 2 na região Sudeste (Pedro Leopoldo/MG e Campinas/SP), 1 na região Sul (Porto Alegre/RS), 1 no Centro-oeste (Goiânia/GO), 1 no Nordeste (Recife/PE) e 1 no Norte (Belém/PA).

Destes laboratórios apenas 1 localizado na cidade de Pedro Leopoldo/MG realiza a análise de detecção de aflatoxinas na castanha-do-brasil, através de técnicas de **CCD** (*Cromatografia em Camada Delgada*) e **CLAE-F** (*Cromatografia Líquida de Alta Eficiência*).

Os equipamentos utilizados para os ensaios e testes de CCD e CLAE ou HPLC são:

- **CLAE ou HPLC** (*High Performance Liquid Chromatography*), a máquina de HPLC (conforme, Figura 11) é formada por um sistemas de solvente, bombas, injetor, coluna, detector e um sistema de aquisição de dados.



Figura 11: Sistema HPLC Shimadzu- Lc2010. Fonte: <http://www.shimadzu.com/an/hplc/>

O método se inicia com a preparação da amostra, onde a mesma é dissolvida em um solvente e introduzida na coluna cromatográfica preenchida com a fase estacionária (FE), o solvente é bombeado com vazão constante e desloca os componentes da mistura através da coluna, esses distribuem entre as duas fases de acordo com suas afinidades. Ao sair da coluna os componentes passam por um detector que emite um sinal elétrico o qual é registrado, constituindo um cromatograma (CRM, 2010).

- **Sistemas de Solventes:** degaseificação/vácuo-hélio (*sparging*); bombas de duplo pistão, isocráticas, binárias e quaternárias; válvulas proporcionais; câmara de mistura; eluição isocrática (composição da FM é constante) e eluição de gradiente (composição da FM varia ao longo do cromatograma), conforme a figura.

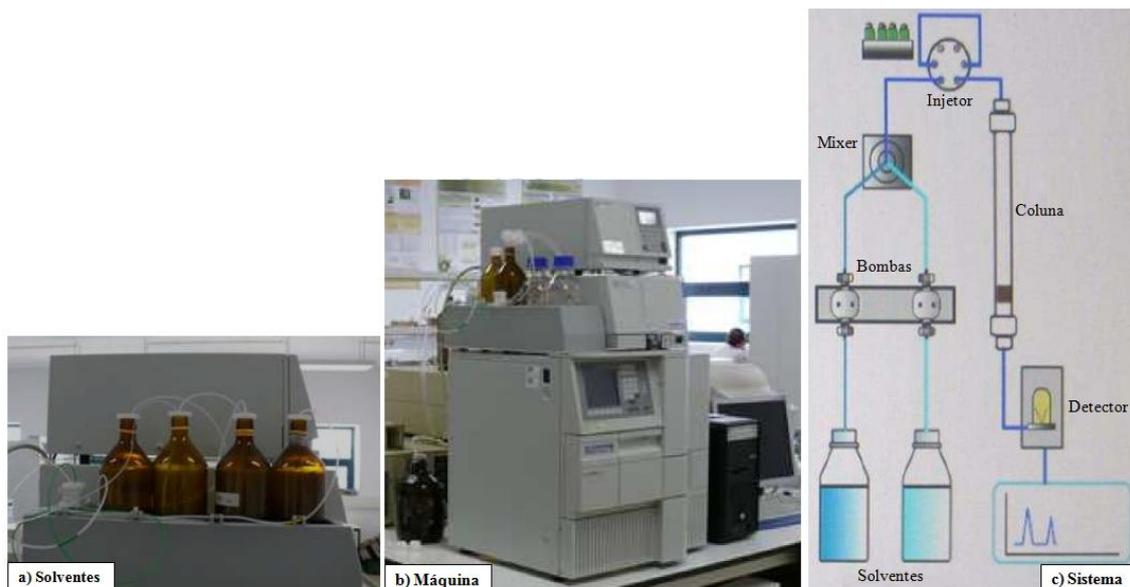


Figura 12: Sistemas de Solventes: a) Solventes; b) Máquina e c) Sistema. Fonte: CRM (2010).

Assim segue a descrição técnica das partes do sistema de solvente da máquina de HPLC:

- **Bombas:** pressão elevada (6000psig) com riscos de fugas, saída contínua (sem pulsação) do pistão, fluxos de 0,1 a 10ml/min e reprodutibilidade de fluxo de 0,5% .
- **Injetor:** contém, injeção em loop de volume fixo (5 - 500 μ l) e autoinjeter.
- **Enchimento:** sílica, alumina, polímeros porosos e resinas permutadoras de iões.

Os detectores de absorção (UV+Vis) são usados na maioria das aplicações para células analíticas e detecção de foto-diodos com comprimento de onda de 360 nm e através de um sistema automatizado de análise das amostras é utilizado um computador com software específico para o tratamento dos dados do ensaio.

2.3.3. Projetos de equipamentos detectores de aflatoxinas (biossensores)

Através de pesquisas realizadas em revistas como *Biosensors & Bioelectronics*, *IEE Xplore*, na *Base de Dados da Capes*, foram selecionado alguns artigos que tratam de equipamentos de detecção de aflatoxinas desenvolvidos através de instituições de ensino e pesquisa. Assim os artigos mais relevantes à pesquisa foram:

- **CFLAE: Detector de aflatoxinas em milho:** o objeto deste foi comparar a metodologia simplificada de detecção de aflatoxina através da

Contagem por Fluorescência com Luminosidade Amarelo-Esverdeada (CFLAE) em grão de milho, utilizando como método oficial AOCS (1997), detecção cromatografia de camada delgada (CCD). O equipamento consiste em (conforme Figura 13) uma cuba de 50x40x65 cm, com um visor de vidro de proteção de formato retangular e uma rampa metálica que se localiza dentro do equipamento, com uma inclinação de ângulo de 40 a 46 graus, onde a mesma é finalizada com uma abertura no fundo da cuba onde será descartada a amostra em um balde plástico. O seu funcionamento consiste essencialmente em após realizar o tratamento da amostra e coloca-la dentro da cuba, a rampa é iluminada por uma fonte de luz ultravioleta com o comprimento de onda de 265nm (CANÇADO, R.A; FREITAS, R.J.S., 2000).

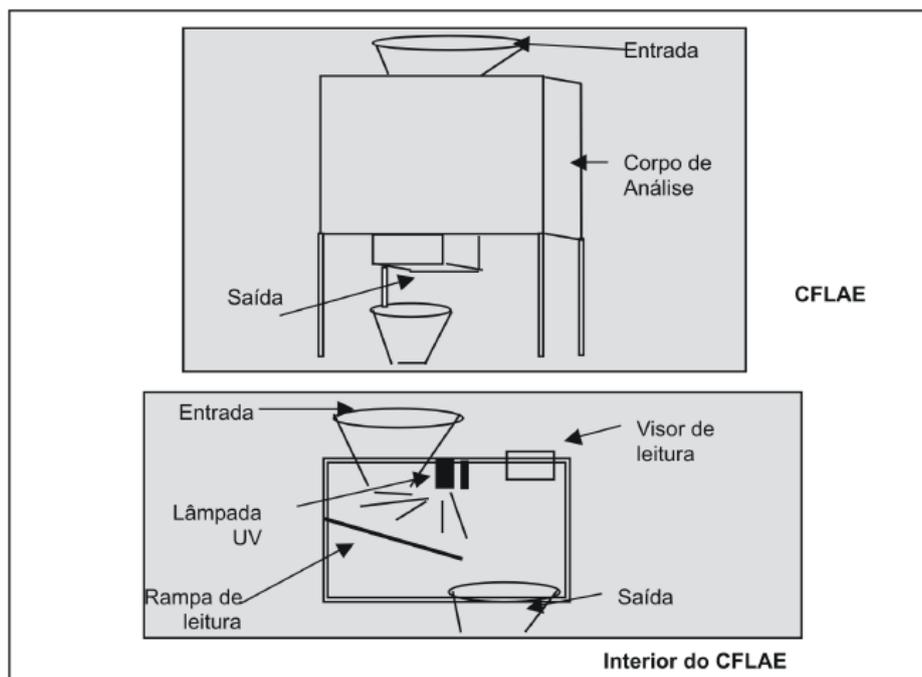


Figura 13: Croqui Básico do equipamento CFLAE. Fonte: Cançado (2000).

An automated, handheld biosensor for aflatoxin (Um biossensor portátil, automatizado para aflatoxina): trata-se do desenvolvimento de um biossensor fluorométrico de imunoafinidade para detecção quantitativa de aflatoxinas (ver Figura 14). O equipamento tem como qualidade seu tempo rápido de resposta e o fato de ser portátil, podendo realizar até 100 medições sem remoções, com concentrações de 0.1 à 50pp (parte por bilhão). O sistema do instrumento dividi-se em dois subsistemas, fluido

e eletro- óptico, onde o fluídico executa a parte mecânica do manuseio da amostra e o eletro- óptico onde realiza a detecção de aflatoxina para o usuário. Os dois sistemas são controlados por um microprocessador, que dirige os fluidos eletro- óptico para as etapas sequenciais de análises. Assim através da luminosidade ultravioleta de concentração de 365nm, excita a fluorescência da aflatoxina (CARLISON, *et. al.*, 2000).

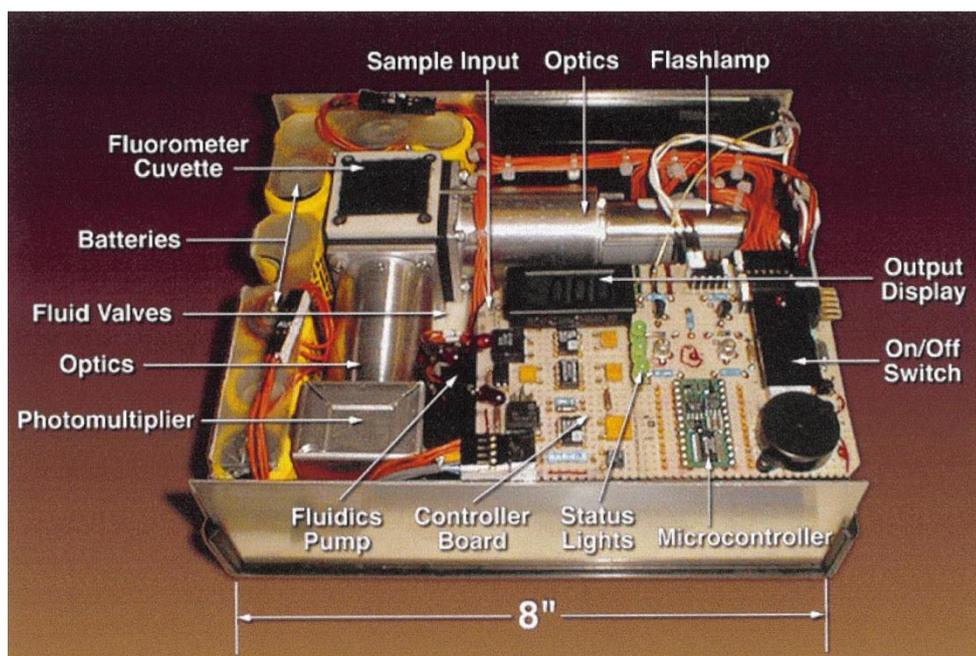


Figura 14: Um biossensor portátil automatizado para aflatoxina. Fonte: Carlison *et. al.* (2000).

2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do estudo de pesquisa realizado neste capítulo, pode-se observar os vários métodos e técnicas de contexto laboratorial, empregados para a identificação da aflatoxina, notando que para realiza-los tem a necessidade de uma gama de aparatos, máquinas e pessoas especializadas para realizar a tarefa conforme as normas, de acordo com procedimentos pré-determinado de boas práticas laboratoriais.

Com apenas um laboratório especializado e cadastrado segundo o site do MAPA para toda uma demanda, torna muitas vezes o procedimento inviável aos extrativistas de cooperativas distantes e de difícil acesso para enviar as amostras.

As boas práticas de análises de alimentos têm cada vez mais investindo em pesquisas de desenvolvimento de biossensores, como nos projetos pesquisados neste capítulo, observando uma solução mais refinada para vários agentes tóxicos e outro

mais simples para apenas uma micotoxina, porém ambos com o mesmo propósito de detecção de aflatoxina, porém não foi encontrado patentes a respeito de equipamentos de detecção de aflatoxinas em castanha-do-brasil.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a revisão da literatura sobre as principais metodologias de projeto de produto mecatrônico, e o estado da arte de modelos e pressupostos de integração de sistemas mecatrônicos, assim como a metodologia a ser aplicada para o desenvolvimento do biossensor.

3.1. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

As principais metodologias de projeto de produto, com apresentação dos métodos e técnicas de apoio ao desenvolvimento dos produtos e sistemas focam-se no projeto de sistemas mecânicos. E, entre elas destacam-se por serem mais utilizadas as apresentadas por Pahl e Beitz (1996) e Rozenfeld, *et al.* (2006), as quais são apresentadas nas seguintes seções.

3.1.1. Metodologia de desenvolvimento de produto de Pahl e Beitz (2005)

A metodologia proposta por Pahl e Beitz (2005) descreve que para um bom desenvolvimento de produto que desperte o interesse no mercado é necessário um procedimento para desenvolvimento de boas soluções, que seja planejável, flexível, otimizável e verificável.

No entanto foi desenvolvido especificamente para engenharia mecânica utilizando de diretrizes como VDI 2221 e 2222, assim, além dos fundamentos da engenharia de sistema, procedimento sistemático e o processo geral da solução, o modelo sincroniza os requisitos do processo do projeto de engenharia mecânica com etapas de trabalho e decisão.

Realizando o desdobramento do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) e de Projeto segue as principais fases (ver Figura 15):

1) Planejamento e esclarecimento da tarefa (definição informativa): independente se a tarefa é proveniente de uma proposta de um planejamento de produto, ou de um pedido concreto de um cliente, é necessário esclarecer a tarefa de uma forma detalhada, obtendo informações sobre os requisitos do produto ou projeto, condições e relevância.

2) Conceber (definição preliminar): é realizado após o esclarecimento da tarefa, através dos principais problemas, realiza-se a formação de estruturas de funções e princípios de trabalho adequados, com essa junção se define uma solução preliminar.

3) Projetar (definição de configuração): parte da solução preliminar, onde de forma clara e completa estrutura-se a construção de um produto técnico através de critérios técnicos e econômicos. Após realizar uma análise técnico – econômica é possível obter um nível de informação mais elevado, para poder seguir a próxima fase se faz necessário definir os requisitos em relação à cobertura de custos onde precisam ser viáveis.

4) Detalhar (definição da tecnologia de produção): é a parte do projeto que complementa a estrutura de construção de um produto técnico, sendo seu resultado a definição tecnológica de produção da solução.



Figura 15: Fluxograma para Desenvolvimento do Projeto. Fonte: Pahl e Beitz (2005).

A obra também trata de tópicos como Desenvolvimento de Produtos em Série e Modulares, Métodos para desenvolvimento de produtos com garantia da qualidade, Identificação de custos e Projeto auxiliado por computador.

3.1.2. O Processo de Desenvolvimento de Produtos - Rozenfeld, *et al.* (2006)

Posteriormente no Brasil através de um esforço conjunto de pesquisadores, estudantes e profissionais de empresas, através do projeto PROCAD (Programa de Cooperação Acadêmica) formada principalmente pelos Grupos de Pesquisa do GEPEQ

– UFSCar, NUMA – USP e NeDIP – UFSC, foi gerado o Livro “*Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para melhoria de processo*”.

Os autores propõem um modelo unificado de Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP), utilizando de conceitos de processo e modelos de referência para a gestão PDP, estruturando assim o Modelo Unificado do PDP em 3 macrofases, 12 fases, 65 etapas e 207 atividades, (ilustradas, conforme a Figura 16).

Macro-fases	Fases	Etapas	Atividades	Tarefas	Informações de Entrada	Informações de Saída	Métodos e Ferramentas
Pré-desenvolvimento							
Desenvolvimento							
Pós-desenvolvimento							

Explicação do conteúdo

Figura 16: Estrutura do Modelo de Referência. Fonte: Rozenfeld (2003).

As fases iniciais de desenvolvimento são (ver Figura 17):

- 1) **Projeto informativo:** realiza as especificações de projeto a partir da classificação das especificações-meta do produto orientando a geração de soluções, critérios de avaliação e de tomada de decisão, uma etapa muito importante nesta fase é a definição do problema do produto, podendo ainda ser utilizado o método QFD;
- 2) **Projeto Conceitual:** compreende na geração e seleção da concepção do produto a partir das especificações de produto, realizando a modelagem funcional para gerar alternativas de solução, utilizando de métodos de criatividade como “*brainstorming*”, Matriz Morfológica ou Teoria da Solução de Problemas Inventivos, com fim de detalhamento de concepções desenvolvidas através de escolha de material, processo de fabricação e montagem, através da abordagem de conceitos de Engenharia Simultânea;
- 3) **Projeto Detalhado:** as atividades desenvolvidas incluem codificação, identificação, classificação e padronização, especificando uma sistemática de análise de item a serem comprados ou fabricados através do relacionamento

da gestão de custos, podendo assim monitorar a viabilidade econômico-financeira;

- 4) **Preparação da Produção:** esta fase engloba a produção do lote piloto, a definição de processo de produção e manutenção;
- 5) **Lançamento do Produto:** o objetivo desta fase é colocar o produto no mercado.

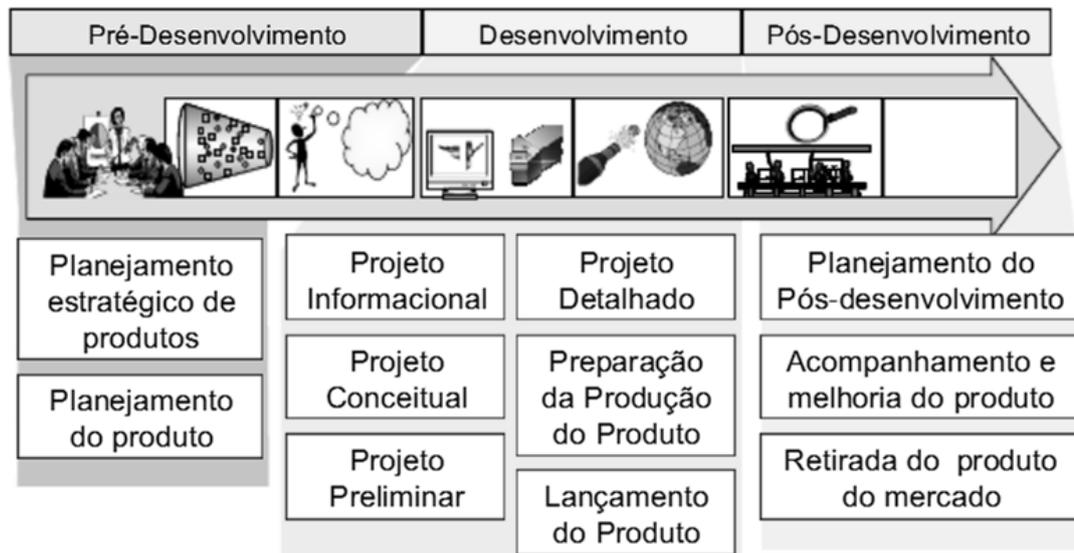


Figura 17: Visão Geral do Modelo. Fonte: Rozenfeld (2003).

3.2. MODELOS DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS MECATRÔNICOS

Mecatrônica pode ser definida como um campo interdisciplinar, que caracteriza a integração e interligação entre Engenharia mecânica, Engenharia elétrica, Engenharia de controle e Engenharia de software onde essas interligações são a base para a concepção de produtos de sucesso (HARASHIMA, *et al.*, 1996; SHETTY; KOLK, 1997; ROSÁRIO, 2005). Logo, a mecatrônica envolve a abordagem de engenharia simultânea no projeto de sistemas (BRUSSEL, 1996), em relação a cooperação multifuncional para o projeto de engenharia, com a proposta de criar produtos melhores, mais baratos e introduzidos em menor tempo no mercado (SMITH, 1997).

De acordo com Vries e Breunese (1995, p.1430-1431) a abordagem de mecatrônica especificamente influencia a fase de projeto conceitual, onde é durante esta etapa que a maioria das decisões é tomada com relação funcional de interação e

integração espacial do projeto do sistema. O Projeto de Engenharia em geral e assim também concepção de sistemas mecatrônicos, essencialmente aborda duas questões:

- 1 - Determinar os requisitos para o produto a ser projetado;
- 2 - Formular um modelo (a solução de projeto proposto) que satisfaça estes requisitos e que possa ser realizado.

Segundo Gausemeier, *et al.* (2011, p. 773) para gerenciar a complexidade do projeto do produto mecatrônico é necessário um modelo do processo adequado, esse modelo de procedimentos têm como envolvidos os “*stakeholders*” de diferentes domínios, onde há a necessidade de atividades a serem executadas, coordenadas e sincronizadas.

Esses modelos de desenvolvimento de sistemas mecatrônicos são apresentados nas seguintes seções.

3.2.1. Modelo V

A **VDI - 2206** é uma proposta de solução industrial para o desenvolvimento de produto mecatrônico, dedicando-se particularmente à **Metodologia de Projeto para Sistemas Mecatrônicos** e sugere para o desenvolvimento do processo de sistemas mecatrônicos o chamado “*V-model*” (Modelo-V), ver conforme Figura 18 (VASIĆ; LAZAREVIĆ, 2008)..

O objetivo dessa metodologia não é substituir as existentes, mas estabelecer métodos específicos para serem integrados a metodologia de produtos complexos, consistindo em três partes: micro- ciclo, macro -ciclo e módulo do processo, porém o produto mecatrônico complexo não é produzido somente em um macro- ciclo e sim em vários macro- ciclos, assim o termo “produto final” não significa apenas produto acabado, como também a concretização da maturidade do produto (VASIĆ; LAZAREVIĆ, 2008, p. 106).

O modelo V funciona da seguinte forma: depois de analisar todos os requisitos do sistema total, as subfunções, e subsistemas, os mesmo são definidos no ramo esquerdo do Modelo V, onde são desenvolvidos simultaneamente pelas equipes colaborativas de desenvolvimento; depois de verificar as subfunções e testando os subsistemas, eles são integrados passo a passo à direita ramo de Modelo V; em seguida, o desempenho do sistema integrado é verificado, se houver necessidade de ser melhorado, a operação inicial da fase será repetida tornando-se assim um processo

interativo (VASIĆ; LAZAREVIĆ, 2008, p. 106; HEHENBERGER, *et al.*, 2010, p. 865-866).

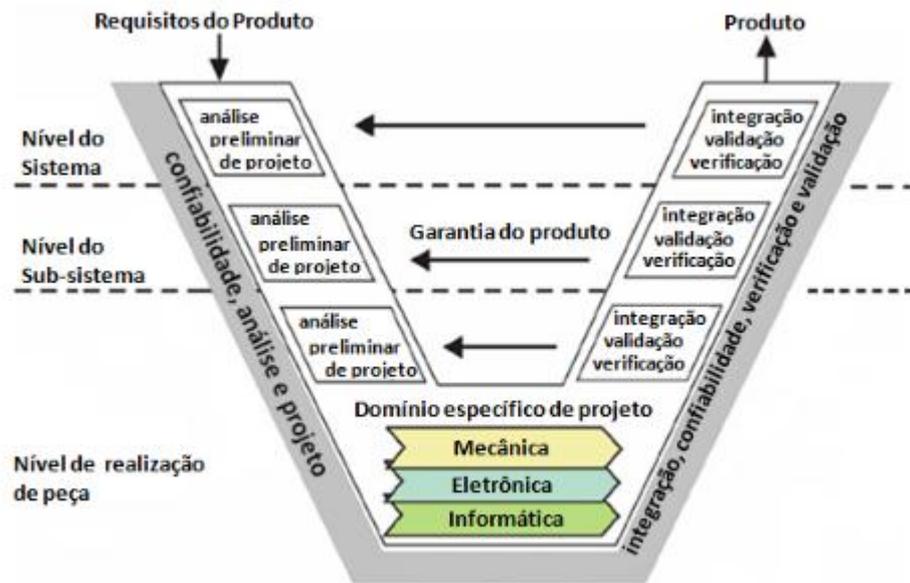


Figura 18: Proposta de orientação industrial para Projeto de produto mecatrônico: Princípio básico. Fonte: Adaptado de Vasić e Lazarević (2008, p. 105).

3.2.2. Modelo de 3- ciclos

O Modelo de 3- ciclos proposto por Gausemeier, *et al.* (2009), (ver Figura 19) contém 3 tarefas principais que são: 1) Planejamento Estratégico do Produto; 2) Desenvolvimento de Produto e 3) Sistemas de Desenvolvimento de Produção. Onde cada ciclo é caracterizado por:

- 1) **Primeiro Ciclo:** caracteriza-se em descobrir um projeto de produto promissor através de métodos de solução, técnicas de cenário, Delphi, técnicas de criatividade e TRIZ.
- 2) **Segundo Ciclo:** Produto Virtual – caracteriza-se por três fases: Projeto Conceitual do Produto, Definição das partes do sistema (mecânica, eletrônica, controle e software) e Integração de Sistemas, o que leva a prototipagem virtual;
- 3) **Terceiro Ciclo:** Produção Virtual - é o Projeto Conceitual do Sistema de produção. O resultado desta fase é a solução de princípio do sistema de produção (processo de planejamento, local de trabalho, planejamento adicional logístico), onde se encontra a abordagem de engenharia simultânea ou concorrente.

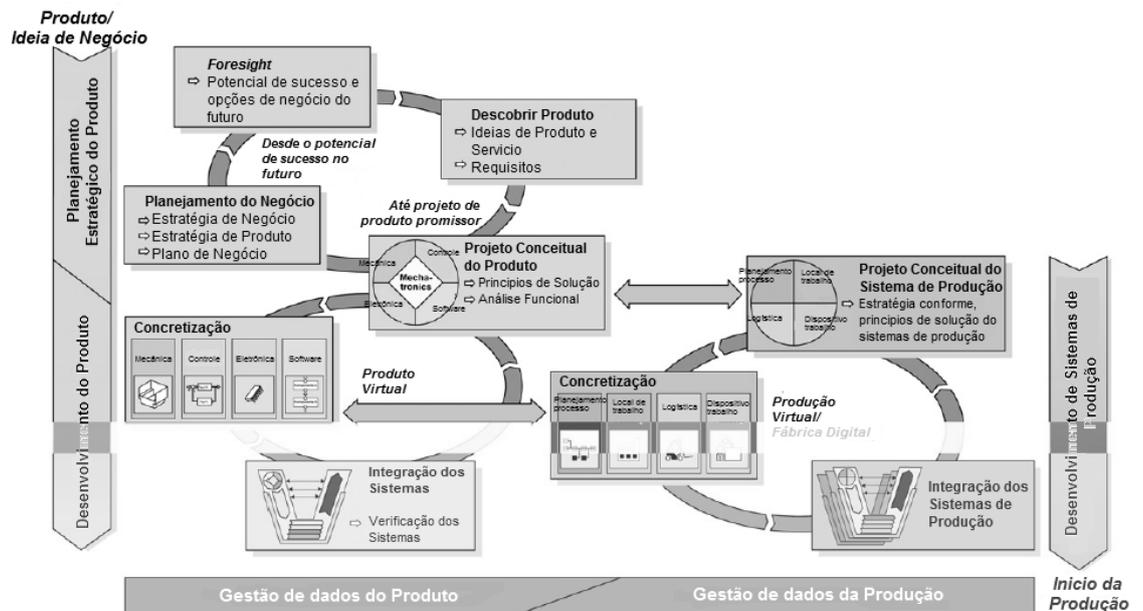


Figura 19: “3 – Cycle-Model” (Modelo de 3 ciclos) de Engenharia de Produto. Fonte: Gausemeier, *et al.* (2011, p. 774).

Neste Modelo de 3- ciclos o Projeto Conceitual integrado detalhado do sistema do produto e da produção consiste em (ilustrado conforme Figura 20): planejamento e esclarecimento da tarefa, projeto conceitual ao nível do sistema, módulos, processo e recursos, e a integração de sistemas.

1) Planejamento e esclarecimento da tarefa;

- a) Produto: é identificada a tarefa central de desenvolvimento. O resultado de esta fase é a lista de requisitos;
- b) Sistemas de Produção: o objetivo é identificar os elementos do sistema que precisam ser fabricados.

2) Projeto conceitual:

- a) Nível de sistema: a entrada é a lista de requisitos da qual são extraídas as principais funções do produto e são configuradas dentro de uma hierarquia de funções. Os princípios de solução ao nível de sistema são os resultados desta fase;
- b) Nível de módulos: é preciso ter uma visão mais aprofundada para a solução do sistema, para dar uma análise da percepção técnica e econômica do princípio de solução. Para esse efeito, o sistema é modular e são desenvolvido um princípio de solução para cada módulo. O resultado é o princípio de solução ao nível de módulo;

c) Nível de processo: o objetivo desta fase consiste em preparar a sequência do processo, as partes, montagens, processo de fabricação e montagens, que são necessários para a produção;

d) Nível de recursos: nesta fase os recursos do sistema de produção são determinados.

3) Integração do conceito: os princípios de solução dos módulos do produto serão integrados a um princípio de solução detalhado de todo o sistema. Este é o ponto de partida para a concretização do produto subsequente

Assim o princípio de solução de um produto mecatrônico complexo e do seu sistema de produção precisa ser dividida em aspectos, como: meio-ambiente, cenários de aplicação, requisitos, funções, estrutura de atividades, molde (produto), comportamento, sequência de processo, recursos e espaço de trabalho (GAUSEMEIER, *et al.*, 2011, p. 775-776).

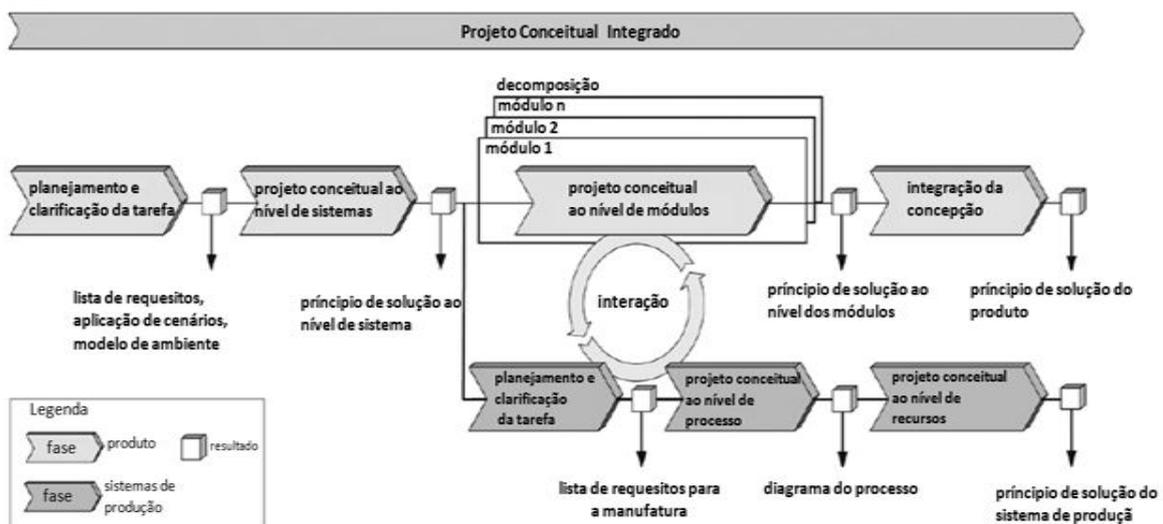


Figura 20: Modelo de procedimento genérico para o projeto conceitual integrativo do sistema de produção e produto. Fonte: Gausemeier, *et al* (2011, p. 775).

3.2.3. Modelo Hierárquico

De acordo com Hehenberger, *et al.* (2010) uma das questões-chave no desenvolvimento dos sistemas mecatrônicos moderno é a integração rigorosa da mecânica, controle, elétrica, eletrônicos e aspectos de software desde o início da fase de concepção, como pode ser visto na Figura 21.

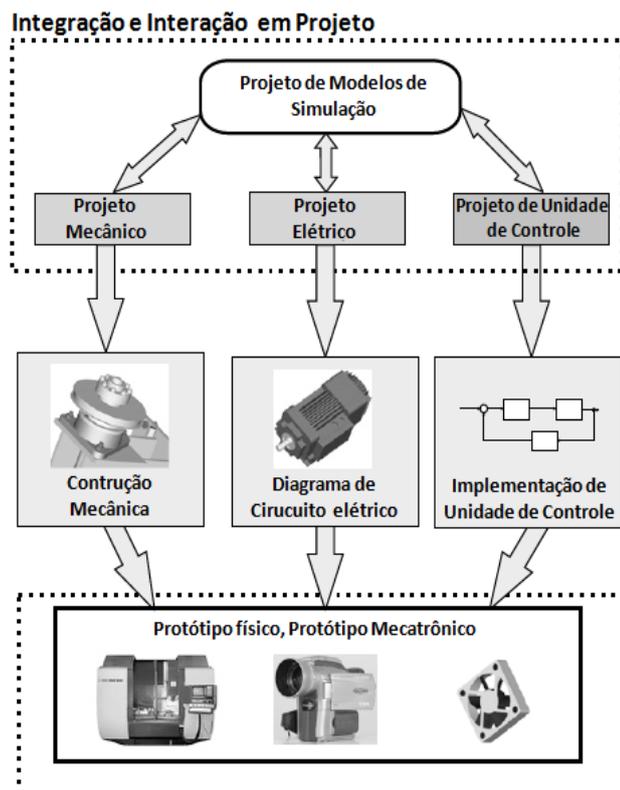


Figura 21: Atividades de Projeto Mecatrônico. Fonte: Hehenberger, *et al.* (2010, p.865).

O modelo de projeto hierárquico para sistemas mecatrônicos proposto por Hehenberger, *et al.* (2010, p. 868-869) refere-se principalmente a utilização de:

- 1) **Módulos mecatrônicos** (subsistemas de componentes) - o pilar de cada módulo é estruturado em vários níveis hierárquicos correspondentes ao grau de detalhamento de processo;
- 2) **Modelos hierárquicos para Projeto Conceitual** - cada modelo é único e possui um propósito específico, e o objetivo do mesmo é servir como ferramenta para encontrar uma resposta do projeto em questão. Os modelos consistem em um conjunto de parâmetros, bem como um conjunto lógico e quantitativo nas relações entre eles. A modelagem é o processo de estabelecimento de um modelo, que é um grande desafio e exige trabalho criativo. Ao estabelecer um modelo, algum tipo de idealização é necessária, isso significa que o modelo está intrinsecamente ligado às suposições explícitas que não representam a realidade de forma completa ou perfeita. Os pressupostos são chaves para obter modelos simples que ainda são representações significantes da realidade, considerando que a descrição exata da realidade não é possível em geral.

- 3) Projeto hierárquico de parâmetros** – a hierarquia de parâmetros de projeto é investigada separadamente para cada domínio, assim a fase de concepção através é feita através de vários estágios do projeto intermediário, o qual tem como saída a documentação completa do produto. O projeto de parâmetros pode ser classificado em duas categorias: 1- Subconjuntos para Parâmetros Externos com representação de requisitos para o próximo nível; 2 – Parâmetros de Projeto Interno para o dimensionamento do componente.

3.3. MÉTODO PROPOSTO PARA O PROJETO DO BIOSSENSOR

Através da literatura das principais metodologias de desenvolvimento de produto mecatrônico, visando à organização do projeto, foi elaborado segundo as características de comum acordo de todos os modelos e metodologias vistas, um roteiro de projeto, ilustrado conforme a Figura 22.

Assim a abordagem do projeto deve seguir as seguintes características:

- 1 – Esteja de acordo com os procedimentos do estado da arte das metodologias de projeto de produto mecatrônicos;
- 2 – Seja capaz de seguir os objetivos do projeto proposto;
- 3 – Seja adequado ao projeto do biossensor.

A estrutura do projeto para o PDP do biossensor foi elaborada para melhor atender as necessidades do projeto de forma clara e precisa, a cada etapa do projeto existe uma saída que nada mais é que o resultado desejado para a tarefa proposta, assim como os métodos, técnicas e ferramentas utilizadas para ter os resultados esperados.

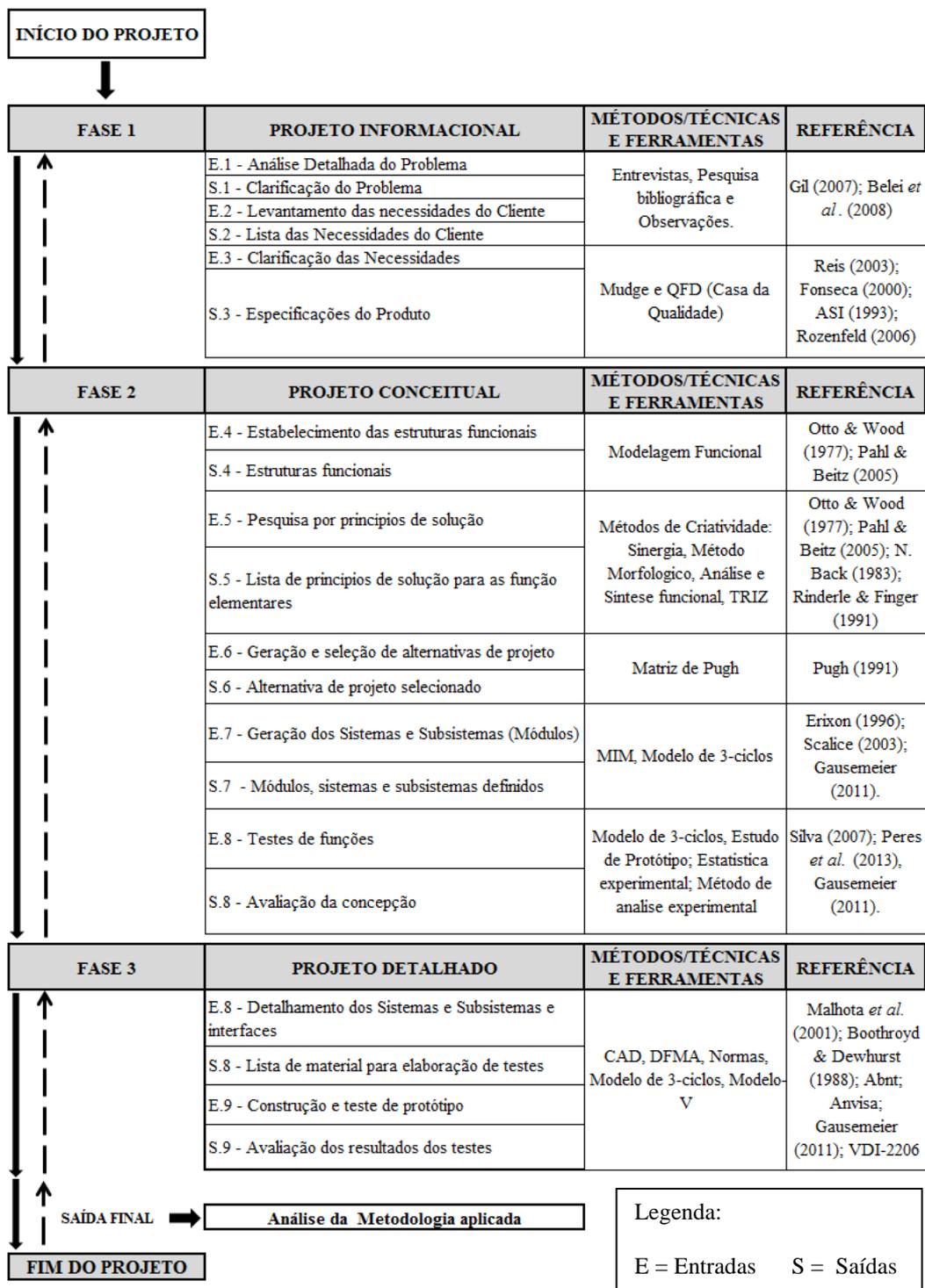


Figura 22: Proposta de abordagem metodológica para o projeto do biossensor.

Nas seguintes seções serão apresentadas e descritas os métodos, técnicas e ferramentas a serem utilizadas em cada fase do projeto.

3.3.1. Projeto Informacional

Uma das tarefas principais para iniciar o projeto é a Análise detalhada do problema, pois a contextualização do problema resulta em um entendimento sobre as circunstâncias as quais acercam o projeto proposto assim como suas possíveis adversidades tais como: socioeconômicas, viabilidade financeira, tecnologias, mercado.

Para realizar a análise detalhada do problema, usa-se os seguintes métodos:

- a) **Método de Entrevistas e observação:** é uma técnica de pesquisa que visa obter informações de interesse a uma investigação, onde o pesquisador formula perguntas orientadas, com um objetivo definido, frente a frente com o respondente e dentro de uma interação social. As entrevistas estruturam-se em as mais estruturadas (alto grau de predeterminação das perguntas, roteiro pré-estabelecido) e menos estruturadas (sem roteiro pré-estabelecido). Para se realizar as entrevistas estruturadas ou semi-estruturadas onde apresentam uma relação padronizada e fixa de perguntas utiliza-se de questionário ou formulário com perguntas focadas ao tema, assim como as observações do contexto proposto devem ser registradas pelo entrevistador (GIL, 2007; BELEI *et al.*, 2008).
- b) **Pesquisa Bibliográfica:** o maior objetivo ao utilizar esse método é de desvendar, recolher e analisar informações e conhecimentos prévios sobre um determinado fato, assunto, ideia ou problema para o qual se procura uma resposta ou uma hipótese que se quer experimentar.

Assim com a clareza do problema pode-se seguir para as outras etapas que tem como finalidade principal obter a Lista de Especificação do Produto, ao qual são utilizadas dos seguintes métodos.

- a) **Método Mudge:** É um método de avaliação numérica funcional que visa determinar uma hierarquia entre as etapas. Basear-se numa análise comparativa entre as etapas, duas as duas, até que todas sejam comparadas entre si, conforme ilustrada na Figura 23. Compara-se cada requisito das linhas com todos os requisitos das colunas, exceto os iguais. Em primeiro lugar, a equipe de projeto decide qual o requisito do par é o mais importante (a célula da matriz assume o número desse requisito), então, decide-se o nível de importância: **muito mais importante** (valor cinco – letra A), **mais importante** (valor três – letra B) e **pouco mais importante** (valor um – letra

C). Segue ao número do requisito, na célula da matriz, a letra correspondente ao quanto mais importante é o requisito. O valor relativo de cada requisito é obtido pelo somatório dos valores observados em todo o diagrama (REIS, 2003).

Eficiência		2	3	4	5	Soma	%
A	5						
B	4	1	1B	1A	1B	18	56
C	3		2	2D	2D	4	13
D	2			3	4D	3	9
E	1				4	5D	2
						5	6
						5	16
						Total	32
							100

Figura 23: Matriz de Mudge. Fonte: Nickel, *et al.* (2010).

- a) **QFD** (Casa da Qualidade): é um método sistemático, utilizado para tradução das necessidades do cliente em requisitos de projeto, tendo como benefícios de sua utilização a redução do numero de mudanças de projeto, diminuição do ciclo de projeto, redução de reclamações de garantia, planejamento da garantia de qualidade mais estável, favorece a comunicação entre os diferentes agentes que atuam no desenvolvimento do produto, traduz a vontade do cliente vagas e não mensuráveis em mensuráveis, identifica as características que mais contribuem para os atributos de qualidade, possibilita a percepção de quais as características que deverão receber mais atenção (ROZENFELD *et al.*, 2006).

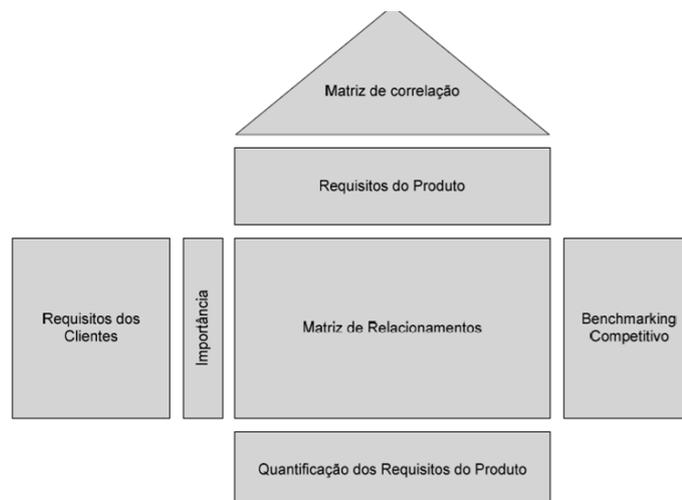


Figura 24: Matriz da Casa da Qualidade. Fonte: Rozenfeld, *et al.* (2006).

3.3.2. Projeto Conceitual

Na fase do projeto conceitual a determinação da função global que origina-se através da resposta ao problema proposto, bem como o desdobramento desta com o intuito de obter a estrutura das funções elementares do produto, torna-se um ponto de extrema importância para o entendimento do produto a ser desenvolvido para se obter o resultado esperado que são a geração de alternativas de solução para se obter os sistemas e subsistemas definidos.

Os métodos utilizados para essa fase são:

- a) **Síntese funcional:** compreendem-se todas aquelas ações necessárias para a partir de um problema, formular uma função total de um sistema técnico, assim como as ações necessárias para substituir esta função total por estruturas de funções parciais ou elementares. Em um sistema técnico, somente são transformadas as propriedades (energia, sinal e material) e o seu fluxo. Desta maneira o procedimento do projeto de produtos é desenvolvido a partir da descrição dos objetivos, estabelecendo a função técnica geral e definindo as entradas e as saídas do sistema, ilustrado conforme a Figura 25 (BACK, *et al.*, 2008).

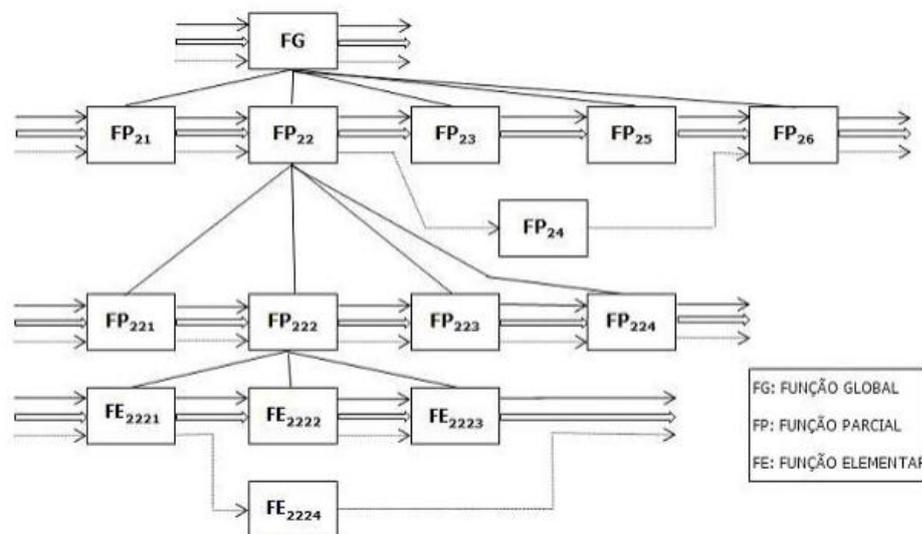


Figura 3 – Estrutura de funções (BACK *et al.*, 2008)

Figura 25: Estrutura de funções. Fonte: Back, *et al.* (2008).

- b) **Matriz Morfológica:** é utilizado para através de uma pesquisa sistemática de novas combinações de seus elementos ou parâmetros, encontrar a melhor solução para o problema, onde é especialmente útil em reprojatos já que permite gerar e combinar soluções de funções parciais, onde unicamente são

envolvidas as partes que pretende-se mudar, permitindo estabelecer relações com as partes que terão que permanecer, sempre procurando afetar estas no mínimo (ver Figura 26).

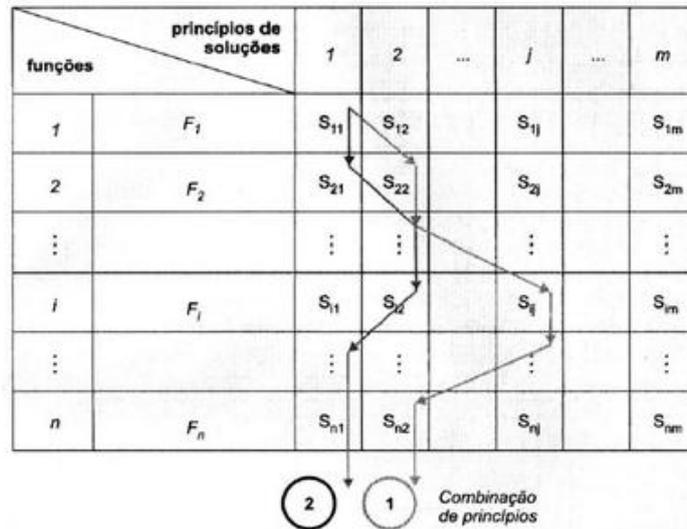


Figura 26: Matriz Morfológica e a combinação de princípios de solução. Fonte: Rozenfeld, *et al*, 2006.

- c) **Diagrama de Pugh:** compara os diversos conceitos de produto com que se pretende trabalhar com um conceito de referência facilitando a escolha de um conceito que se sobressaia, assim o conceito de referencia utilizado serão as especificações do produto obtidas no QFD. A essência deste método consiste na comparação entre concepções em forma de uma matriz, relacionando-as com as necessidades dos clientes e o valor do consumidor. A equipe de projeto através de análise e discussão atribui valor de comparação entre uma concepção de referência e as demais concepções. Como resultado obtém-se uma pontuação para todas as concepções e através do maior valor deste determina-se a concepção mais adequada às necessidades dos clientes, ilustrado conforme a Figura 27 (PUGH, 1991; FORCELINNI, *et al*, 2003).

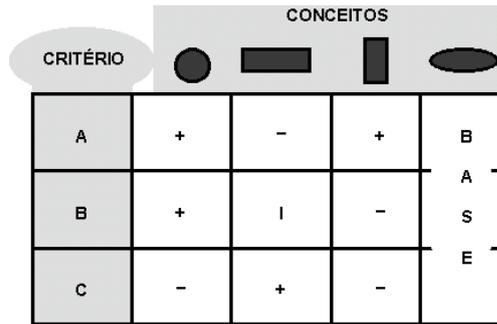


Figura 27: Diagrama de Pugh. Fonte: Clausing (1994).

d) **MIM** (Matriz Indicadora de Módulos): é utilizada para a indicação de quais funções podem se tornar módulos (ver Figura 28), na qual as referidas funções são avaliadas individualmente e comparadas a cada uma das Diretrizes de Modularização, as funções com maior pontuação na matriz MIM são vistas como possíveis módulos (SCALICE, 2003).

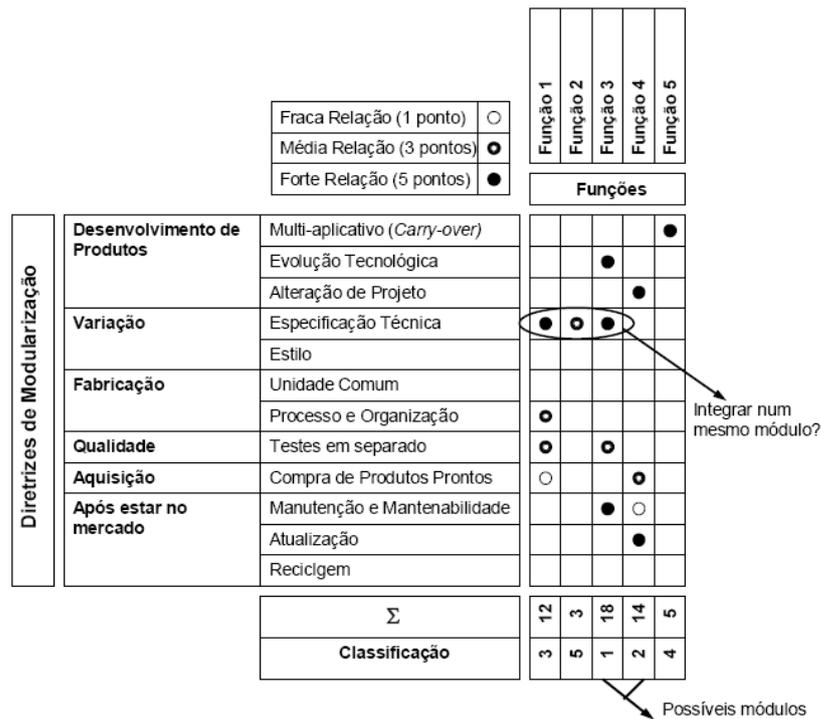


Figura 28: Exemplo esquemático da aplicação da MIM. Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006).

e) **Estudo de Protótipo**: consiste em montar uma ou poucas unidades com um conjunto de características escolhidas, e efetuar a observação e mensuração de características relevantes dessas unidades, segundo um plano preestabelecido. As unidades sob as quais é conduzida a pesquisa são denominadas de protótipos (SILVA, 2007).

- f) **Estatística e análise experimental:** Um experimento científico ou experimento básico tem propósito eminentemente cognitivo; visa o melhor entendimento da realidade. É uma pesquisa básica, que visa novo conhecimento, não necessariamente com objetivo de sua aplicação. Por outro lado, um experimento tecnológico visa à geração de conhecimento útil com vistas a sua aplicação prática, em busca do aumento do domínio sobre a realidade (SILVA, 2007; PERES, *et al.*, 2013).

3.3.3. Projeto Detalhado

Esta fase tem como finalidade detalhar os módulos resultantes da fase anterior e com isso analisar possíveis interfases do projeto, tendo duas etapas com o intuito de definir matérias e procedimentos aos quais serão realizados os testes das funcionais dos sistemas.

Os métodos, técnicas e ferramentas utilizadas nesta fase são:

- a) **CAD** (Desenho assistido por computador): é uma ferramenta muito conhecida que combina hardware e software, usando gráficos computadorizados para fornecer desenhos de componentes ou produtos como um todo, são importantes para realizar análise conceptual de um projeto (MALHOTA, *et al.*, 2001).
- b) **DFMA** (*Design For Manufacturing and Assembly*): O projeto para manufatura e montagem é uma filosofia que utiliza diversos conceitos, técnicas, ferramentas e métodos para aperfeiçoar a fabricação de componentes ou simplificar a montagem de produtos, utilizando para tal, desde a análise de valores de tolerâncias, a complexidade do produto, número mínimo de componentes necessários, layout do produto dentre outros (BOOTHROYD; DEWHURST, 1988).

3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio deste capítulo é possível obter uma ideia atual das metodologias, métodos e modelos de PDP para sistemas mecatrônicos, pois há uma necessidade de compreender os princípios fundamentais do funcionamento do sistema, pois o produto mecatrônico complexo não é produzido somente em um macro -ciclo e sim em vários macro –ciclos, obtendo ao fim a maturidade do produto (VASIĆ; LAZAREVIĆ, 2008).

Segundo Hoover, *et al.* (1991) o projeto conceitual é um processo de refinação contínua da solução do projeto proposto com base em um conjunto de requisitos em evolução, assim a lista de requisitos (em parte) será dependente da solução de projeto proposto e vice-versa.

O PDP para o projeto do biossensor tem aspecto multidisciplinar, fato comum em sistemas mecatrônicos, sendo assim no decorrer do PDP a existência de uma equipe de diversas áreas de conhecimento, possibilitando preencher as lacunas de conhecimento técnico necessário para desenvolver a interligação e integração das interfaces do sistema do equipamento, bem como a utilização de métodos, técnicas levantadas neste capítulo.

A metodologia de PDP de Rozenfeld, *et al.* (2006) tem sido muito utilizada com sucesso para o desenvolvimento de protótipos de máquinas e equipamentos agrícolas, contendo princípios de solução e métodos que podem ser empregados para o desenvolvimento de um produto com um sistema complexo como o projeto do biossensor, tendo como um dos objetivos a organização do trabalho através da metodologia proposta para o projeto do biossensor, sendo desenvolvidos nos próximos capítulos deste trabalho.

CAPÍTULO 4 – PROJETO INFORMACIONAL

Neste capítulo são abordados os procedimentos para a definição das especificações de projeto para o equipamento detector de aflatoxinas.

Inicialmente é realizado um levantamento dos *stakeholders* (envolvidos) para se obter de forma mais completa as necessidades dos clientes conforme o ciclo de vida do produto, com o objetivo de gerar a lista de especificações do produto.

O capítulo está dividido nas seguintes seções: na primeira apresenta-se a revisão da literatura da cadeia produtiva da castanha-do-brasil com o intuito de identificar os seus atores, na segunda parte trata de identificar, analisar e classificar os *stakeholders* durante todo o ciclo de vida do produto, na terceira parte apresenta-se o levantamento das necessidades dos clientes a conversão em requisito do cliente e do produto, na quarta parte é aplicado os métodos e técnicas para geração da lista de especificações do produto.

4.1. ATORES DA CADEIA PRODUTIVA DA CASTANHA-DO-BRASIL

Segundo Zylberstajn (2000) a análise dos Sistemas Agroindustriais (SAG) é realizada através do estudo e identificação dos agentes que o compõem, que são:

- **Consumidor** – trata-se do ponto focal para onde converge o fluxo dos produtos do SAG. O produto final é adquirido pelo consumidor para satisfazer as suas necessidades alimentares, que variam de acordo com a renda, preferência, faixa etária e expectativas entre outros. O consumidor moderno vem apresentado algumas mudanças que são fruto da globalização dos hábitos e padrões, preocupação com a qualidade e aspectos de saúde, valorização do seu tempo, o que tem implicações na valorização dos atributos que caracterizam um certo produto e que determina a decisão final do consumidor;
- **O varejo do alimento** – o varejo consiste nas atividades relativas à venda de bens e serviços de consumo pessoal para consumidores finais (COUGHLAN, 2002), porém o varejo de alimentos passa por mudanças em todo o mundo, em especial pelo aumento da importância dos aspectos de qualidade.

- **Atacado** – de forma semelhante ao varejo, a distribuição de alimentos para grandes centros urbanos passa por plataformas centrais, cujo papel tem sido concentrar fisicamente o produto e permitir que agentes varejistas se abasteçam;
- **Agroindústria** – são os agentes que atuam na fase de transformação do alimento, podendo ser de primeira transformação, que adiciona atributos ao produto, sem transforma-lo, ou de segunda, quando o produto de origem primária sofre transformação física, tratando-se assim em um conjunto de atividades exercidas por empresas de portes variados, podendo ser desde empresas familiares ou até mesmo grandes conglomerados internacionais, assim o cliente da agroindústria é o agente distribuidor.
- **A produção primária** – os agentes atuantes na geração da matéria-prima para a indústria de alimentos representam um dos elos mais conflituosos para o agronegócios, porem são distantes do mercado final.

De acordo com Batalha (1995), uma cadeia de produção agroindustrial pode ser dividida em três macro-segmentos, que são:

- **Comercialização** – representa as empresas que estão em contato com o cliente final da cadeia de produção e que viabilizam o consumo e o comércio dos produtos finais, incluindo as empresas responsáveis de logística de distribuição.
- **Industrialização** – representa as firmas responsáveis pela transformação das matérias-primas em produtos finais destinados ao consumidor, podendo ser uma unidade familiar ou outra agroindústria.
- **Produção de matérias –primas** – reúne as empresas e fornecedores das matérias-primas iniciais para que outras empresas avancem no processo de produção do produto final.

Segundo Souza (2006) a cadeia produtiva da castanha-do-brasil é formada pelos seguintes agentes: produtor (extrativista), agente intermediário, atacadista, varejista, indústria de processamento ou agroindústria, indústria (química, de cosmético, de fármacos), consumidor interno e exportador, conforme ilustrado na Figura 29.

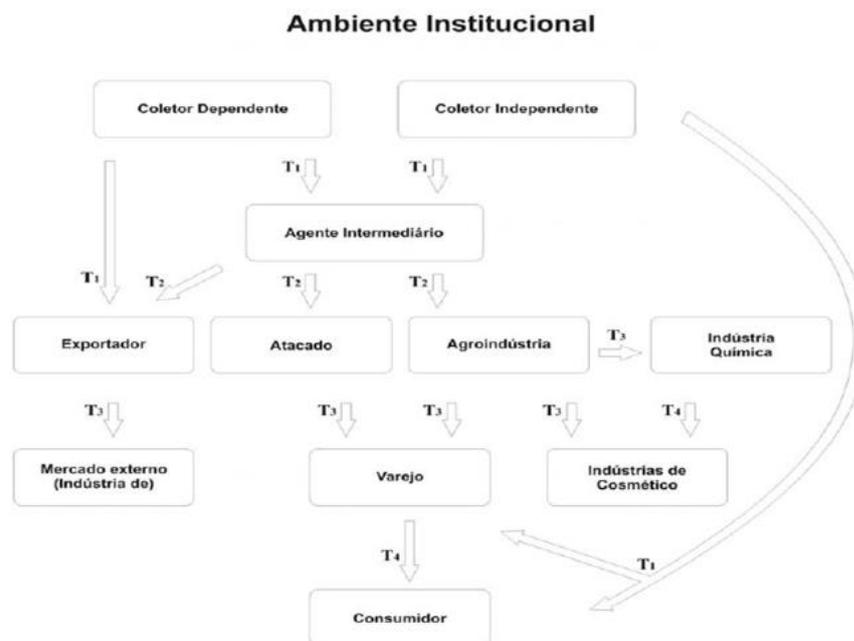


Figura 29: Cadeia Produtiva da castanha-do-brasil no Brasil. Fonte: Souza, (2006, p.87).

A Tabela 3, indicada abaixo, apresenta quem são os agentes da cadeia produtiva da castanha-do-brasil.

Tabela 3: Agentes da Cadeia Produtiva da Castanha-do-brasil.

ATORES DA CADEIA PRODUTIVA	
1) COLETOR/ PRODUTOR/ EXTRATIVISTA	Comunidades extrativistas tradicionais; Índios; Caboclos; Assentados do INCRA; Posseiros; Patrões; proprietários de grandes áreas; Regatão (comerciante ambulante que disponibilizam de galpões provisórios); Produtores independentes; Representante dos castanhais; Artesãos (que se utilizam da castanha como matéria prima para artesanato).
2) AGENTE INTERMEDIÁRIO	Regatão (comerciante ambulante que disponibilizam de galpões provisórios); Patrões (proprietários de grandes áreas).
3) EXPORTADOR	Empresas coordenadoras: Mutran, Lorenzano, Gaíba (castanhais próprios e compram também de agentes intermediários)
4) INDÚSTRIA/AGROINDÚSTRIA DE PROCESSAMENTO	Indústria de beneficiamento cooperativo: alimento e óleo; Indústria de cosmético: Essencial Arte, Natura, Body Shop; Indústria Química (refina óleo para indústria de cosmético e , farmacêutica)
5) MERCADO EXTERNO	Países consumidores: Estados Unidos da America, Bolívia (para revenda), Alemanha, Holanda, Itália
6) ATACADO	Atacadista (não é produto principal, mas sazonalidade promove oportunidade de lucro)
7) VAREJO	Varejista (não é produto principal, mas sazonalidade promove oportunidade de lucro); Rede de super mercados; Lojas de Conveniência; Lojas de Produtos Naturais

Continuação da Tabela 2 – Agentes da cadeia produtiva da castanha-do-brasil.

8) CONSUMIDOR	Consumidores de castanha natural; Consumidores de castanha industrializada; Consumidor nacional (intensificado pelas festas de final de ano); Consumidor internacional (intensificado pelas festas de final de ano).
9) AMBIENTE INSTITUCIONAL	Cultura e tradição população indígena amazônica; Cultura e tradição população cabocla; Leis e decretos que regulamentam o uso de recursos naturais da Amazônia.
10) AMBIENTE ORGANIZACIONAL	Associações e cooperativas; Organizações tradicionais; Estado (governos estadual, municipal e federal); Universidades; ONG's ambientalistas, indigenistas, sociais (nacionais e internacionais); EMBRAPA; INCRA.
11) CONCORRENTES	Bolívia: concorrente mais forte, preço baixo, participação massiva da ONU; Peru: também produtor de castanha.

Fonte: Adaptado de Souza, (2006).

4.2. CICLO DE VIDA DO PRODUTO E PROJETO

Segundo Rozenfeld *et al.* (2006) de modo geral, os modelos de ciclo de vida fornecem a descrição gráfica da história do produto, descrevendo em estágios pelos quais o produto passa.

Na etapa do ciclo de vida do produto, busca-se usar as informações levantadas durante todas as fases anteriores do projeto, porém nota-se certa dificuldade em realizar a análise para produtos ainda não produzidos em escala industrial ou até mesmo no Brasil, tornando-se necessário tomar a abordagem de Projeto por Encomenda, para torná-lo mais próximo possível da realidade ao qual se encontra.

Para clarificar quem são os clientes, atores, envolvidos diretos e indiretos no projeto, torna-se necessário realizar um levantamento dos mesmos e incluí-los dentro do ciclo de vida do produto, tomando-os com a abordagem de *stakeholders* (interessados) que são todos os que podem afetar ou que são afetados (Freeman, 1984) de alguma forma pelo projeto do produto, facilitando assim o levantamento das necessidades.

As etapas do ciclo de vida do produto foram definidas nas seguintes fases (conforme a Figura 30):

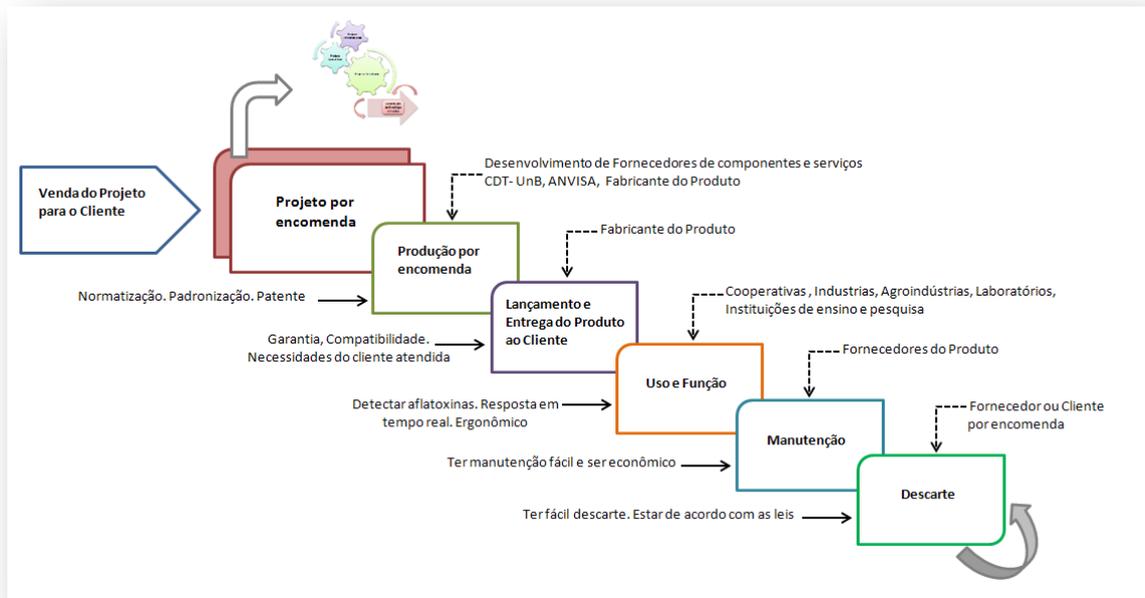


Figura 30: Ciclo de vida do produto. Fonte: Elaborado pela autora.

Como o presente trabalho encontra-se totalmente relacionado à Fase de Projeto, sendo ele de extrema importância para todo o processo de desenvolvimento do produto, se faz necessário realizar um desdobramento desta fase, para assim termos o ciclo de vida do projeto, tornando-se possível relacionar mais especificamente os *stakeholders* em cada fase de projeto (ver Figura 31), como também as ferramentas e métodos utilizados (ver Capítulo 3).

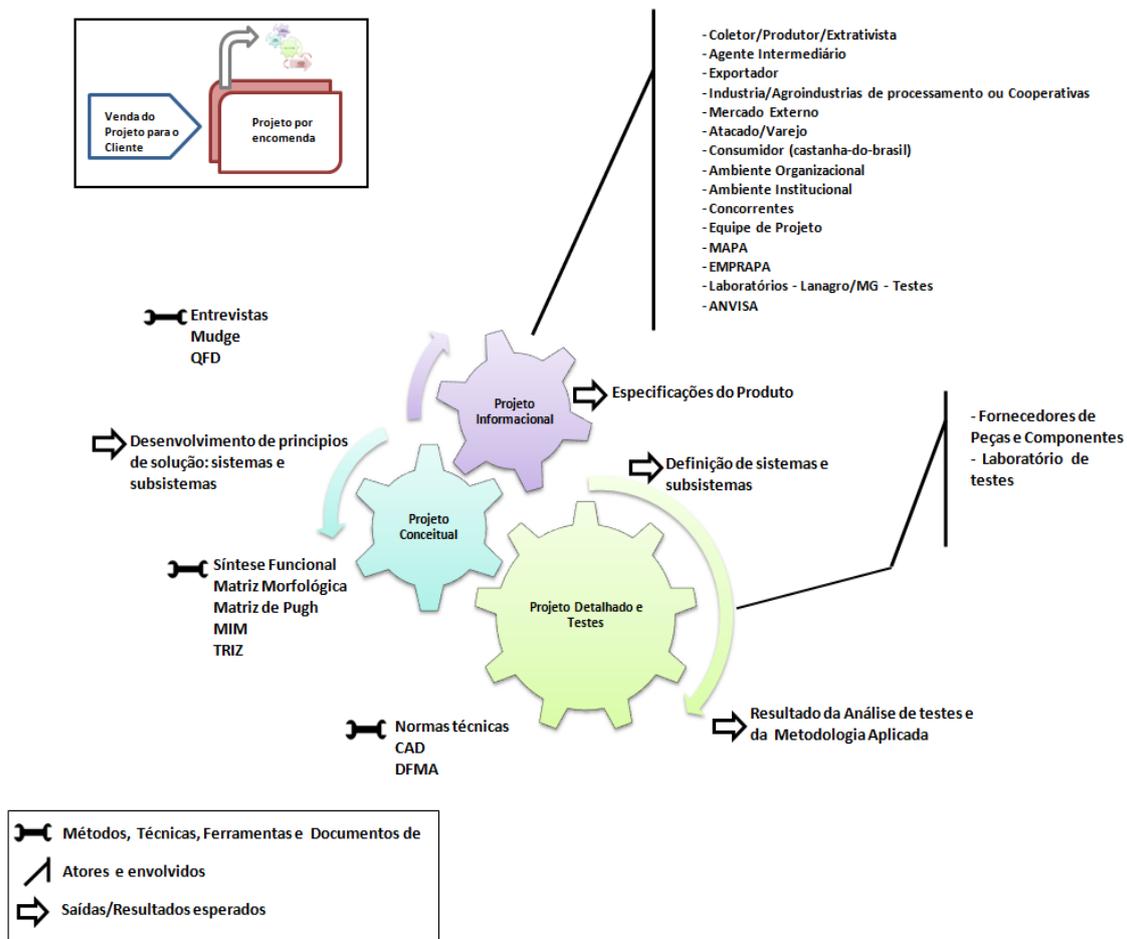


Figura 31: Ciclo de vida do Projeto por encomenda. Fonte: Elaborado pela autora.

A Matriz geral de análise de *stakeholders*, é uma técnica utilizada para realizar um mapeamento das Partes Interessadas ao longo de um projeto, avaliando através da sua identificação e classificação, em que fase do projeto cada ator pode estar definitivamente envolvido e qual atividade de valor agregado ao projeto ele pode exercer.

A partir de pesquisas bibliográficas para levantamento dos atores da cadeia produtiva da castanha, entrevistas (ver ANEXO I, ver Figura 32) e o próprio ciclo de vida, foram listados e identificados 22 (vinte e dois) *stakeholders*, e classificados com os seguintes conceitos:

- **Afetados pelo projeto:** todos aqueles que de alguma forma venham sofrer influencia do projeto, porém não exercem poder e não possuem influencia direta. Eles participam da cadeia produtiva da castanha, são utilizados para levantamentos de informações sobre o consumo,

exportação da castanha-do-brasil *in natura*, mas não são usuários do projeto do equipamento.

- **Restrição:** são todos aqueles que exercem através de regulamentos, leis (municipais, estaduais e federais), patentes, restrições ao projeto podendo ser caracterizados como reguladores ou controladores legais do projeto do equipamento.
- **Interessados:** são todos aqueles que tem interesse no projeto, porem não são influenciadores, e não exercem poder decisório sobre o mesmo, alguns podem ao longo do ciclo de vida do produto tornarem-se clientes sob a perspectiva de estudo da tecnologia e inovação que o produto propõem.
- **Envolvidos diretos:** são todos aqueles que exercem influencia direta no projeto do equipamento ou que possuem poder decisório sobre o mesmo. Dentre eles pode-se notar o cliente final ou usuário direto do produto, estes por sua vez influenciam as decisões de análise das especificações do produto a partir de suas necessidades, realizadas pela equipe de projeto e seus colaboradores.
- **Envolvidos indiretos:** são todos aqueles que exercem influencia indireta no projeto, de forma a colaborar com a pesquisa, porém não possuem poder decisório, porém alguns são vistos como restrição (reguladores ou controladores legais) do projeto.
- **Fornecedores:** são todos aqueles que colaboram de forma participativa nas fases mais produtivas do projeto, sendo desenvolvidos desde as primeiras fases.

Classificação dos Stakeholders						Lista de Stakeholders Identificados - Pesquisa	Agregação (Influência) de Valor do Projeto				
Afetados pelo projeto	Restrição	Interessados	Envolvidos		Fornecedores		Projeto Informacional	Projeto Conceitual	Projeto Detalhado	Protótipo	Validação
			Diretos	Indiretos							
x						1. Coletor/Produtor/Extrativista	x				
x						2. Agente Intermediário	x				
x						3. Exportador (castanha-do-brasil)	x				
			x			4. Cooperativas/Indústria/Agroindústria de Beneficiamento	x		x	x	
x	x					5. Mercado Externo - aspectos legais (USA, Europa)	x				
x						6. Atacado/Varejo (castanha-do-brasil)	x				
x						7. Consumidor (Castanha-do-brasil)	x				
x						8. Ambiente Orgazacional - Ong's e ambientalistas (castanha-do-brasil)	x				
	x					9. Ambiente Institucional - Legislação municipal e estadual	x				
	x					10. Concorrentes	x	x			
			x			11. Equipe de Projeto	x	x	x	x	x
				x		12. MAPA	x				x
				x		13. EMBRAPA	x	x			x
				x		14. Laboratórios-LANAGRO/MG - Testes	x	x			x
	x					15. ANVISA	x				
	x			x		16. Propriedade Intelectual (inventores)	x				
					x	17. Fornecedores de Peças e Componentes	x		x		
			x			18. Laboratório de fabricação e montagem de protótipo	x		x	x	
					x	19. Desenvolvimento de Fornecedores de componentes e serviços	x				x
	x		x			20. Fabricante equipamentos	x				x
		x				21. Laboratórios de Instituições de pesquisa e ensino	x				x
	x				x	22. Distribuidor equipamento	x				x

Figura 32: Matriz geral de análise de *stakeholders*. Fonte: Elaborada pela autora.

Através desta análise é possível realizar um filtro capaz de classificar os *stakeholders* a serem tratados e os quais são simplesmente afetados pelo projeto, porém não envolvidos no mesmo, e quais pertencem de modo mais participativo nas fases de desenvolvimento do projeto, a fim de obterem-se de forma esclarecida os seus reais clientes e assim realizar o levantamento de suas necessidades de forma específica.

4.3. LEVANTAMENTO DAS NECESSIDADES DO CLIENTE

Existem duas maneiras gerais de levantar necessidades: a) coletar as necessidades, em cada fase do ciclo de vida, através de questionários estruturados, atuando junto aos clientes tornando-se necessário um processamento destas necessidades, classificando-as, ordenando-as e agrupando-as, usando as informações levantadas nas etapas e tarefas anteriormente executadas; b) a segunda forma de se levantar as necessidades sem serem consultados os clientes do projeto, é através da equipe de projeto, onde a mesma define diretamente as necessidades do projeto que está sendo desenvolvido baseando-se nos trabalhos anteriores de marketing, na experiência

dos projetistas, em *check-lists*, ou nos atributos do produto, usando em qualquer caso, as informações obtidas pelo trabalho precedente de captação de informações (Fonseca, 2000).

Os principais métodos de levantamento das necessidades do cliente ou usuário baseiam-se nos métodos: a) Entrevistas conduzidas (*Like/Dislike*), onde tem como objetivo obter informações de venda, embalagem e marketing através da expectativa do produto; b) Entrevistas articuladas (*Like/Dislike*) e c) Entrevistas conduzidas (Sensação do Produto) utilizando de inquérito semântico. Assim todos esses métodos de entrevistas utilizam como base as técnicas de coleta de dados, tais como: entrevistas, questionários, formulários, observação e amostragem (Otto & Wood, 2001).

Neste projeto as necessidades dos clientes foram levantadas a partir do ciclo de vida do produto através do envolvimento de seus *stakeholders* em cada fase do ciclo de vida, utilizando dos métodos mencionados acima, onde os principais foram: entrevistas, questionários, observações, experiência dos projetistas e informações de trabalhos anteriores relacionados ao problema de projeto.

Por ser um produto novo e ainda não ter sido produzido no Brasil, a equipe de projeto deve realizar levantamento das necessidades do projeto auxiliado pelos atributos básicos do produto, usados como lista de apoio ao levantamento das ditas necessidades (Fonseca, 2000).

Assim foi desenvolvida as necessidades dos clientes (ver Tabela 4) do equipamento de detecção de aflatoxina (Lista completa ANEXO II):

Tabela 4: Necessidades dos Clientes

Ciclo de Vida	Necessidades e/ou Restrições
JETO	a) Barreiras sanitárias impostas, com limite de níveis de aflatoxinas
	b) Resolução CNNPA/MS nº 34/76, limites de aflatoxinas.
	c) Não ser cópia de nenhum produto já existente.
	d) Resolução RDC 07/2011, publicada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), regulamentação dos níveis aceitáveis de aflatoxinas no Brasil.
	e) Não ser cópia de nenhum produto já existente.
	e) Estar de acordo com as normas técnicas para geração de patentes.

Continuação da Tabela 4 – Necessidades dos Clientes.

FABRICAÇÃO	1. Ser um equipamento de triagem para desenvolver padrões de qualidade da castanha-do-brasil.
	2. Ser fácil de utilizar.
	3. Ser leve
	4. Manter em temperatura estável
	5. Ter poucos ruídos.
	6. Não causar intensa reação visual.
	7. Não necessitar de intensa intervenção humana.
	8. Ter aspecto visual agradável.
	9. Ter baixo consumo de energia
	10. Não aquecer.
	11. Não gerar poluentes.
	12. Ter proteção para atos inseguros.
	13. Ter funcionamento seguro.
	14. Ter fácil manutenção.
	15. Estar de acordo com as normas sanitárias.
	16. Ser inovador
	17. Estar condizente com as normas e restrições.
	18. Não ser poluente.
	19. Ser de fácil descarte
	20. Ter produção limpa.
	i) Estar de acordo com as normas técnicas
	21. Ter distribuição rápida, eficaz e segura.
	d) Resolução RDC 07/2011, publicada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), regulamentação dos níveis aceitáveis de aflatoxinas no Brasil.
	h) Fabricar o equipamento de acordo com as leis e normas estabelecidas.
	20. Ter produção limpa.
	22. Utilizar de processos convencionais de fabricação.
	23. Ser de fácil fabricação.
	24. Ser de fácil montagem.
	25. Ser de fácil embalagem.
	26. Utilizar de peças padronizadas já existentes no mercado.
i) Estar de acordo com as normas técnicas.	
27. Ter componentes disponíveis no mercado.	
28. Estar normalizado e padronizado.	
28. Estar normalizado e padronizado.	
29. Ter a possibilidades de fabricar subsistemas em diversas empresas.	

Continuação da Tabela 4 – Necessidades dos Clientes.

	28. Estar normalizado e padronizado.
	21. Ter distribuição rápida, eficaz e segura.
TRANSPORTE	21. Ter distribuição rápida, eficaz e segura.
COMERCIALIZAÇÃO	8. Ter aspecto visual agradável.
	27. Ter componentes disponíveis no mercado.
USO	DE 1 A 20
	30. Ter baixo custo de operação.
	31. Ser durável.
MANUTENÇÃO	27. Ter componentes disponíveis no mercado.
	14. Ter fácil manutenção.
	12. Ter proteção para atos inseguros.
	32. Ter facilidade em identificar erros.
DESCARTE	11. Não gerar poluentes.
	19. Ser de fácil descarte
	33. Ser de fácil desmontagem

Através das entrevistas e observações realizadas obteve-se 33 necessidades captadas e 7 restrições de projeto, essas restrições devem ser tratadas com muito cuidado no desenvolvimento do produto, pois são elas que levam o produto a legalização para seu uso e comércio. Nota-se que a maior parte das restrições é de caráter legal, muito apropriado a equipamentos que venham a fazer parte do âmbito alimentício tendo que satisfazer as leis de vigilância sanitária e de regulamentação para consumo.

A conversão das necessidades dos clientes para requisitos dos cliente, faz-se através de um agrupamento das necessidades, tendo como finalidade principal a verificação de necessidades similares, evitar repetições e simplificar as necessidades menos relevantes, ilustrada na seguinte Tabela 5.

Tabela 5: Requisitos do Cliente

Item	Requisitos do Cliente
A	Ser um equipamento de triagem para desenvolver padrões de qualidade da castanha-do-brasil.
B	Ser fácil de utilizar.
C	Ser leve
D	Manter em temperatura estável (4, 10)
E	Ter poucos ruídos.
F	Não causar intensa reação visual.
G	Não necessitar de intensa intervenção humana.

Continuação da Tabela 5 - Requisitos do Cliente.

H	Ter aspecto visual agradável.
I	Ter baixo consumo de energia
J	Não gerar poluentes. (11, 19)
K	Ter proteção para atos inseguros.
L	Ter fácil manutenção.
M	Estar de acordo com as normas sanitárias.
N	Ser de fácil descarte
O	Ter distribuição rápida, eficaz e segura.
P	Utilizar de processos convencionais de fabricação.
Q	Ser de fácil fabricação.
R	Ser de fácil montagem.
S	Ser de fácil embalagem.
T	Utilizar de peças padronizadas já existentes no mercado.
U	Ter componentes disponíveis no mercado.
V	Estar normalizado e padronizado.
W	Ter a possibilidades de fabricar subsistemas em diversas empresas.
X	Ter baixo custo de operação.
Y	Ser durável.
Z	Ter facilidade em identificar erros.
AA	Ser de fácil desmontagem.

Com o objetivo de se atribuir o valor do consumidor a cada requisito, o mais próximo da realidade, usa-se o Diagrama de Mudge, apresentado na Figura 33, pois não foram realizadas enquetes junto aos clientes de projeto para identificar o peso dos requisitos, devido à indisponibilidade de tempo e restrições financeiras. O diagrama de Mudge consiste em uma matriz onde tanto a primeira coluna como a primeira linha é composta pelos itens em comparação.

Requisitos do Cliente	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Z	AA	BB	CC	DD	EE	Total	%	
Ser um equipamento de triagem para desenvolver padrões de qualidade da castanha-do-brasil.	A	A5	A3	A1	A3	A0	A5	A0	A0	A0	A0	A3	A0	A3	A0	A3	A1	A3	A0	A1	A1	A1	A0	A0	A3	A0	CC1	AA1	AA3	37	4,9%	
Ser fácil de utilizar.	B	B5	D3	E1	B3	B0	B3	I1	J0	K3	L3	M3	N3	O3	P1	Q1	B0	B3	B0	B1	B1	B1	B0	Z0	B3	BB1	CC1	BB0	B3	23	3,1%	
Ser leve	C		D3	E1	C1	G3	H1	I3	J3	K3	L3	M3	N3	O1	P3	Q1	R1	S0	T1	U1	V1	W0	X1	Z3	AA1	BB3	CC3	DD3	EE1	1	0,1%	
Manter em temperatura estável (4, 10)	D		D3	D1	D0	D3	D0	J1	D0	D0	D3	N1	O1	P1	D1	D0	D0	D0	D3	D0	D1	DD3	D1	29	3,9%							
Ter poucos ruídos.	E			E3	G1	E3	I3	J3	K3	L3	E1	N5	O3	P3	E1	R1	E1	T1	U1	E1	E1	X1	Z1	E1	BB3	CC3	DD5	E3	17	2,3%		
Não causar intensa reação visual.	F				G3	F3	I3	J3	K3	L5	M3	N3	O3	P3	Q1	R1	S1	T3	U1	V0	W0	X1	Z1	AA1	BB3	CC3	DD5	EE1	3	0,4%		
Não necessitar de intensa intervenção humana.	G					G5	G0	J1	K3	L3	G3	N1	O1	P3	G1	G1	S1	G3	G1	G1	G1	G0	G0	G0	G0	BB1	CC1	G0	G5	21	2,8%	
Ter aspecto visual agradável.	H							I5	J3	K3	L3	M3	N3	O3	P3	Q3	R3	S3	T3	U3	V3	W3	X3	Z3	AA3	BB3	CC3	DD5	EE1	1	0,1%	
Ter baixo consumo de energia	I								I0	K1	L1	I3	N3	I0	I0	I3	I3	I1	I1	I1	I1	I1	X1	Z3	I1	I0	I0	I0	I3	34	4,5%	
Não gerar poluentes. (11, 19)	J								J1	J1	N3	O1	P5	J3	J0	J1	J1	J1	J1	BB1	J0	DD3	J1	29	3,9%							
Ter proteção para atos inseguros.	K								K0	K3	K0	O1	P3	K3	K3	K1	K3	K3	K3	K3	K5	K3	K1	K1	K3	K1	K1	DD1	K3	55	7,3%	
Ter funcionamento seguro.	L									L0	L0	L0	L3	L3	L1	L3	L3	L3	L3	L3	L3	L1	L1	L3	L0	L0	DD3	L3	48	6,4%		
Ter fácil manutenção.	M										N5	O3	P3	M3	M3	M3	M1	M1	M1	M1	M0	M0	M0	M3	BB1	CC1	DD0	M3	31	4,1%		
Estar de acordo com as normas sanitárias.	N											N0	N0	N3	N0	N3	BB3	N3	DD0	N5	65	8,6%										
Ser inovador	O												O0	O3	R1	O1	O1	O1	O0	DD0	O3	35	4,7%									
Estar condizente com as normas e restrições.	P														P3	P3	P3	P1	P1	P1	P1	P1	P0	P1	P1	CC0	DD0	O3	45	6,0%		
Ser de fácil descarte	Q															R0	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Q1	Z3	Q1	BB1	CC3	DD3	EE0	16	2,1%		
Ter produção limpa.	R															R3	R0	U0	U0	U0	U0	X1	Z3	R1	R0	CC0	DD0	R3	14	1,9%		
Ter distribuição rápida, eficaz e segura.	S																T3	U3	U3	U5	X3	Z5	S1	BB1	CC3	DD3	S3	9	1,2%			
Utilizar processos convencionais de fabricação.	T																	U0	V0	U3	X0	Z3	AA0	BB1	CC3	DD3	T3	14	1,9%			
Ser de fácil fabricação.	U																		U3	U3	X0	Z3	U0	BB1	CC3	DD3	U3	18	2,4%			
Ser de fácil montagem.	V																				V3	X1	X3	V3	BB3	CC3	DD3	EE0	10	1,3%		
Ser de fácil embalagem.	W																					X3	Z3	AA3	BB3	CC3	DD3	EE3	3	0,4%		
Utilizar peças padronizadas já existentes no mercado.	X																						Z0	X0	BB0	CC1	DD1	X1	16	2,1%		
Estar normalizado e padronizado.	Z																							Z3	Z0	CC0	DD1	Z3	37	4,9%		
Ter a possibilidades de fabricar subsistemas em	AA																									BB3	CC3	DD3	EE3	8	1,1%	
Ter baixo custo de operação.	BB																										BB0	DD0	BB3	31	5,6%	
Ser durável.	CC																											CC0	CC3	42	5,6%	
Ter facilidade em identificar erros.	DD																												DD3	54	7,2%	
Ser de fácil desmontagem	EE																													6	0,8%	
																															752	

Figura 33: Diagrama de Mudge. Fonte: Elaborado pela autora

Durante a aplicação do diagrama de Mudge, a decisão sobre qual requisito do par é o mais importante e em que medida, teve-se por base o conhecimento adquirido dos clientes do projeto através dos questionários aplicados, além do relacionamento posterior com os clientes.

Para realizar a conversão dos requisitos do cliente para requisitos de projeto, existem poucas referências propondo ferramentas ou métodos para efetivar a conversão dos requisitos, tendo assim a proposta de Fonseca (2000) que utiliza da matriz de obtenção de requisitos como ferramenta, sendo composta de linhas que correspondem aos requisitos dos clientes e as colunas a atributos específicos do produto, formando assim um cruzamento entre linhas e colunas, resultando 19 requisitos de projeto.

- Alta frequência de identificação de aflatoxina;
- Resposta de análise em tempo real;
- Alta segurança;
- Baixa exigência de esforço físico do operador;
- Baixo nível de ruído;
- Baixo aquecimento do sistema;

- Baixo consumo de potência/energia;
- Baixa frequência de manutenção;
- Altos n° de componentes padronizados e normalizados;
- Alta vida útil;
- Alto nível de identificação de erros;
- Alto n° de componentes recicláveis;
- Baixa frequência ocorrência de falhas na distribuição;
- Alto n° de processos convencionais de fabricação;
- Alto n° de componentes com geometria simples;
- Alto n° de componentes disponíveis em mercado;
- Alta resistência a corrosão;
- Baixo n° de operações realizadas pelo operador;
- Baixo n° de componentes expostos ao operador.

4.4. ESPECIFICAÇÕES DO PRODUTO

Há diversos métodos e ferramentas para o levantamento das especificações de projeto, tais como: modelo de otimização e avaliação do consumidor (CORE), metodologia de organização e especificações em engenharia (MOOSE), FQFD (*fuzzy-QFD*), na qual requisitos subjetivos são expressos através de números *fuzzy*, FFMEA (*Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis*) onde avalia do ponto de vista do produto e processo.

Contudo uma das ferramentas mais usadas e citadas na literatura para a geração da lista de especificações é o QFD ou Desdobramento da Função Qualidade, para Lee *et al.* (2008) é um conceito global que fornece meios de traduzir necessidades do cliente em requisitos técnicos adequados para cada estágio de desenvolvimento de produto e produção.

Wagner & Hansen (2004), corroboram com este conceito ao afirmar que tradicionalmente o QFD é aplicado para comparar as necessidades do cliente com parâmetros de design de produtos. Assim, a Voz do Cliente é traduzida para a Voz do Engenheiro através de uma matriz, que é chamada Casa da Qualidade – HOQ.

Hauser & Clausing (1988) ilustram que o formato básico da HOQ consiste em seis ações: (1) a obtenção de atributos do cliente e sua importância relativa; (2)

desenvolvimento de requisitos de projeto referentes aos atributos do cliente; (3) planejamento da matriz; (4) inter-relações entre requisitos do cliente e do projeto; (5) correlação de requisitos do projeto e por fim (6) o plano de ação.

Assim a Casa da Qualidade é usada para estabelecer relacionamentos entre os requisitos dos clientes e os requisitos do produto sendo eles hierarquizados segundo o seu valor, possibilitando avaliar entre os requisitos de projeto os quais são conflitantes (-) e não conflitantes (+).

Para o preenchimento da casa da qualidade recomenda-se constituir uma equipe composta por especialistas das diversas áreas de conhecimento denominada equipe multidisciplinar, visando que o produto tem aspecto de um produto mecatrônico. Acaso não seja possível constituir tal equipe, segundo Fonseca (2000) é conveniente à presença de especialistas de marketing que definam o problema do projeto, assim como especialistas das áreas de produção, montagem e manutenção da empresa produtora.

Assim o resultado final esperado do projeto informacional são as especificações do projeto, sendo utilizadas para este fim esperado todas as informações levantadas desde o começo do mesmo, tendo como parâmetro seus objetivos e restrições. No projeto de desenvolvimento de um detector de aflatoxinas em castanha-do-brasil foi realizado a partir da Casa da Qualidade (ver em Anexo III) o relacionamento entre requisitos dos clientes e do produto, tornando visíveis quais os requisitos de mais importância na visão do cliente.

Através dessa análise foi gerada a lista de especificações de projeto, o qual servirá de base fundamental para a continuação das outras fases, pois a mesma servirá para direcionar o projeto conceitual e detalhado como também restringi-los para que sigam sempre os requisitos levantados a partir das necessidades do cliente, tornando-se como elo entre as fases, interagindo e integrando a todo decorrer do projeto.

A Tabela 6, indicada abaixo, apresenta a Lista das especificações do projeto.

Tabela 6: Lista das especificações do projeto.

Requisitos	Unidades	Objetivos	Sensor	Saídas Indesejáveis	Comentários
Alta frequência de identificação de aflatoxina	%	Detectar aflatoxina a cada lote de 500 kg com amostra de 5%.	Verificação dos testes.	Não detectar aflatoxina no nível aceitável.	Estar de acordo com os padrões estabelecidos pela vigilância sanitária.
Resposta de análise em tempo real	Horas/dia	Ter uma resposta em menos de 24 horas.	Verificação de tempo (Relógio).	Demora a saída do resultado da análise.	Os laboratórios credenciados demoram até 3 semanas para entregar o resultado.
Alta segurança		Apresentar o máximo de segurança possível na operação.	Cumprir com as normas de segurança do trabalho e projetá-las durante o projeto.	Produto oferecer riscos ao operador.	Projetar um produto que não ofereça risco a integridade física do operador
Baixa exigência de esforço físico do operador	Kgf.	Máximo 10 kg.	Pesagem da amostra (Balança).	O operador realize um esforço físico acima de 10 kg.	Ter uma balança de precisão e se necessário um recipiente para carregar as amostras.
Baixo nível de ruído	dB	Máximo de 85 dB para 8 horas de trabalho.	Medidores apropriados (decibelímetro).	Nível de ruído acima do especificado.	Nível de ruído acima do especificado pode gerar lesões graves ao operador.
Baixo aquecimento do sistema	C°	Máximo de 40 C°.	Medidores apropriados (sensor de temperatura).	A temperatura elevada da máquina gera risco para o operador e para o funcionamento da mesma.	Apresentar um sistema de resfriamento caso o equipamento aqueça.

Continuação da Tabela 6 – Lista das especificações do projeto.

Baixo consumo de potência/energia	w ou Kw/h	Mínimo consumo possível.	Verificação do projeto detalhado.	Fonte de potência e energia que apresente um alto custo de aquisição e de consumo.	Apresentar um sistema estável e de baixo custo de consumo.
Baixa frequência de manutenção	n°	1 intervenção corretiva e manutenção preventiva em intervalos de 2 meses.	Informações relatadas pelo operador.	Necessidade de mais de uma intervenção corretiva ao ano.	Cumprir com as manutenções preventivas.
Altos n° de componentes padronizados e normalizados	n°	Utilizar todos os componentes padronizados.	Verificação do projeto detalhado.	Porcentagem de componentes padronizados abaixo de 50%.	Entende-se por componentes padronizados aqueles disponíveis no mercado.
Alta vida útil	anos	5 anos.	Informações relatadas pelo operador.	Vida útil inferior a 5 anos.	Estima-se uso horas/dia.
Alto nível de identificação de erros	%	Deteção de erros acima do 80%.	Informações relatadas pelo operador e indicadores da máquina.	Apresentar erros que não possam ser detectados.	Buscar projetar o equipamento com indicadores de leitura para o operador.
Alto n° de componentes recicláveis	n°	Acima de 70% de componentes recicláveis.	Verificação do projeto detalhado.	Utilizar menos de 70% de componentes recicláveis.	Buscar utilizar no projeto materiais recicláveis.
Baixa frequência ocorrência de falhas na distribuição	%	0% de falhas	Mapeamento de distribuição.	Apresentar atrasos de entrega e danificação de produto.	Usar o serviço de empresas credenciadas.
Alto n° de processos convencionais de fabricação	n°	No Maximo 3 processos de fabricação para cada área (Mecânica, Eletrônica, Elétrica).	Verificação do projeto detalhado.	Utilização de processos não convencionais.	Buscar utilizar de processos convencionais e padronizados visando à fabricação em outras empresas.

Continuação da Tabela 6 – Lista das especificações do projeto.

Alto n° de componentes com geometria simples	n°	Acima de 90%.	Verificação do projeto detalhado.	O projeto apresentar problemas na montagem, desmontagem e fabricação.	Buscar projetar de forma que a fabricação seja simples e pratica
Alto n° de componentes disponíveis em mercado	n°	Acima de 90%.	Verificação do projeto detalhado.	Ter a necessidade de fabricar componentes.	Projetar utilizando componentes disponíveis no mercado.
Alta resistência à corrosão		Apresentar máxima resistência à corrosão possível.	Verificação nos testes.	Utilizar matérias corrosíveis com o tempo.	Projetar a utilização de matérias não corrosíveis.
Baixo n° de operações realizadas pelo operador	n°	Abaixo de 10 operações lógicas e intuitivas.	Número de operações.	Acima de 10 operações tornando a execução não intuitiva.	Buscar a concepção de um equipamento com operações simples.
Baixo n° de componentes expostos ao operador	n°	Menor número possível de componentes expostos.	Verificação do projeto detalhado.	Produto oferecer riscos ao operador.	Obter segurança no funcionamento e na operação.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento dos *stakeholders* de projeto durante o ciclo de vida do produto foi essencial para definir os clientes de projeto assim como a análise dos envolvidos que sofreram maior impacto com o desenvolvimento do biossensor.

O principal documento gerado neste capítulo foi o Quadro 5, no qual representa as especificações de projeto para o desenvolvimento do biossensor detector de aflatoxina. As informações e especificações geradas neste capítulo através dos requisitos do cliente, serão de enorme importância para o desenvolvimento do projeto conceitual.

CAPÍTULO 5 – PROJETO CONCEITUAL

No projeto de um produto com abordagem de sistema mecatrônico a fase de projeto conceitual é muito importante, pois serão tomadas as decisões sobre aspectos funcionais, interações e integração espacial em módulos e subsistemas. Nessa fase há uma maior intensidade de atividades de pesquisa (patentes, regulamentos técnicos, normas, literatura técnica), contatos com os fabricantes, consultas ao mercado e esforços para transformar em requisitos do projeto em princípios de soluções.

Se um item (sistema, subsistemas ou componentes) é inovador, o projeto conceitual se torna intenso e desafiador, pois é nesta etapa que se corrige a parte principal do projeto do produto, para assim tornar a busca de solução eficaz (HEHENBERGE, *et al.*, 2010).

Durante a fase de projeto conceitual as especificações do produto, obtida na fase de projeto informacional, é utilizada como base para desenvolver as estruturas funcionais do produto e gerações de concepções alternativas, gerando soluções técnicas para atender as especificações técnicas geradas a partir das necessidades do cliente do projeto.

5.1. DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA FUNCIONAL DO PRODUTO

A modelagem funcional auxilia a Equipe de Projeto a descrever os produtos em um nível abstrato, possibilitando a obtenção da estrutura de produto sem restringir o espaço de pesquisa a soluções específicas (ROZENFELD, *et al.*, 2006)

As vantagens da modelagem funcional são: concentração sobre “o que” tem que ser realizado, por um novo conceito ou projeto, e não “como” vai ser realizado; auxilia a organização da equipe de projeto, tarefas e processo; as funções podem ser obtidas ou geradas diretamente das necessidades dos clientes, definindo os contornos da solução final do projeto; a criatividade é favorecida pela possibilidade de decomposição de problemas e manipulação de soluções parciais; pelo mapeamento das necessidades dos clientes primeiro para funções e depois para forma, mais soluções podem ser sistematicamente geradas para a solução do problema de projeto (OTTO; WOOD, 2001).

Assim a partir da análise e abstração dos requisitos de projeto do produto, das especificações metas geradas na fase de projeto informacional (ver Tabela 6, Capítulo

4), identifica-se a sua função global do sistema, que é baseado no fluxo de energia, material e sinal, e com o auxílio de um diagrama de blocos expressa a relação existente entre as entradas e saídas do sistema, independentemente da solução a ser escolhida para o problema.

Uma vez que tenha sido formulado o cerne do problema e com o auxílio das especificações de projeto, definiu-se a função global com a expressão “Detectar aflatoxinas em castanha-do-brasil”, a qual simplifica o problema de projeto, tendo as grandezas de entrada e saídas, e as interfaces do sistema representadas na Figura 34.

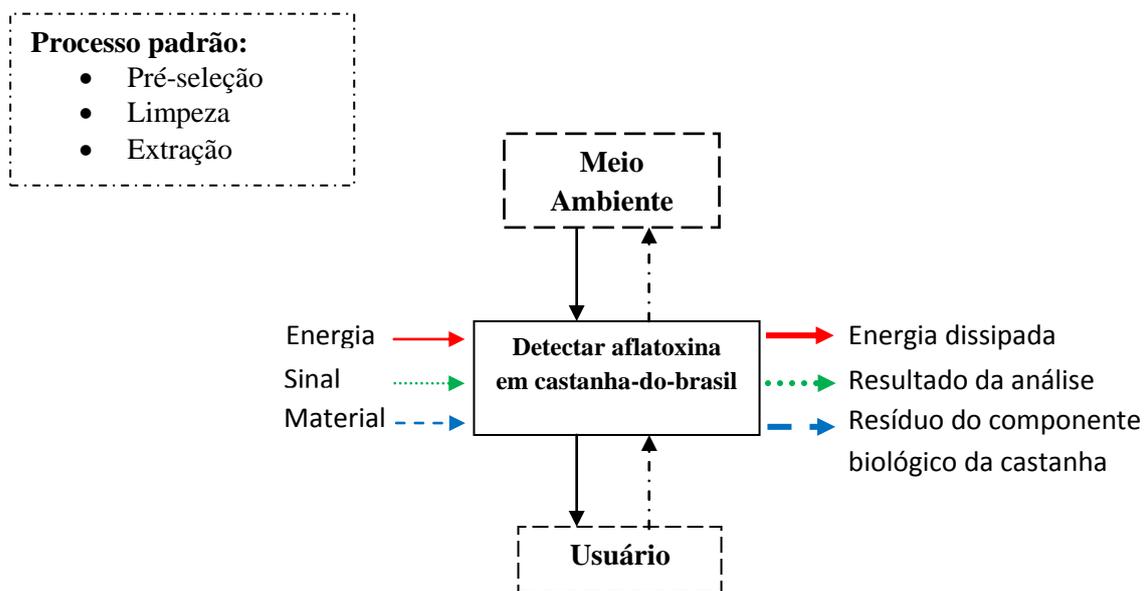


Figura 34: Função global do sistema

Por meio da análise do problema e estudo das especificações metas, o material de entrada, no caso a amostra de castanha analisada antes de entrar no sistema precisa ser preparada. Nesta pesquisa o processo padrão de seleção da amostra, limpeza e extração indicado para qual o equipamento necessita, será apresentado no tópico 5.2.1.

Com a definição da função global do produto mecatrônico, considerado esse produto como um sistema mecatrônico, constituído de partes mecânicas, eletrônicas e sistemas computacionais, a função global permite um desdobramento chamado de funções parciais, onde o sistema técnico pode-se ser considerado como um processo de transformação sucessiva, de estados e das propriedades de grandeza, tipo material, energia e informações (ver Figura 35).

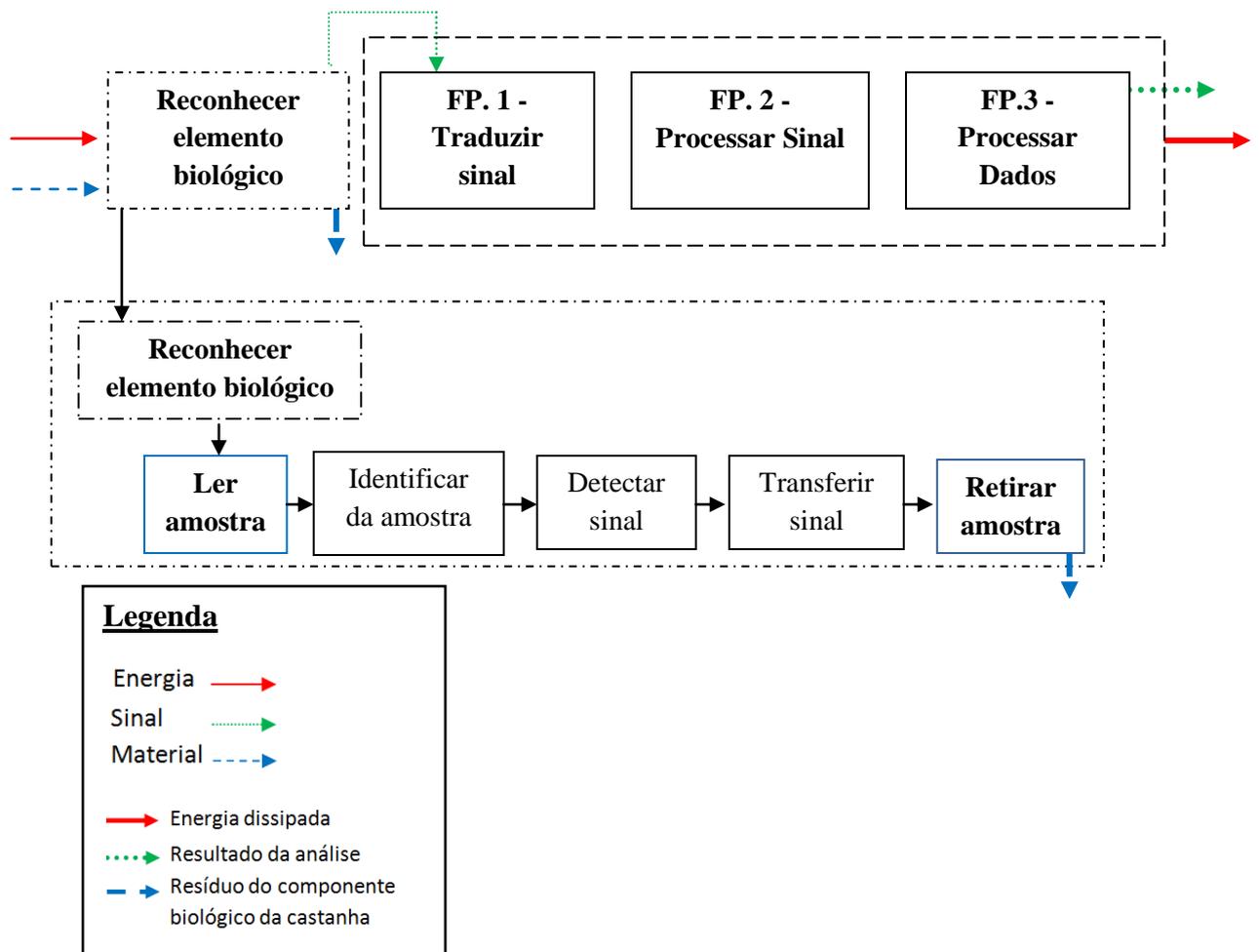


Figura 35: Funções parciais do sistema.

Com o primeiro desdobramento da função global para funções parciais, esta é descomposta em funções mais simples, chamadas de funções elementares, essa estrutura é elaborada principalmente através das experiências do projetista ou outros projetos semelhantes, fazendo uso de analogias de sistemas existentes, porém há no sistema do projeto proposto, um certo grau de complexidade, pois em vez de haver uma sucessiva transformação da matéria-prima comum em muitos projetos de máquinas, o sistema aqui descrito, tem como constante transformação de uma grandeza de estado, sendo o sinal traduzido, analisado e interpretado, a principal resposta ao problema de projeto (ver Figura 36 e Figura 37), logo a matéria-prima (castanha-do-brasil), como sólido, é eliminado do sistema prontamente, abstraindo somente através das interfaces as informações necessárias para o processo em questão.

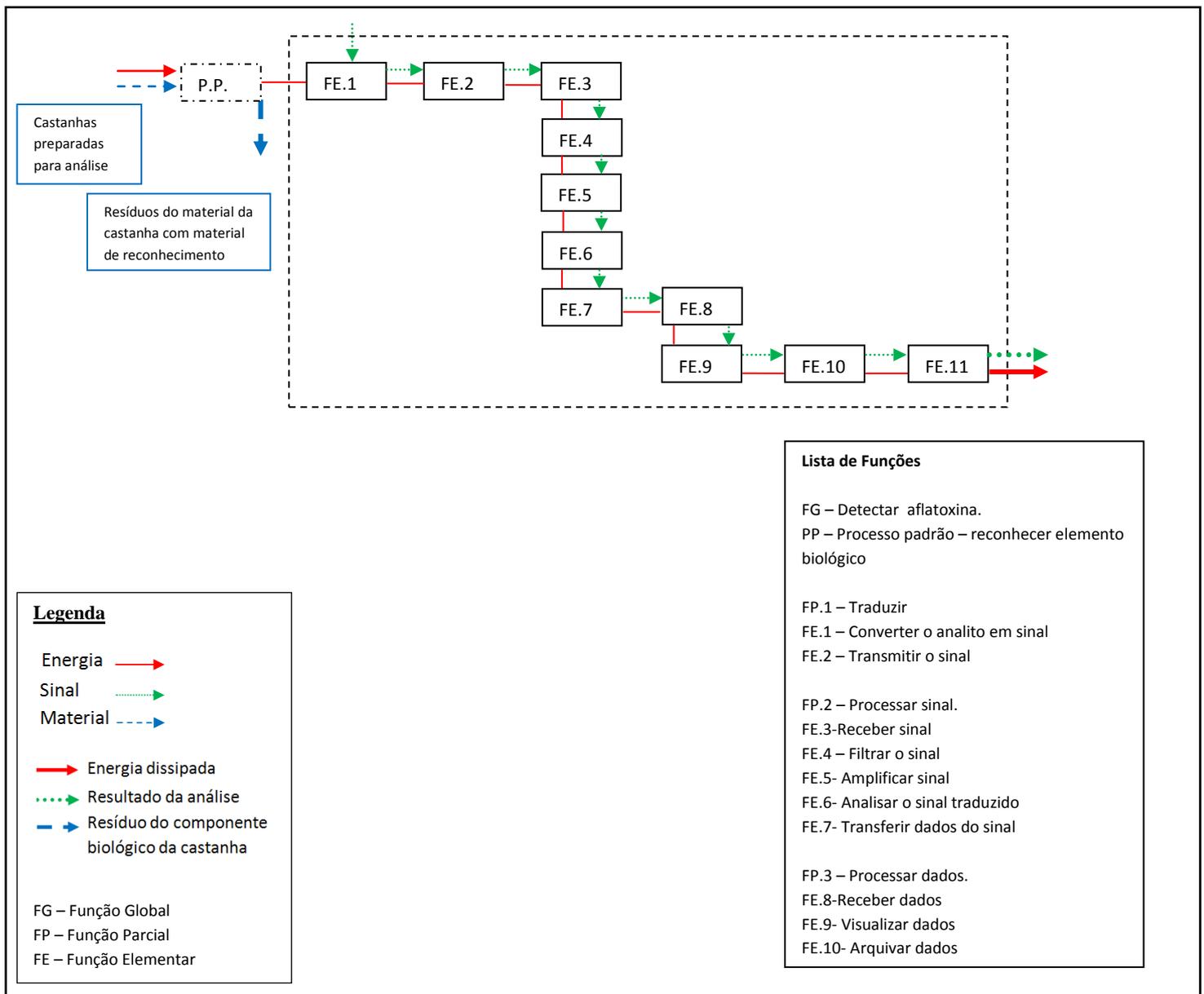


Figura 36: Funções elementares do sistema 1

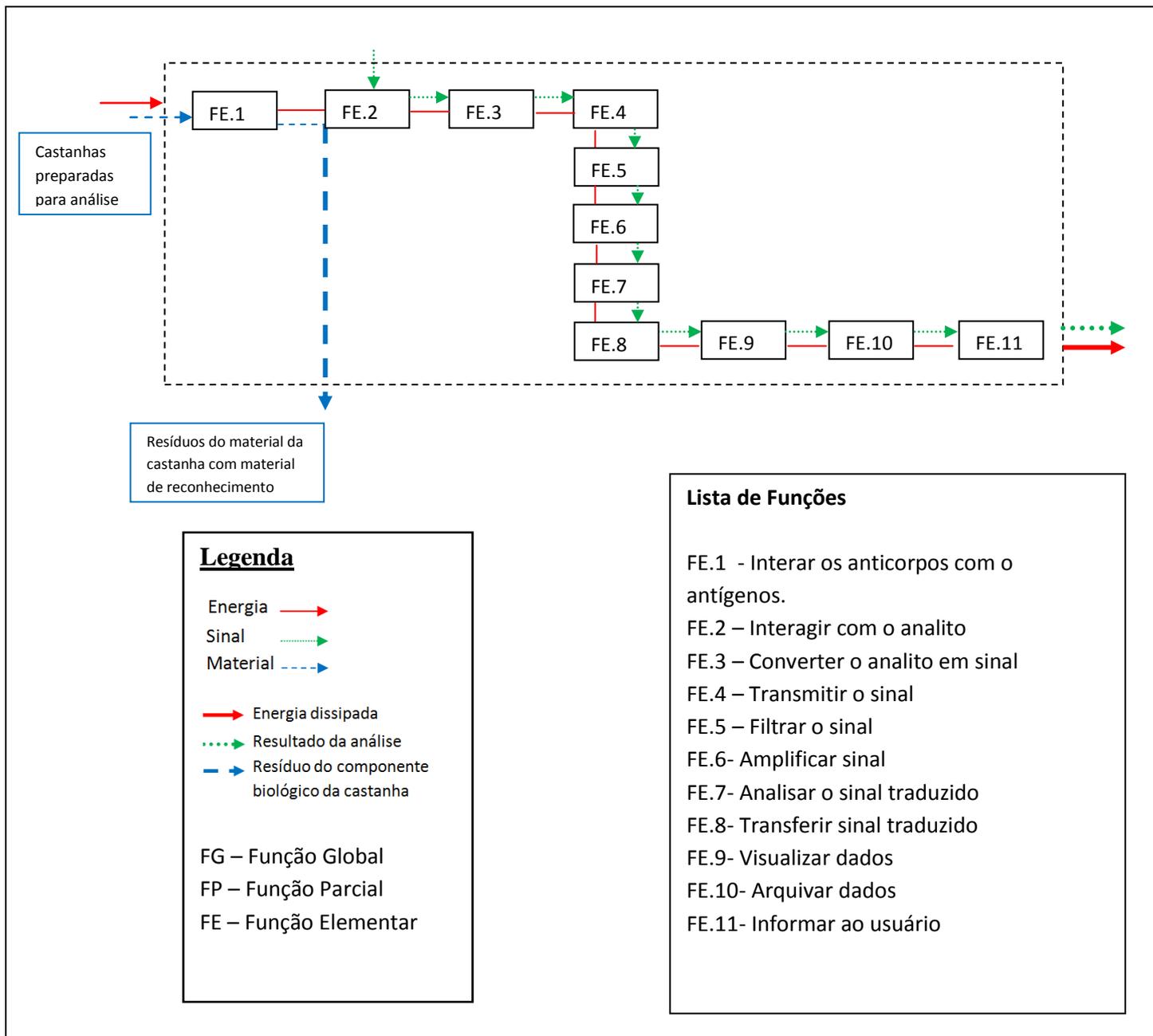


Figura 37: Funções elementares do sistema 2.

Para escolher a estrutura funcional que melhor atende ao problema de projeto, ou seja, a alternativa de estrutura funcional que melhor atende às necessidades dos clientes em questão, usou-se a matriz de seleção da alternativa de estrutura funcional, de acordo com Maribondo (2000), onde a nota 5 representa um desempenho excelente, a nota 3 um desempenho satisfatório, nota 1 desempenho fraco e 0 quando o conceito for igual ou equivalente a referencia. A escolha da melhor alternativa de estrutura funcional será a partir da variante que obtiver maior pontuação na soma total.

Quadro 1: Matriz de seleção de alternativa da estrutura funcional.

Requisitos do Cliente	Valor	Alternativas das estruturas funcionais para o sistema "Detector de Aflatoxina"	
		Alternativa 1	Alternativa 2
Estar de acordo com as normas sanitárias.	5	5	5
Ter proteção para atos inseguros.	5	5	5
Ter facilidade em identificar erros.	5	3	5
Ter funcionamento seguro.	5	3	3
Estar condizente com as normas e restrições.	5	1	5
Ser durável.	5	3	3
Ser um equipamento de triagem para desenvolver padrões de qualidade da castanha-do-brasil.	4	3	5
Estar normalizado e padronizado.	4	3	3
Ser inovador	4	3	3
Ter baixo consumo de energia	4	3	3
Ter fácil manutenção.	4	1	3
Ter baixo custo de operação.	3	0	0
Manter em temperatura estável	3	0	0
Não gerar poluentes.	3	0	0
Ser fácil de utilizar.	3	3	5
Não necessitar de intensa intervenção humana.	2	1	3
Ser de fácil fabricação.	2	0	0
Ter poucos ruídos.	2	0	0
Ser de fácil descarte	2	0	0
Utilizar peças padronizadas já existentes no mercado.	2	0	0
Ter produção limpa.	2	0	0
Utilizar processos convencionais de fabricação.	2	0	0
Ser de fácil montagem.	1	0	0
Ter distribuição rápida, eficaz e segura.	1	0	0
Ter a possibilidades de fabricar subsistemas em diversas empresas.	1	0	0
Ser de fácil desmontagem	1	0	0
Soma total		37	51

A diferença entre a alternativa 1 (Figura 36) e a alternativa 2 (Figura 37) é a determinação de como será realizado o descarte da matéria-prima, pois como o sistema busca uma informação que é retirada através da matéria-prima a ser selecionada de acordo com um processo padronizado, a maior questão é em que etapa ela será descartada, visando que o sistema mecatrônico do modelo tem o foco de detectar

aflatoxina, ou seja, identificar, traduzir e processar esse sinal para informar ao usuário sobre a detecção da aflatoxina na castanha-do-brasil.

Assim, a alternativa 2 obteve maior pontuação, de acordo com a avaliação através dos requisitos do cliente do projeto.

5.2. BUSCA POR PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO E GERAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE CONCEPÇÕES

Através da revisão bibliográfica dos principais métodos e técnicas de identificação de aflatoxina em castanha-do-brasil, foi realizado um levantamento dos principais Sistemas de Transdução (Ver Tabela 7).

Tabela 7: Biossensores utilizados na detecção de biotoxinas.

Origem	Toxina	Elemento de reconhecimento	Sistema de transdução	Referência
Fungos	Micotoxinas de Fusarium e Aspergillus (zearalenona, DON fumonisina B1 e aflatoxin B1)	Anticorpos	SPR	Gaag, <i>et all</i> (2003)
	Fumonisina			Mullet, <i>et all</i> (1998)
	Aflatoxinas		Biossensor fluorimétrico de imunoafinidade	Velasco-García (2003)
			Fibra óptica	Mello, <i>et all</i> (2002)

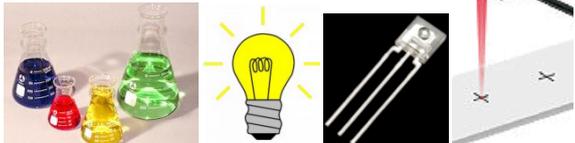
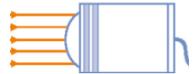
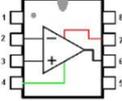
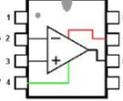
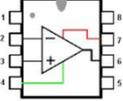
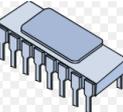
Fonte: Adaptado de Rumayor, et al. (2005)

O Sistema de Transdução indicado na literatura para detecção de aflatoxinas (ver Tabela 7) é através de Fibra óptica (MELLO, *et al.*, 2002) ou através de Biossensor fluorimétrico de imunoafinidade (VELASCO-GAMA, 2003), esses dois métodos indicados não compõem a solução em si do problema, porém apontam componentes específicos para auxiliar a tradução da estrutura funcional do equipamento em uma linguagem técnica e física, podendo indicar a composição dos componentes futuramente utilizados para a construção do protótipo

Utilizando do método de matriz morfológica no qual é utilizada com grande sucesso para geração de soluções, onde busca-se através do desdobramento do problema complexo em partes mais simples, dividindo-o em parâmetros através das sínteses

funcionais tornando possível a busca de alternativas através de catálogos, experiências, pesquisa e criação, obtendo assim a melhor combinação de solução possível (ver Quadro 2).

Quadro 2: Matriz Morfológica.

Função	Descrição	Princípios de Solução		
FE.1	Converter o analito em sinal	 <p>Soluções sensíveis ao ph e a concentração + Luz + Conversor de intensidade luminosa para frequência + Sensor de fibra óptica</p>		
FE.2	Transmitir o sinal	 Emissor de sinal	 Foto Diodo Emissor	 Transmissor de fibra óptica
FE.3	Receber sinal	 Receptor de sinal	 Foto Receptor	 Receptor de fibra óptica
FE.4	Filtrar o sinal	 Filtro de sinal	 Filtro de sinal	 Filtro de sinal
FE.5	Amplificar sinal	 Amplificador	 Amplificador	 Amplificador
FE.6	Analisar o sinal traduzido	 Microprocessador	 FPGA's	 Microcontrolador
FE.7	Transferir sinal traduzido	 Conectores	 Conectores	 Conectores
FE.8	Receber dados do sinal	 Software + Armazenamento	 Software+Armazenamento	 Software+Armazenamento

Continuação do Quadro 2: Matriz Morfológica.

FE.9	Visualizar dados	 Display LCD	 Display 7 segmentos	 Led's
FE.10	Arquivar dados	 Memória RAM	 Pan Drive	Memória Interna SATA
FE.11	Informar ao usuário	 Display LCD	 Display 7 segmentos	 Led's

Nota-se que a Função FE.1 que é descrita em *Converter o analito em sinal*, esta devidamente ligada ao processo padrão de amostragem, limpeza e extração, se tornando dependente desta etapa para poder realizar a conversão, a seguir será exemplificado as etapas deste processo.

5.2.1. Procedimento para preparação de amostra, limpeza e extração de aflatoxinas em castanha-do-brasil

Para se realizar o procedimento de preparação de amostras, limpeza e extração torna-se necessário utilizar de métodos reconhecidos e eficientes, utilizando-se de reagentes e equipamentos e utensílios necessários para efetuar o processo de reconhecimento biológico, de acordo a Anvisa e a AOAC (*Association of Official Agricultural Chemists*).

Reagentes: Metanol P.A.; Clorofórmio P.A.

Equipamentos e utensílios: Bastão de vidro, liquidificador industrial, balança de precisão, Béquer de 100 e 500 mL, Erlenmeyeres de 250 mL, espátulas, funil analítico, papel filtro.

Preparo das amostras (Limpeza e extração): Pesar 500g da amostra de castanhas. Transferir para o liquidificador, adicionar 750 mL de água Milli-Q e misturar por 3 minutos. Pesar 100g da pasta e transferir para erlenmeyer de 250 mL identificado. Adicionar 150 mL de Metanol 77% e agitar em mesa por 15 minutos. Filtrar em papel de filtro sanfonado recolhendo o filtrado em erlenmeyer de 250 mL identificado. Medir 50 mL do filtrado e transferir para funil de separação. Extrair duas vezes com 10 mL de clorofórmio, agitando, aproximadamente, 1 minuto em cada extração. Recolher fases

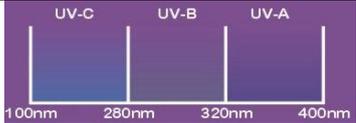
clorofórmicas para tubo tipo falcon de 15 mL e evaporar com ar comprimido até secar em banho-maria (Mello, *et al.*, 2011)

5.2.2. Geração e Seleção de Alternativas de Projeto.

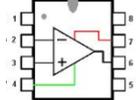
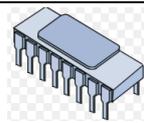
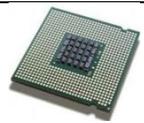
Esta etapa foca em determinar alternativas de projeto que melhor atenda as necessidades dos clientes contanto com os resultados anteriormente obtidos no QFD, utilizando de métodos reconhecidos e eficazes para realizar uma melhor avaliação e seleção das alternativas.

Utilizando ainda o método de matriz morfológica através do levantamento dos princípios de solução (ver Quadro 2), foi elaborada as alternativas de solução para o equipamento e o desdobramento da FE.3 em 4 partes, ilustrado conforme o Quadro 3 abaixo.

Quadro 3: Matriz Morfológica – Alternativas de Solução

Função	Descrição	Alternativas de solução		
		A	B	C
FE.1.1	Reagentes	 Metanol P.A.; Clorofórmio P.A.		
FE.1.2	Luz ultravioleta (comprimento de onda)	 Comprimento de onda: 265nm - 365nm - 400 nm		
FE.1.3	Conversor de intensidade luminosa em frequência	 Radiação 320nm a 1050nm		
FE.1.4	Sensor de fibra óptica	 Sensor de fibra óptica		
FE.2	Transmitir o sinal	 Emissor de sinal	 Foto Diodo Emissor	 Transmissor de fibra óptica

Continuação do Quadro 3: Matriz Morfológica – Alternativas de solução.

FE.3	Receber sinal	 Receptor de sinal	 Foto Receptor	 Receptor de fibra óptica
FE.4	Filtrar o sinal		 Filtro de sinal	
FE.5	Amplificar sinal		 Amplificador	
FE.6	Analisar o sinal traduzido	 Microcontrolador	 FPGA's	 Microprocessador
FE.7	Transferir sinal traduzido		 Conectores	
FE.8	Receber dados do sinal	 Software + Armazenamento Pen drive	 Software+ Armazenamento Memória RAM	 Software+Armazenamento HD Sata
FE.9	Visualizar dados	 Display LCD	 Display 7 segmentos	 Led's
FE.10	Arquivar dados	 Pen Drive	 Memória RAM	 Memória Interna SATA
FE.11	Informar ao usuário	 Display LCD	 Display 7 segmentos	 Led's

Com as alternativas de solução definidas, torna-se necessário utilizar de um método para realizar a seleção de qual alternativa será mais eficaz segundo as especificações do produto. O método bem recomendado é o Método Pugh, que compara os diversos conceitos de produto com que se pretende trabalhar com um conceito de referência facilitando a escolha de um conceito que se sobressaia, assim o conceito de referencia utilizado serão as especificações do produto obtidas no QFD.

Analisando as vantagens (ou pontos positivos), desvantagens (ou pontos negativos) e equivalência dos conceitos propostos em relação ao conceito de referência, é possível escolher do melhor conceito, chamado de conceito “vencedor”, a ser adotado para o produto. As alternativas de solução são listados na coluna direita da matriz, e nas linhas as especificações do produto formando assim o diagrama (ver Tabela), utilizando da seguinte simbologia para indicar quais os conceitos que apresentam vantagens, desvantagens ou equivalência com o conceito de referencia:

- (+1) Vantagem sobre o conceito de referência;
- (-1) Desvantagem sobre o conceito de referência;
- (0 (igual)) Equivalente ao conceito de referência.

É importante eliminar da lista os critérios que trazem ambiguidade e os que obtém grande quantidade de sinais (-), para facilitar o calculo dos que tem mais vantagens competitivas que são os que obterem maior quantidade de sinais (+), resultando a alternativa onde é proposta a solução mais eficaz (Ver Tabela 8).

Tabela 8: Matriz Pugh para seleção de alternativas de concepção do produto.

Requisitos de Projeto	Peso	Alternativas de solução		
		A	B	C
Alta frequência de identificação de aflatoxina (%)	7,2	0	0	0
Resposta de análise em tempo real (Horas/dia)	7	+1	+1	0
Alta segurança	6,8	0	0	0
Altos n° de componentes padronizados e normalizados	5,8	0	0	0
Alto nível de identificação de erros (n°)	5,8	0	0	0
Baixa exigência de esforço físico do operador (Kgf)	5,4	0	0	0
Alto n° de processos convencionais de fabricação (n°)	5,4	0	0	0
Baixo aquecimento do sistema (C°)	5,2	0	0	0
Baixo frequência de manutenção (n°)	5,2	0	0	0
Alto n° de componentes com geometria simples (n°)	5	0	0	0
Alto n° de componentes disponíveis em mercado (n°)	4,8	+1	0	+1
Baixo n° de operações realizadas pelo operador	4,6	0	0	0
Alta resistência a corrosão	4,4	0	0	0
Alta vida útil (anos)	4,4	0	0	0
Baixo consumo de potência/energia (w ou Kw/h)	4,2	0	0	0
Alto n° de componentes recicláveis (n°)	4,2	0	0	0
Baixo n° de componentes expostos ao operador (n°)	3,8	0	0	0
Baixo custo de operação (R\$)	3,8	0	0	0
Baixo nível de ruído (dB)	3,6	0	0	0
Baixa frequência ocorrência de falhas na distribuição (n°)	3,4	0	0	0

Continuação da Tabela 8: Matriz Pugh para seleção de alternativas de concepção...

Soma negativa	0	0	0
Soma positiva	11,8	7	4,8

Observa-se que através da avaliação e análise utilizando a Matriz de Pugh, a alternativa de solução para concepção do produto mais competitiva é a Alternativa A, destacando por ter mais números de componentes disponíveis no mercado e a resposta em tempo real.

Para melhorar o processo de concepção do produto, foi utilizado a Matriz Indicadora de Módulos (MIM) que indica quais funções que apresentam uma maior vocação ou tendência a formar módulos e quais devem ser agrupadas baseando-se em 12 diretrizes que são critérios que consideram características de todo o ciclo de vida do produto, onde as funções que obtiverem maior pontuação devem ser modularizadas bem como o grupo de funções que apresentem um forte relacionamento (ver Tabela 9).

Tabela 9: Matriz Indicadora de Módulos.

Fraca Relação (1 ponto)		<input type="radio"/>
Média Relação (3 pontos)		<input checked="" type="radio"/>
Forte Relação (5 pontos)		<input checked="" type="radio"/>

Diretrizes de Modularização	Desenvolvimento de produtos	Multi-aplicativo (Carry-over)	FE.1	FE.2	FE.3	FE.4	FE.5	FE.6	FE.7	FE.8	FE.9	FE.10	FE.11	
		Evolução Tecnológica	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Variação	Alteração de Projeto	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Especificação Técnica	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Fabricação	Estilo	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Unidade Comum	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Qualidade	Processo e Organização	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Testes em separado	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Aquisição	Compra de produtos prontos	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Manutenção e Manutenibilidade	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	Após estar no mercado	Atualização	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		Reciclagem	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
TOTAL		31	20	3	2	5	30	3	4	12	11	12		
Classificação		1	3	8	9	6	2	8	6	4	5	4		

Neste caso a MIM foi utilizado para avaliar a integração da parte eletrônica do produto, transformando suas funções em módulos, possibilitando um melhor entendimento de como proceder ao realizar futuros testes funcionais, ou montagens de protótipos, pois torna-se possível visualizar a interação necessária para realizar a integração da parte eletrônica com outras partes do sistema.

5.3. SISTEMATIZAÇÃO DO CONCEITO E DA CONCEPÇÃO

As concepções geradas a partir da Matriz Morfológica (Ver Quadro 3), e selecionada qual alternativa melhor atende de acordo com os requisitos do produto através da Matriz de Pugh (ver Tabela 8), direciona o trabalho da concepção da solução do produto com maior clareza e eficiência. No decorrer do processo através da Matriz Indicadora de Módulos (ver Tabela 9) uma necessidade de criar módulos no projeto a fim de simplificar a sistematização do mesmo, sendo esta técnica muito importante para modular os sistemas pertencentes ao equipamento, gerando maior consolidação da concepção do produto.

A Matriz Indicadora de Módulos indica as funções FE.1, FE.2 e FE.6 de maior concentração de pontos na análise, ou seja, essas funções devem ser tomadas como possíveis módulos do sistema, pois indicam também possíveis integrações do SSC's por meio de interfaces entre eles.

Assim a indicação dos sistemas a serem trabalhos na concepção é de extrema importância para o entendimento das interfaces a serem geradas. Como o produto a ser concebido tem como base de desenvolvimento o de um sistema mecatrônico, vale lembrar que ele é dividido basicamente em três sistemas onde possibilitam a integração de inúmeras interfaces, necessárias em sistemas complexos tais como para o desenvolvimento de um detector de aflatoxina, onde incorpora a interdisciplinaridade da mecatônica, descrito abaixo através da Figura 38.

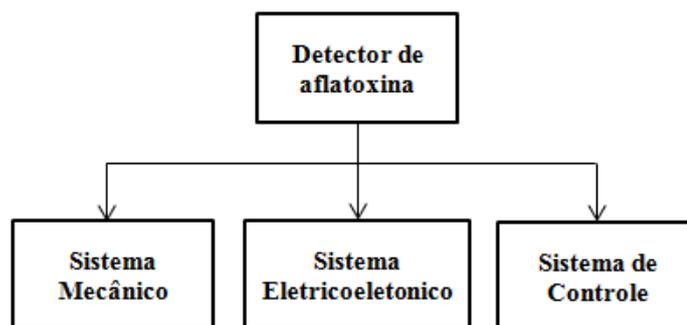


Figura 38: Detector de aflatoxina e sistemas integrantes.

Assim a função FE.1 (Converter o analito em sinal) foi desdobrada em 4 conceitos básicos: Reagentes, Luz ultravioleta, Conversor de intensidade luminosa em frequência e Sensor de fibra óptica. Essa função pode ser mais bem representada através do esquema demonstrado na Figura 39.

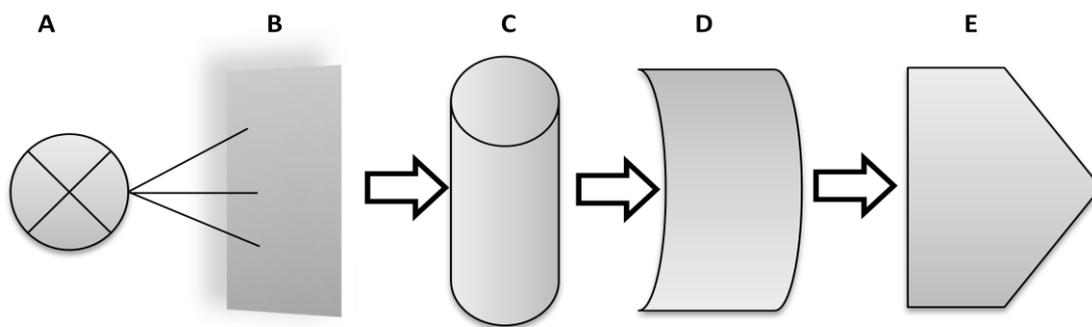


Figura 39: Esquema geral de descrição de um sistema fotoelétrico: A – Fonte luminosa; B – Meio para separar os comprimentos de onda; C – Cubetas, tubos ou celas de amostra; D – Detector de energia radiante e E - Medidor. Fonte: Adaptado de Cienfuegos e Yaitsman (2000, p. 19)

O esquema geral de um sistema fotoelétrico é à base de um equipamento que medi a absorção no Ultravioleta e Visível, sendo a região ultravioleta-visível como o conjunto de radiações associadas à absorção na banda de 200 a 800 nm, o qual é tido como banda espectral do espectrofotômetro convencional para medidas ultravioletas-visíveis (CIENFUEGOS; YAITSMAN, 2000, p. 47)

Sabendo que a emissão de fluorescência (emissão imediata da luz por moléculas que tenha absorvido radiações, por oposição a fosforescência que consiste na liberação retardada da energia absorvida) das aflatoxinas AFB1, AFB2, AFG1, AFG2, onde AF significa Aflatoxinas, B azul (*Blue*) e G verde (*Green*) dos tipos 1 e 2, são de 425 nm para a cor azul e 450 nm para cor verde (ver Tabela 2, p.10), onde a e que o tipo de comparador a ser utilizado no biossensor a ser desenvolvido é de fibra óptica (ver Tabela 5), temos então o conceito de um instrumento que medi quantidade de energia radiante emitida ou absorvida ultravioleta.

Willard, *et al.* (1974, p. 48), afirma que existem diversos nomes aos instrumentos destinados á medida da quantidade de energia radiante emitida ou absorvida por dada substancia, podendo adotar as seguintes definições:

Fotômetro: instrumento que fornece a relação (ou qualquer função desta) das energias radiantes de dois feixes eletromagnéticos.

Espectrômetro óptico: instrumento com uma fenda de entrada, um sistema dispersante e uma ou mais fendas de saída, com o qual se efetuam as medidas a

determinados comprimentos de onda, selecionados dentro de uma banda espectral ou nos sucessivos comprimentos de onda que constituem aquela banda. A grandeza medida é em função da energia radiante.

Espectrofotômetro: espectrômetro associado a um dispositivo que permite determinar a relação (ou uma função desta) das energias radiantes de dois feixes electromagnéticos, como função do comprimento de onda. Estes dois feixes podem estar separados no espaço, no tempo ou no espaço tempo simultaneamente.

Temos assim conceitos suficientes para enquadrar o equipamento a ser desenvolvido no conceito de um instrumento de medição radiante e absorção de ultravioleta levando em consideração as alternativas de solução (ver Quadro 3) no qual permitiu a visualização do conceito da concepção, não podendo esquecer que por causa da substância a ser analisada e medida é de origem biológica e molecular, o comparador de fibra óptica pode ser descrito como Biossensor de fibra óptica com a função principal de detectar de aflatoxinas.

5.3.1. Principais características técnicas da concepção do produto

No modelo de 3- ciclos de Gausemeier (2011) afirma que o segundo ciclo (Produto virtual) compreende a três fases necessárias no projeto conceitual, que são: projeto conceitual do produto, concretização do domínio específico e integração dos sistemas. Para se realizar a integração dos sistemas é necessário conhecer a estrutura funcional do produto e ter o domínio específico do mesmo, e assim buscar desenvolver interfaces de integração.

Para processar o sinal transmitido e traduzido é necessário temos um programa com diretrizes de detecção, calibração e registro da resposta obtida, onde usualmente utiliza-se de microcontroladores.

Os microcontroladores são bastante utilizados para realizar controle de funções ou ações de um produto, contendo componentes lógicos e aritméticos, eles podem ainda adicionar a sua estrutura interna, memória de leitura e de escrita para armazenamento de dados, assim como também conversores lógicos e digitais e até mesmo interfaces de entrada e saída de dados.

Para obter a interface entre o dispositivo de detecção, o processador e o programa de detecção a ser utilizado, temos a ferramenta *Fritzing*, sendo um projeto sem fins lucrativos que possui um ambiente gráfico que facilita o aprendizado e as primeiras montagens com *Arduino*. O software mostra de modo virtual como seria uma montagem física em *protoboard* (ver Figura 40). De acordo com Knorig *et al.* (2009), a ferramenta *Fritzing* ao invés de iniciar o seu processo de desenvolvimento com o esquemático, como maioria das ferramentas de projeto de circuitos integrados (EDAs) fazem, permite que o usuário realize a documentação de projeto de seu protótipo na *protoboard* a partir de uma visualização intuitiva que simula uma situação de problema real.

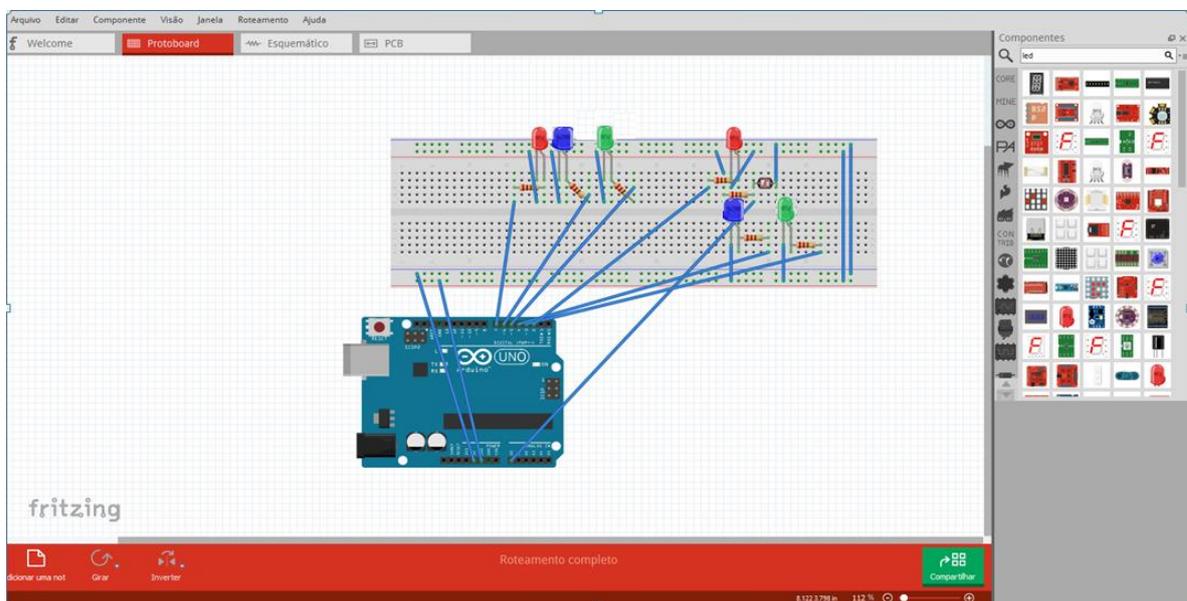


Figura 40: Representação da simulação em *protoboard*

Assim integrando os componentes principais temos o projeto virtual do desenho do equipamento (ver Figura 41 e 42), que será a base para realizar a montagem do teste funcional do equipamento, a estrutura mede 20x10 cm e foi alterada a escala para melhor compreensão da integração das principais partes.

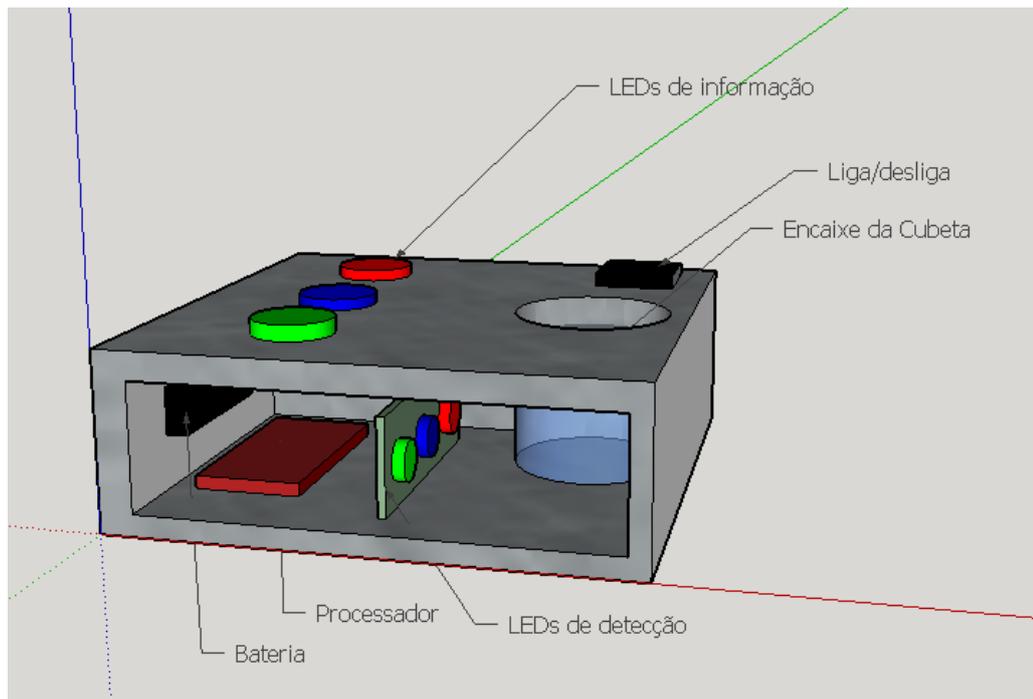


Figura 41: Esquema do biossensor detector de aflatoxina em castanha-do-brasil.

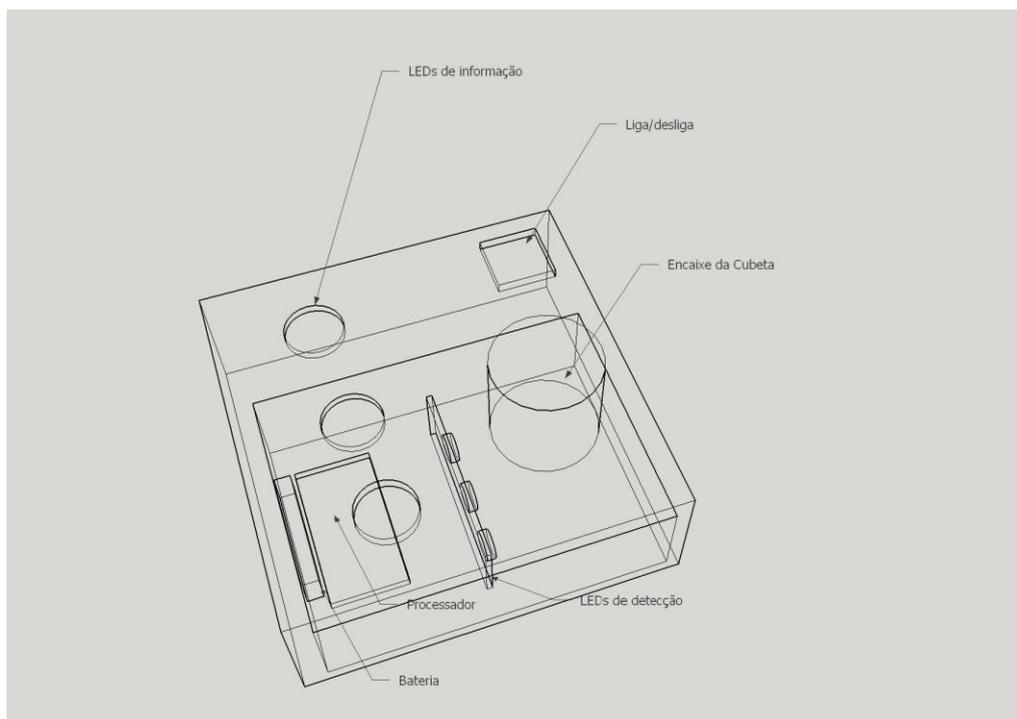


Figura 42: Vista superior do equipamento detector de aflatoxina.

5.3.2 Testes de funções

Para admitir que as concepções obtidas no projeto do produto estão de acordo com os requisitos do produto que foram obtidas através da análise e desdobramento das

necessidades do cliente, a fim de diminuir os riscos de erro de projeto, é necessário realizar o teste das principais funções levantadas.

O método de teste funcional tem como finalidade verificar os aspectos técnicos do produto, utilizando das especificações do produto como requisitos do sistema a ser testado. O motivo para se realizar os testes funcionais são: Demonstrar que funciona, Procurar defeitos e gerenciar a qualidade do produto. A meta do teste é de detectar os dados, processar, informar e armazenar os dados gerados.

O teste funcional pode ser realizado com sucesso através de um protótipo do dispositivo a ser desenvolvido, utilizando dos fundamentos das principais funções levantadas no estudo de soluções e concepções de alternativa (Ver Quadro 2 e Quadro 3).

Para a elaboração de um protótipo de um dispositivo de medição é necessário utilizar de amostras padrão, ou seja, a amostra tem que ter um nível de pureza superior para servir de referencia para as amostras a serem testadas, e assim o instrumento ser calibrado com uma referencia padrão e possibilitar a comparação dos testes a serem feitos.

Sendo a aflatoxina de fluorescência de 425 nm para cor verde e 450 nm para cor azul, pode-se usar como material de testes funcionais:

- Cores sólidas, papel verde, vermelho e azul e colorímetros (ver figura 43), com a composição de Resina de P.V.A., Água, Carga, Pigmentos (Azul, Verde e Vermelho) e Conservantes;
- 1 Seringa de medição;
- 2 Plaquetas de vidro de vidro de 7,5 x 2,5 cm de area
- 1 Processador: Seeduino v.3;
- 1 LDR de 5mm;
- 2 Led's de cor vermelha; 2 Led's de alto brilho de cor azul; 2 Led's de cor verde;
- Fios de Jumpers;
- 1 Protoboard;
- 6 Resistores de 10K ohms;

- 1 Cabo USB para conexão de processador com notebook.

Para realizar os testes com o colorímetro foi utilizado de uma seringa para medição de uma concentração de 10 ml para cada amostra, colocadas entre plaquetas de vidro de 7,5 x 2,5 cm de area.



Figura 43: Material a ser testado: 1) Colorímetros; 2) Papel colorido.

De acordo com os conceitos da concepção e suas características técnicas (Ver sessão 5.3.1) e do modelo conceitual desenhado a partir do software Fritzing e com a Plataforma do Arduino, torna-se possível o ensaio dos testes a partir do dispositivo demonstrado na Figura 44.

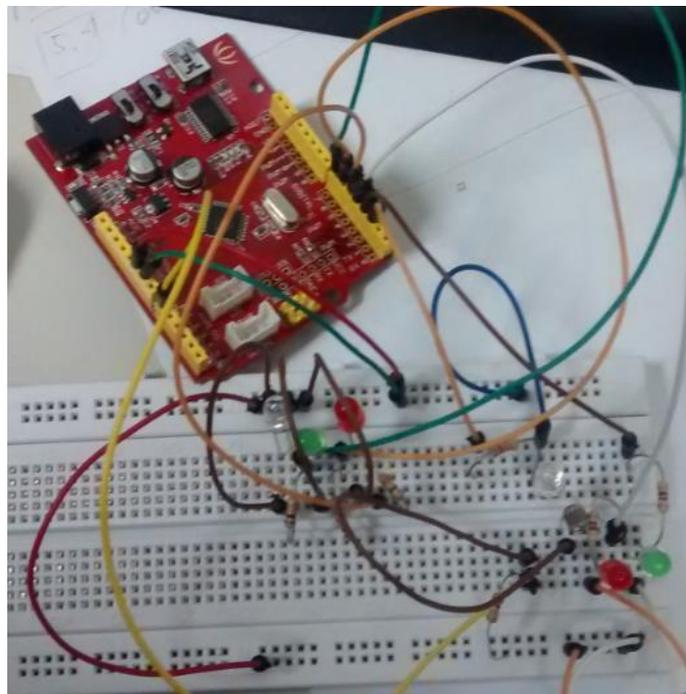


Figura 44: Estrutura de testes.

Assim para ser feita a detecção foi utilizado um programa computacional (ANEXO 4) inserido no microcontrolador, afim de gerar os comandos de detectar,

calibrar, verificar e informar através dos Led's sobre a detecção feita, valendo observar que a cor vermelha foi introduzida aos testes a fim de termos o teste de erro, ou seja, as cores a serem detectadas são azul e verde, então o vermelho seria alguma interferência interno ou externo ao sistema, a ser detectado como erro de detecção. Os testes foram feitos utilizando os passos de calibração em preto e branco e logo em seguida colocando a amostra próximo ao sistema do LDR e calculando o tempo de reação e tempo de resposta do sistema, conforme a tabela abaixo (Ver Tabela 10).

Tabela 10: Análise estatística do teste funcional.

TIPO DE AMOSTRA	Papel			Colorímetro		
	Azul	Verde	Vermelho	Azul	Verde	Vermelho
Cores						
Tempo Médio de Calibragem	30 segundos					
Tempo Médio de Detecção	18 Segundos			22 segundos		
Média de detecção	80%	70%	70%	70%	50%	60%

Analisando o teste funcional, foi verificado que a interferência de luz ou movimentos que possam encobrir a luz do ambiente em volta ao sistema de detecção, ocasiona falhas de calibração, sugerindo então a utilização de um sistema de proteção e afunilamento do tamanho da amostra em relação ao detector.

Os resultados conforme a Tabela 10, foram em média 66% de acertos, ou seja, acima da metade das tentativas de testes foram considerados positivos, tendo como meta a demonstração do funcionamento das funções principais do produto, foi considerável a representação dos mesmos, ampliando a visão da implementação dos módulos em um protótipo funcional com maior vantagem de tempo e esclarecimento da técnica a ser utilizada.

Assim, com a estimativa do tempo médio de detecção e a porcentagem de acertos do dispositivo em relação ao que se quer detectar torna-se possível seguir para etapas futuras de desenvolvimento do instrumento de medição de níveis de aflatoxina em castanha-do-brasil.

5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se concluir o Projeto Conceitual de um produto mecatrônico de tal complexidade e detalhes de natureza biológica, química e físico-química, e ter ao fim a definição conceitual do mesmo, define muito bem o resultado que esta fase exige.

A definição da estrutura funcional de um produto mecatrônico ainda nunca produzido e inovador, é em síntese bastante complicado, porém utilizando dos métodos já testados torna o fluxo das ideias e do uso da criatividade, um meio organizado de inserir ambos em um trabalho que requer tantas minúcias.

Logo, utilizar esses métodos, técnicas e ferramentas associadas à criatividade e visão muitas vezes abstratas inicialmente do produto a ser gerado, como por exemplo, o método da matriz morfológica, que utiliza de “imagem função”, tornando o que era abstrato em algo mais sólido e de fácil absorção e verificação, sempre interagindo com as fases anteriores, bem como seus resultados, obtendo assim a integração e interação das fases, pois são interligadas devido a necessidades de diretrizes para evitar erros de projeto.

Porém é necessário realizar um estudo mais profundo no caso de aparelhos de instrumentação, para poder definir o conceito dos mesmos, pois eles variam muito de acordo com o que vai ser medido ou testado, tendo que a equipe de projeto, ou projetista obter conhecimento suficiente para poder definir tais concepções sem deixar de seguir a linha do objetivo da pesquisa, ou seja, utilizar da metodologia para gerar soluções eficientes sem se antecipar previamente à ideia do produto a ser desenvolvido, isso sem dúvidas é o maior dos perigos nos casos de desenvolvimento de produtos na fase da concepção.

Os testes funcionais na fase conceitual são de extrema utilidade, pois torna a visão do projetista mais sólida em relação à estrutura funcional do produto e das interfaces a serem geradas a partir da avaliação da Matriz Indicadora de Módulos, e determinam muitas vezes alternativas de concepção não muito praticas dependendo dos recursos para construção de protótipos mais avançados nas fases posteriores.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Ao iniciar a pesquisa um objetivo foi traçado: “aplicar uma metodologia de projeto para produtos mecatrônicos, para desenvolvimento da concepção de um detector de aflatoxina em castanha-do-brasil”. Tal objetivo foi alcançado satisfatoriamente, tendo em vista a eficácia da metodologia aplicada a fim de chegar ao conceito da concepção do produto a ser desenvolvido.

Embora ainda não tenha sido fabricado o protótipo do produto, os testes funcionais foram úteis para verificação e aplicação de alguns conceitos complexos do produto detector de aflatoxina em castanha-do-brasil.

Neste capítulo é feita uma análise final dos resultados obtidos no projeto desenvolvido, apontando as principais contribuições e sugestões para trabalhos futuros.

6.1. Análise dos objetivos e resultados

A revisão da literatura dos vários métodos e técnicas de cromatografia para análise de micotoxinas, empregadas para a identificação da aflatoxina, tem a necessidade de uma gama de aparatos, máquinas e pessoas especializadas para realizar a tarefa conforme as normas, de acordo com procedimentos pré-determinado de boas práticas laboratoriais, tornando esse procedimento muitas vezes caro e com diversos tipos de falhas.

Com apenas um laboratório especializado e cadastrado segundo o site do MAPA para toda uma demanda, torna muitas vezes o procedimento inviável aos extrativistas de cooperativas distantes e de difícil acesso para enviar as amostras. Tornando assim a pesquisa de biossensores essencial para sanar tais defeitos.

O estado da arte de metodologias para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos indicou várias novas abordagens a serem empregadas, como o Modelo de 3-ciclos que tem como maior impacto na fase de projeto conceitual, onde possibilita a visualização do Produto e Produção Virtual, não podendo esquecer da VDI-2206, que seria muito útil pois contém diretrizes para o desenvolvimento de produtos mecatrônicos.

O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) para o projeto do biossensor tem aspecto multidisciplinar, fato comum em sistemas mecatrônicos, sendo assim no

decorrer do PDP a existência de uma equipe de diversas de áreas de conhecimento, possibilitando preencher as lacunas de conhecimento técnico necessário para desenvolver a interligação e integração das interfaces do sistema do equipamento.

O estudo do problema de projeto, bem como a contextualização do problema, possibilitou um esclarecimento palpável do problema real, com isso foi possível realizar o levantamento dos *stakeholders* de projeto durante o ciclo de vida do produto, essencial para definir os clientes de projeto assim como a análise dos envolvidos que sofreram maior impacto com o desenvolvimento do biossensor.

Ao se concluir o Projeto Conceitual de um produto mecatrônico de tal complexidade e detalhes de natureza biológica, química e físico-química, e ter ao fim a definição conceitual do mesmo, defini muito bem o resultado que esta fase exige.

A definição da estrutura funcional de um produto mecatrônico ainda nunca produzido e inovador, é uma atividade complexa, devido o número de variáveis envolvidas. Contudo, a utilização de métodos sistemáticos auxilia o projetista na condução das atividades na proposição das soluções.

Os testes funcionais na fase conceitual torna a visão do projetista mais sólida em relação à estrutura funcional do produto e das interfaces a serem geradas, e determinam muitas vezes alternativas de concepção não muito praticas dependendo dos recursos para construção de protótipos mais avançados nas fases posteriores.

A utilização de metodologias serviu para organizar o trabalho do projeto e também focalizar nas metas propostas a fim de avaliar a eficácia das etapas sugeridas, obtendo resultados ótimos.

6.2. Sugestões para trabalhos futuros

Durante a realização do projeto, algumas ideias, técnicas e fases foram avaliadas, sugerindo trabalhos futuros ou até mesmo a continuação deste projeto posteriormente. Assim temos as seguintes sugestões:

- Aprofundar os conhecimentos de identificação de aflatoxina em castanhas e novas tecnologias utilizadas nesse processo;
- Desenvolver um protótipo alfa capaz de detectar aflatoxina em castanha-do-brasil;

- Analisar a partir de amostras padrão de aflatoxina o funcionamento do protótipo do biossensor;
- Comparar o processo de detecção do protótipo do biossensor, com a análise padrão laboratorial;
- Analisar os níveis de certeza de detecção de aflatoxina e o tempo de resposta;
- Aprimorar o protótipo do biossensor detector de aflatoxina;
- Construir um protótipo final do biossensor detector de aflatoxina em castanha-do-brasil.
- Avaliar seu funcionamento de acordo com as necessidades do cliente.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

AMARAL, K.A.S.; MACHINSKI JR., M. Métodos analíticos para a determinação de aflatoxinas em milho e seus derivados: uma revisão. Revista Analytica, São Paulo, v. agosto/setembro, n. 24, p. 60-62, 2006.

ANDRADE, V.M. Confeção de biossensores através da imobilização de biocomponentes por eletropolimerização de pirrol. Porto Alegre, 2006. Dissertação (Mestre em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BACK, N.; OGLIARI, A.; DIAS, A.; SILVA, J. C. DA; Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem. São Paulo: Manole, 2008. 601p.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. (1988). Product design for manufacture and assembly. Manufacturing Engineering, p. 42-46, abril.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução -Resolução CNNPA/MS nº 34/76 de 19 de janeiro de 1977. Dispõe sobre teores de aflatoxina em alimentos para consumo humano.

BELEI, R. A.; GIMENIZ-PASCHOAL, S. R.; NASCIMENTO, E. N.; MATSUMOTO, P. H. V. R. O uso de entrevista, observação e videogravação em pesquisa qualitativa. Cadernos de educação, FAE/PPGE/UFPEL, Pelotas, v. 30, p. 187-199, jan/jun. 2008.

CALIL, S.S.; SILVA, P.R.Q. Biossensores: estrutura, funcionamento e aplicabilidade. Disponível em: <<http://www.cpgls.ucg.br/6mostra/artigos/SAUDE/SIMONE%20SAAD%20CALIL%20PAULO%20ROBERTO%20QUEIROZ.pdf>> Acessado em: 04 de Junho de 2012.

CANÇADO, R.A.; DE FREITAS, R. J. S. Metodologia simplificada para detecção de aflatoxina em milho. Visão Acadêmica, Curitiba, v.3 n.2, p. 95-102, Jul-Dez/2002.

CANÇADO, R.A.; DE FREITAS, R. J. S. CFLAE: Detector de aflatoxina em milho. Biotecnologia Ciências & Desenvolvimento, n. 29, p. 134-141. Disponível em: <http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio29/cflae.pdf>. Acesso em: 19 de Nov. de 2012.

CARLSON, M.A. et al. An automated, handheld biosensor for aflatoxin. Biosensors & Bioelectronics, n. 14, p. 841-848, 2000.

CIENFUEGOS, F.; VAITSMAN, D., Análise Instrumental, Editora Interciência, RJ., 2000.

COSLOVSKY, S.V. Determinantes de sucesso na indústria da castanha – como a Bolívia desenvolveu uma indústria competitiva enquanto o Brasil ficou para trás. Ebape, 2005, p-21.

CLAUSING, D.P. ;VALENTI, M. Organização para Desenvolvimento de Produtos. Disponível em: http://www.numa.org.br/conhecimentos/conhecimentos_port/pag_conhec/Time_de_Desenvolvimento_de_Produtosv2.htm

COUGHLAN, A. T., ANDERSON, E. STERN, L. W. , EL ANSARIA. I. Canais de Marketing e Distribuição. Bookman: Porto Alegre, 2002, p-461.

DA SILVA, J. G. C. Estatística Experimental: Planejamento de Experimentos. Pelotas, 2008. Disponível em: http://www.galileu.esalq.usp.br/arquivos/Plan_Experimentos.pdf

DEGANI, et al. Cromatografia um breve ensaio. Atualidades em Química. Química nova escola, Maio de 1998. Cromatografia, N. 7, p. 21.

EATON, D.L.; GROOPMAN, J.D. The Toxicology of Aflatoxins. Academic Press: New York, pp. 521–523, 1994.

FRANÇA, J.A.; DINIZ, P.; CALDAS, E.D.; HOMEM DE MELLO, M. Quantificação de aflatoxinas em amendoim e doces por cromatografia em camada delgada. In: XVII Congresso de Iniciação Científica da UnB, 2011, Brasília. XVII Congresso de Iniciação Científica da UnB, C-692 p. 142, 2011.

FAO. Codex committee on contaminants in food. Discussion paper on aflatoxin contamination in brazil nuts second session. Agenda item 11e Netherlands, 31 março/04 abril, 2008.

FATIBELLO FILHO, O.; CAPELATO, M.D. Biossensores. Química Nova, v. 15, n. 1, p.28-39, 1992.

FREEMAN, R. E. Strategic management: A stakeholder approach. Boston, Pitman Publishing, 1984.

FONSECA, A. J. H. Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional. Florianópolis, 200, p-199. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica – UFSC) Universidade Federal de Santa Catarina.

GAUSEMEIER, J. *et al.* Integrative development of product and production system for mechatronic products. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. N. 27, p. 772-778, 2011.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GONÇALVES, J. F. C.; FERNANDES, A. V.; OLIVEIRA, A. F. M.; RODRIGUES, L. F.; MARENCO, R. A. Primary metabolism components of seeds from Brazilian Amazon tree species. *Brazilian Journal Plant Physiology*, Londrina, v.14, n.2, p.139-142, 2002.

HANDERSON, *et al.* Flotation separation of aflatoxin-contaminated grain or nuts. *United States Patent*, N. 4795,651A, 3 de Jan. de 1989. Disponível em: <http://www.google.com.br/patents/US4795651>

HARASHIMA, F.; TOMIZUKA, M.; FUKUDA, T. Mechatronics – what is it, why, and how? *IEEE/ASME Trans Mechatron*, p.1-4, 1996.

HAUSER, J. R.; CLAUSING, D. The house of quality. *Havard Business Review*, 1998.

HEHENBERGER, P. *et al.* Hierarchical design models in the mechatronic product development process of synchronous machines. *Mchatronics*, vl. 20, p. 864-875, 2010.

HOOVER, S. P.; RINDERLE, J. R.; FINGER, S. Models and abstractions in design. *Design Studies*. Vol. 12, N. 4, Outubro de 1991.

LEE, Y. C.; SHEU, L. C.; TSOU, Y. G. Quality function deployment implementation based on Fuzzy Kano model: an application in PLM system. *Computers & Industrial Engineering*, v. 55, n. 1, p. 48-63, 2008.

LEITE, F. M. N. Fungos aflatoxigênicos na castanha-do-brasil sob as condições da floresta e de armazenagem comunitária no Acre. Rio Branco, 2008. 97p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal Acre.

MALHOTRA, M. K.; HEINE, M. L.; GROVER, V. An evaluation of the relationship between management practices and computer aided design technology. *Journal of Operations Management*, v. 19, p - 307-333, 2001.

MARTINS, L.; SILVA, Z. P. G.; SILVEIRA, B. C. Produção e comercialização da Castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K) no Estado do Acre-Brasil, 1998-2006. Rio Branco - Acre: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 20 a 23 de julho de 2008.

MACHINSKI JÚNIOR, M.. Aflatoxinas: Análise de amendoim por cromatografia em camada delgada. In: Moreau, Regina Lúcia de Moraes; SIQUEIRA, Elisa P. Bastos. *Ciências Farmacêuticas - Toxicologia Analítica*, 1: 194. Editora Guanabara Koogan. Rio de Janeiro, 2008.

MELLO, L. D. Y KUBOTA, L. T. Review of the use of biosensors as analytical tools in the food and drink industries. *Food Chemistry*, nº 77, 2002, p. 237-256.

NICKEL, *et al.* Modelo multicritério para referência na fase de Projeto Informacional do Processo de Desenvolvimento de Produtos. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 17, n. 4, p. 707-720, 2010.

OPAS. Micotoxinas. *Criterios de salud ambiental*, 11. Washington, 1983, p. 131.

OTTO, K. N. e WOOD, K. L. *Product design – techniques in reverse engineering and new product development*. New Jersey: Prentice Hall, inc., 2001.

PAS. Programa de alimentos seguros. Manual de segurança e qualidade para acultura da castanha-do-brasil. 62 p. Brasília:Embrapa, 2004.

PAHL, G.; BEITZ, W. *Projeto na Engenharia: métodos e aplicações – 6ª Edição*. Editora: Edgard Blucher, 2005, p.432.

PUGH, S. *Total design: integrated methods for successful product engineering*. Reading, HA: Addison, 1978.

REIS, Â. V. Desenvolvimento de concepções para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas. 2003. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROZENFELD, H. *et al.* *Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referencia a melhoria do processo*. São Paulo: Saraiva, 2006, p.542.

ROZENFELD, H. et al. Integrando os conhecimentos em um PDP de três grupos de pesquisa: proposta de um modelo de referência e suas aplicações. IV Congr. Bras. Gestão e Desenv. De Produtos. Gramado, RS, Brasil, 6 a 8 de outubro de 2003.

RUMAYOR, *et al.* Aplicaciones de biosensores em La industria agroalimentaria. CEIM. 2005, p.119.

SCALICE, R. K. Desenvolvimento de uma família de produtos modulares para o cultivo e beneficiamento de mexilhões. Florianópolis, 2003, p.252. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina.

SCHADE, *et al.* Method for detecting aflatoxin in almonds. United States Patent, N. 4,535,248, 13 de Aug. de 1985. Disponível em:

<http://www.google.es/patents/US4535248>

SESSP - CVA. Manual das doenças emitidas por alimentos: aflatoxinas e outras micotoxinas (2003). Informe- Net DTA. Disponível em: <<http://www.cve.saude.sp.gov.br/htm/hidrica/Aflatoxinas.htm>>. Acesso em: 29 de Maio de 2012.

SETHI, R. S. Transducer aspects of biosensors. Biosensors & Bioelectronics. Ed. 9, p. 243-264, 1994.

SHETTY, D.; KOLK, R. A., Mechatronics Systems Design. PWS Publishing Company. Boston, 1997, p.422.

SOUZA, J. M. L. de et al. Manual de Segurança e Qualidade para a Cultura de castanha do Brasil. EMPRAPA – Acre, 2004.

VIEIRA, S.N. Contribuição para o desenvolvimento de biosensores eletroquímicos para detecção de hepatopatias. Uberlândia, 2007. Dissertação de Mestrado (Mestre em Química). Universidade Federal de Uberlândia.

THÉVENOT, D. R. et al. Electrochemical Biosensors: Recommended Definitions and Classification. Biosensors&Bioelectronics, v.16, p.121-131, 2001.

TONINI, H. Castanheira-do-brasil: uma espécie chave na promoção do desenvolvimento com conservação . Boa Vista: EMBRAPA Roraima, 2007.

VAN BRUSSEL, H. M. J. Mechatronics – A Powerful Concurrent Engineering Framework. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. p.127-136, 1996.

VASIĆ, V. S. & LAZAREVIĆ, M.P. Standard Industrial Guideline for Mechatronic Product Design. FME Transactions.Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade. N. 36, p.103-108, 2008.

VELASCO-GARCÍA, M.; MOTTRAM, T. Biosensor technology addressing agricultural problems. Review paper. Biosystems Engineering, vol. 84, nº 1,2003, p.12.

VRIES, T. J. A.; BREUNESE, A. P. J. Structuring product models to facilitate design manipulations.International conference on engineering design.Iced '95.Praha, August 22–24, 1995.

WAGNER, E.R.; HANSEN, E. N. A method for identifying and assessing key customer group need. Industrial Marketing Management. 2004, p-643-655.

WADT, L. H. O.; KAINER, K. A.; NUNES, G. M.; LEITE, F. M. N. E. Manejo da castanheira (*Bertholletia excelsa*) para a produção de castanha-do brasil. Rio Branco: Secretaria de Extrativismo e Produção Familiar. 42p il. Seprof documento técnico, n. 3. 2005a.

WILLARD, H.; MERRIET, L.; DEAN, J. (1974) Análise Instrumental, Lisboa, Fundação Calouste de Gulbenkian, 1974.

YAO, *et al.* Method and detection system for detection of aflatoxin in corn with fluorescence spectra.United StatesPatent, N. US 58,563,934 B2, 22 de outubro de 2013. Disponível em:<http://www.google.com/patents/US20120061586>

ZYLBERSZTAJN, D. Estruturas de governança e coordenação do agribusiness: uma aplicação da nova economia das instituições. Tese de Livre Docência, Departamento de Administração. FEA/USP, 1995, p.238.

ANEXOS



ANEXO I - LEVANTAMENTO DAS NECESSIDADES DO CLIENTE ATRAVÉS DE UMA ENTREVISTA SEMI – ESTRUTURADA

1 - Objetivo da Pesquisa

Esta pesquisa tem como objetivo realizar levantamentos de dados e informações, para justificar o projeto proposto, assim como levantar as necessidades dos clientes, para desenvolver um detector de aflatoxinas na castanha-do-brasil.

2 - Dados Gerais

2.1 Cooperativa ()

2.2 Indústria de Beneficiamento ()

2.3 Instituição Governamental ()

2.4 Instituto de Pesquisa ()

2.5 outros ()

Nome:

Localização:

3 - Cargo ou função do entrevistado:

3.1 Extrativista ()

3.2 Empresário ()

3.3 Operário ()

3.4 Funcionário de instituição ()

3.5 Pesquisador ()

3.6 outros ()

4 - Tempo de serviço na função

4.1 Menos de 5 anos ()

4.2 5-10 anos ()

4.3 11-15 anos ()

4.4 Acima de 16 anos ()

5 - Qual é a produção do estabelecimento em que trabalha (em caso de afirmativo para 3.1, 3.2, 3.3)?

5.1toneladas/ano.

6 - Qual o nível de importância do controle de aflatoxinas no processo de armazenamento da castanha-do-brasil? Utilize da escala de 1 à 5.

6.1 () 1

6.2 () 2

6.3 () 3

6.4 () 4

6.5 () 5

7 - Como é realizada a detecção de aflatoxinas atualmente? Qual é o tempo aproximado de espera envio das amostras e os resultados? Qual seria o tempo ideal?

8. Como são definidas as amostras para serem enviadas? (Verificar se é usada alguma amostras estatísticas são verificados todos os lotes, inspeção 100%)

9 - Durante a safra da castanha-do-brasil, com que frequência se realiza o processo de detecção de aflatoxinas? Qual seria o período ideal?

9.1 Todos os dias ()

9.2 Uma vez na semana ()

9.3 Mensalmente ()

9.4 A cada dois meses ()

9.5 De acordo com o Lote ()

9.6 outros ()

9.7 Período ideal:

10 - Qual é o percentual (toneladas)de percas de castanhas devido ao problema de contaminação por aflatoxinas? Não foi verificado durante o processo foi só produto acabado?

11 - Qual é a importância do desenvolvimento de um equipamento capaz de detectar aflatoxinas em tempo real?

12 - O equipamento necessita ser portátil? Por quê?

13 - Qual seria o peso razoável para um detector de aflatoxinas?

14 - Como gostaria que fosse realizada a manutenção do equipamento?

14.1 Realizada pela empresa ()

14.2 Assistência técnica autorizada ()

15 - Dentro da tecnologia utilizada atualmente para detecção de aflatoxinas e o seu custo. Qual seria o valor máximo que você estaria disposto a pagar pelo equipamento?

16 - Quais são suas expectativas em relação ao equipamento? (Sugestões)

17 - Listem suas maiores necessidades em relação ao controle de qualidade no processo de armazenamento da castanha (Sugestões).



ANEXO II - LISTA COMPLETA DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES

Ciclo de Vida	Classificação de Stakeholders	Stakeholders	Necessidades e/ou Restrições	Funcionamento	Ergonomia	Estética	Economicidade	Segurança	Confiabilidade	Legalidade	Patentabilidade	Da normalização	Do Impacto Ambiental	Referencia	
PROJETO	Restrição	5. Mercado Externo - aspectos legais (USA, Europa)	a) Barreiras sanitárias impostas, com limite de níveis de aflatoxinas						x	x		x		FAO, 2008	
		9. Ambiente Institucional - Legislação municipal e estadual	b) Resolução CNNPA/MS nº 34/76, limites de aflatoxinas								x		x	BRASIL, 1977	
		10. Concorrentes	c) Não ser cópia de nenhum produto já existente.									x			
		15. ANVISA	d) Resolução RDC 07/2011, publicada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), regulamentação dos níveis aceitáveis de aflatoxinas no Brasil.								x		x	ANVISA, 2011	
		16. Propriedade Intelectual (inventores)	c) Não ser cópia de nenhum produto já existente.									x			
			e) Estar de acordo com as normas técnicas para geração de patentes.										x		INPI
	Diretos	4. Cooperativas/Indústria/Agroindustria de Beneficiamento	1. Ser um equipamento de triagem para desenvolver padrões de qualidade da castanha-do-brasil. Ser fácil de utilizar.	x			x			x	x		x		
			2. Ser fácil de utilizar.	x	x										
			3. Ser leve		x										
			4. Manter em temperatura estável	x	x				x						
			5. Ter poucos ruídos.		x				x						
			6. Não causar intensa reação visual.		x				x						
			7. Não necessitar de intensa intervenção humana.	x	x				x						
			8. Ter aspecto visual agradável.			x									
			9. Ter baixo consumo de energia	x				x							
		10. Não aquecer.	x	x											
		11. Não gerar poluentes.											x	Questionários de	



Continuação...

Ciclo de Vida	Classificação de Stakeholders	Stakeholders	Necessidades e/ou Restrições	Funcionamento	Ergonomia	Estética	Economicidade	Segurança	Confiabilidade	Legalidade	Patentabilidade	Da normalização	Do Impacto Ambiental	Referencia
			12. Ter proteção para atos inseguros.	x	x		x	x						entrevistas semi-estruturado (ANEXO I)
			13. Ter funcionamento seguro.	x	x			x						
			14. Ter fácil manutenção.	x			x	x						
			15. Estar de acordo com as normas sanitárias.							x		x		
			16. Ser inovador	x							x			
			17. Estar condizente com as normas e restrições.					x		x		x		
			18. Não ser poluente.										x	
			19. Ser de fácil descarte							x		x	x	
			20. Ter produção limpa.							x		x	x	
	Indiretos	12. MAPA	15. Estar de acordo com as normas sanitárias.					x		x				
		13. EMBRAPA	15. Estar de acordo com as normas sanitárias.					x		x				
		14. Laboratórios-LANAGRO/MG - Testes	15. Estar de acordo com as normas sanitárias.					x		x				
	Fornecedores	17. Fornecedores de Peças e Componentes	i) Estar de acordo com as normas técnicas					x		x		x		
		19. Desenvolvimento de Fornecedores de componentes e serviços	i) Estar de acordo com as normas técnicas					x		x		x		
		22. Distribuidor equipamento	i) Estar de acordo com as normas técnicas					x		x		x		
			21. Ter distribuição rápida, eficaz e segura.							x		x		
	Restrições	15. ANVISA	d) Resolução RDC 07/2011, publicada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), regulamentação dos níveis aceitáveis de aflatoxinas no Brasil.							x		x	x	ANVISA, 2011
	Diretos	20. Fabricante equipamentos	h) Fabricar o equipamento de acordo com as leis e normas estabelecidas.							x		x		
			20. Ter produção limpa.							x		x	x	
			22. Utilizar de processos convencionais de fabricação.				x					x		
			23. Ser de fácil fabricação.				x					x		



Continuação...

Ciclo de Vida	Classificação de Stakeholders	Stakeholders	Necessidades e/ou Restrições	Funcionamento	Ergonomia	Estética	Economicidade	Segurança	Confiabilidade	Legalidade	Patentabilidade	Da normalização	Do Impacto Ambiental	Referencia
FABRICAÇÃO			23. Ser de fácil fabricação.				x					x		Questionários de entrevistas semi-estruturado (ANEXO D)
			24. Ser de fácil montagem.				x					x		
			25. Ser de fácil embalagem.				x					x		
			26. Utilizar de peças padronizadas já existentes no mercado.				x	x				x		
	Fornecedores	17. Fornecedores de Peças e Componentes	i) Estar de acordo com as normas técnicas					x				x		
			27. Ter componentes disponíveis no mercado.				x	x				x		
			28. Estar normalizado e padronizado.				x			x		x		
		19. Desenvolvimento de Fornecedores de componentes e serviços	28. Estar normalizado e padronizado.				x			x		x		
			29. Ter a possibilidades de fabricar subsistemas em diversas empresas.				x					x		
		22. Distribuidor equipamento	28. Estar normalizado e padronizado.				x			x		x		
TRANSPORTE	Fornecedores	22. Distribuidor equipamento	21. Ter distribuição rápida, eficaz e segura.				x	x				x		
COMERCIALIZAÇÃO	Fornecedores	22. Distribuidor equipamento	21. Ter distribuição rápida, eficaz e segura.				x	x				x		
			8. Ter aspecto visual agradável.				x							
			27. Ter componentes disponíveis no mercado.				x	x				x		
USO	Diretos	4. Cooperativas/Indústria/Agroindustria de Beneficiamento	DE 1 A 20	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
			30. Ter baixo custo de operação.	x			x							
			31. Ser durável.				x		x					
MANUTENÇÃO	Fornecedores	22. Distribuidor do equipamento	27. Ter componentes disponíveis no mercado.				x					x		
			14. Ter fácil manutenção.	x			x	x						
			12. Ter proteção para atos inseguros.	x	x		x	x						
			32. Ter facilidade em identificar erros.	x			x	x						
DESCARTE	Diretos	20. Fabricante do equipamentos	11. Não gerar poluentes.										x	
			19. Ser de fácil descarte							x		x	x	
	Fornecedores	22. Distribuidor do equipamento	33. Ser de fácil desmontagem	x	x									

ANEXO IV – PROGRAMA UTILIZADO NOS TESTES FUNCIONAIS

```
//Definir os Leds
int ledArray[] = {2,3,4};
int red1 = 5;
int green1 = 6;
int blue1 = 7;

//variável que verifica se o sensor foi
calibrado
boolean balanceSet = false;
float colourArray[] = {0,0,0};
float whiteArray[] = {0,0,0};
float blackArray[] = {0,0,0};
int avgRead;
void setup(){
  //Declaração dos pinos como de saída
  pinMode(2,OUTPUT);
  pinMode(3,OUTPUT);
  pinMode(4,OUTPUT);
  pinMode(5,OUTPUT);
  pinMode(6,OUTPUT);
  pinMode(7,OUTPUT);
  //inicia a comunicação serial
  Serial.begin(9600);
}
void loop(){
  checkBalance();
  checkColour();
  printColour();
}
void checkBalance(){
  if(balanceSet == false){
    setBalance();
  }
}
void setBalance(){
  //Calibrando o branco!
  delay(5000);
  for(int i = 0;i<=2;i++){
    digitalWrite(ledArray[i],HIGH);
    delay(100);
    getReading(5);
    whiteArray[i] = avgRead;
    digitalWrite(ledArray[i],LOW);
  }
  //Calibrando o preto!
  delay(5000);
  for(int i = 0;i<=2;i++){
    digitalWrite(ledArray[i],HIGH);
    delay(100);
    getReading(5);
    blackArray[i] = avgRead;
```

```
digitalWrite(ledArray[i],LOW);
delay(100);
}
//Avisa que a calibragem foi feita
balanceSet = true;
delay(5000);
}
void checkColour(){
  for(int i = 0;i<=2;i++){
    digitalWrite(ledArray[i],HIGH);
    delay(100);
    getReading(5);
    colourArray[i] = avgRead;
    float greyDiff = whiteArray[i] -
blackArray[i];
    colourArray[i] = (colourArray[i] -
blackArray[i])/(greyDiff)*255;
    digitalWrite(ledArray[i],LOW);
    delay(100);
  }
}
void getReading(int times){
  int reading;
  int tally=0;
  for(int i = 0;i < times;i++){
    reading = analogRead(0);
    tally = reading + tally;
    delay(10);
  }
  avgRead = (tally)/times;
}
//Função para escrever no Serial Monitor o
que foi lido e responder acendendo o led
void printColour(){
  Serial.print("R = ");
  Serial.println(int(colourArray[0]));
  Serial.print("G = ");
  Serial.println(int(colourArray[1]));
  Serial.print("B = ");
  Serial.println(int(colourArray[2]));
  //Condições para acender o led vermelho
  if (((int(colourArray[0])) >= 200) &&
((int(colourArray[0])) <= 235)){
    digitalWrite(red1,HIGH);
    digitalWrite(green1,LOW);
    digitalWrite(blue1,LOW);
    delay(1000);
    digitalWrite(red1,LOW);
    digitalWrite(green1,LOW);
    digitalWrite(blue1,LOW);
  }
  //Condições para acender o led verde
  else if (((int(colourArray[1])) >= 200) &&
((int(colourArray[1])) <= 220)){
```

```
digitalWrite(red1,LOW);
digitalWrite(green1,HIGH);
digitalWrite(blue1,LOW);
delay(1000);
digitalWrite(red1,LOW);
digitalWrite(green1,LOW);
digitalWrite(blue1,LOW);
}
//Condições para acender o led azul

}

else if (((int(colourArray[2])) >= 100) &&
((int(colourArray[2])) <= 130)){
    digitalWrite(red1,LOW);
    digitalWrite(green1,LOW);
    digitalWrite(blue1,HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(red1,LOW);
    digitalWrite(green1,LOW);
    digitalWrite(blue1,LOW);
}
```