

CONCEPÇÃO DE UM BIOSENSOR PARA DETECÇÃO DE AFLATOXINA EM CASTANHA-DO-BRASIL

Giselle Amaral Leite

Universidade de Brasília
Brasília, DF, Brasil
giselle.amaral.leite@gmail.com

Andrea Cristina dos Santos

Universidade de Brasília
Brasília, DF, Brasil
andreasantos@unb.br

RESUMO

O Brasil vem perdendo participação no mercado da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.) devido aos baixos padrões de qualidade das castanhas, um dos principais problemas da castanha-do-brasil é a contaminação por aflatoxinas. Os métodos de detecção das aflatoxinas são realizados em laboratórios. Estes demandam de infraestrutura técnica e um longo tempo de espera para obtenção dos resultados das análises. A utilização de métodos de identificação em tempo real por meio de Biosensores pode auxiliar na melhoria do controle dos padrões de qualidade no processamento da castanha do brasil. O objetivo deste artigo é apresentar uma proposta de aplicação do processo de desenvolvimento de produto mecatrônico para concepção de Biosensor. 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 na fase de projeto conceitual, testes funcionais, identificou-se a necessidades de testes mais aprofundados fora da área de conhecimento da mecatrônica, na área química. A concepção obtida tem uma ênfase nos componentes e dispositivos eletrônicos necessários para o funcionamento de um biosensor.

ABSTRACT

The Brazil is losing market share of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. B. K.) because of low quality, one of the main problems of Brazil nut is the aflatoxin contamination. The methods for detection of aflatoxin are performed in laboratories. The laboratories demand technical infrastructure and and wait a long time to obtain the results of the analysis. The use of real-time identification methods using biosensors can offer improving in quality control the processing of Brazil nut. The objective of this article is to present an proposed application of the mechatronic product development process for Biosensor Conception. This was developed from the analysis of the needs and constraints of different stakeholders in the production chain of the Brazil-nut. During application of methods in the conceptual design phase, the identification of functional tests, it identified the further testing needs outside the mechatronics area of expertise in the chemical area. The resulting design has an emphasis on electronic components and devices necessary for the operation of a biosensor.

PALAVRAS CHAVES: projeto de produto mecatrônico, biosensor, aflatoxina, castanha-do-brasil.

INTRODUÇÃO

A produção de castanha-do-brasil no território nacional apresenta pouco controle dos padrões de qualidade. As carências de controle das variações de qualidade reduzem o valor comercial final do produto. Na Europa, onde a amêndoa é consumida *in natura*, os baixos padrões de qualidade são utilizados como barreiras sanitárias para exportação do produto [1].

O principal atributo de controle dos padrões de qualidade é o controle dos limites de aflatoxina na amêndoa da castanha [2].

As aflatoxinas 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 [3].

A infecção pode ocorrer nas fases de crescimento da planta, colheita, secagem, processamento e armazenamento [4].

Dentre os métodos e técnicas mais usados para detecção/quantificação das aflatoxinas, tem-se a cromatografia [5].

Entretanto a cromatografia é um método de análise laboratorial que exige máquinas e pessoas especializadas [6].

Além disso, os laboratórios que realizam as análises estão distantes do local de coleta e beneficiamento da castanha, que pode ser entre de 2 a 3 semanas [7].

Outro método para a detecção de aflatoxina é a utilização de biosensores, que podem ser de baixo custo e capazes de fornecer resposta da análise em tempo real. Sendo este possível de ser usadas no controle da produção ainda na floresta.

Os biosensores são dispositivos bioeletrônicos, que utilizam de reações de químicas e/ou biológicas (analíticos) para obter resultados tanto qualitativos como quantitativo, constituídos dos seguintes componentes básicos: químico (molecular), sistema de reconhecimento (receptor), e um transdutor físico-químico [8].

[9] colocam que um biosensor pode ser definido como um sensor que utiliza um material

biológico conectado a um transdutor que converte um sinal biológico em sinal elétrico.

O objetivo deste artigo é apresentar através de uma proposta de aplicação de uma metodologia do processo de desenvolvimento de produto mecatrônico, a modelagem conceitual do Biosensor identificador de aflatoxina em castanha-do-brasil.

MÉTODOS E TÉCNICAS PARA O APOIO AO PROCESSO DE PROJETO DE PRODUTOS MECATRÔNICOS

Mecatrônica é 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 [10, 11].

Logo, a mecatrônica envolve a abordagem de engenharia simultânea no projeto de sistemas [12] 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 [13].

De acordo com [14] a abordagem de mecatrônica especificamente influencia a tarefa de projeto conceitual, onde é durante esta tarefa 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.

As principais referências para o processo de projeto de produto, com apresentação dos métodos e técnicas de apoio focam-se no projeto de sistemas mecânicos. Entre elas destacam [15;16; 17].

Por meio da revisão da literatura foram encontrados três abordagens para condução do processo de projeto de produtos mecatrônicos: o modelo em V; Modelo de 3 ciclos e o modelo Hierárquico.

O modelo V é uma proposta da norma alemã VDI – 2206 (Ver Figura 1), particularizada ao Projeto para Sistemas Mecatrônicos [18].

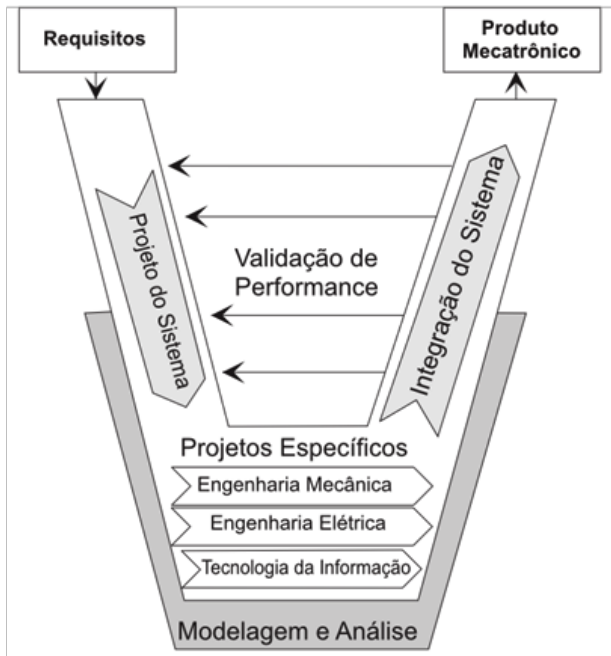


Figura1 - Modelo em V. Fonte: tradução nossa [18]

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 iterativo [18, 19].

[20] apresentam o modelo de 3 Ciclos, os autores argumentam que para gerenciar a complexidade do projeto do produto mecatrônico é necessário uma abordagem integrada entre as fases de projeto.

O Modelo de 3- ciclos (ver Figura 2) 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.

Neste Modelo de 3- ciclos o Projeto Conceitual integrado detalhado do sistema do produto e da produção consiste em: 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.

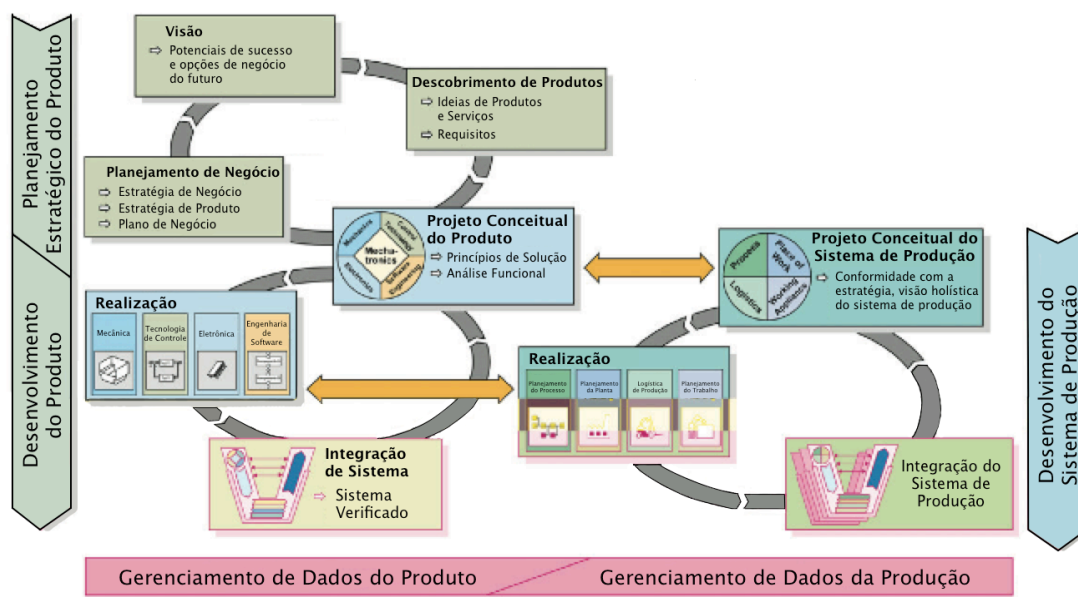


Figura 2 - Modelo de 3 CICLOS. Fonte: tradução nossa [20].

Para esse efeito, o sistema é modular e são desenvolvidos princípios de solução para um dos módulos. O resultado é o princípio de solução ao nível de módulo:

a) 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;

b) 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 [20].

[18] apresentam o modelo hierárquico. Segundo os autores uma das questões-chave no desenvolvimento dos sistemas mecatrônicos é a integração rigorosa da mecânica, controle,

elétrica, eletrônicos e aspectos de software desde o início da fase de concepção.

O modelo de projeto hierárquico para sistemas mecatrônicos refere-se principalmente à 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.

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.

Com base na revisão da literatura sobre o emprego de métodos e técnicas de apoio ao processo de projeto de produtos mecatrônicos, foi elaborado um roteiro para o projeto do Biosensor, ilustrada na tabela 1.

ESPECIFICAÇÕES DE PRODUTO MECATRÔNICO ATRAVÉS DA INCLUSÃO DOS *STAKEHOLDERS* NO CICLO DE VIDA.

Segundo [20] 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.

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 de alguma forma pelo projeto do produto, facilitando assim o levantamento das necessidades. Para assim utilizar posteriormente o modelo de 3-ciclos de [20], o qual propõem interação e integração entre a face de clarificação da tarefa e o projeto conceitual a nível de módulo e processo.

Para se realizar o levantamento dos *stackholders* do projeto é necessário uma pesquisa aprofundada sobre o problema e contextualizá-lo, pois assim é possível visualizar todos os atores, desde a cadeia de suprimentos até a equipe de projeto ou fabricante da

maquina. A técnica abordada para realizar o levantamento dos atores e de que forma eles interagem dentro do projeto é utilizando o ciclo de vida do produto, e após realizar esta tarefa classificar seu nível de importância.

Assim 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, onde os principais métodos utilizados para levantamento das necessidades foram: entrevistas, questionários, observações, experiência dos projetistas e informações de trabalhos anteriores relacionados ao problema de projeto. O Anexo A ilustra parte do levantamento das necessidades dos clientes do projeto por meio dos *stakeholders* encontradas ao longo do ciclo de vida.

Este é um passo fundamental para obter as especificações de um produto mecatrônico de um sistema complexo, com a finalidade de construir um protótipo que seja adequado não somente as especificações de produto geradas mais também as restrições que são percebidas no decorrer do processo de interação e integração das faces de um produto mecatrônico.

MODELAGEM CONCEITUAL DO BIOSENSOR DETECTOR DE AFLATOXINA

No projeto de um produto com abordagem de sistema mecatrônico na 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 [18].

Com base na revisão da literatura sobre o emprego de métodos e técnicas de apoio ao processo de projeto de produtos mecatrônicos, foi elaborado um roteiro para o projeto do biossensor, ilustrada na Tabela 1.

INICIO DO PROJETO			
FASE 1	PROJETO INFORMACIONAL	MÉTODOS/TECNICAS E FERRAMENTAS	REFERÊNCIAS
↑	E.1 - Análise do Problema	Entrevistas, grupo foco, base de patentes, storyboards, Fluxogramas, Diagrama de estados, Matrizes de atributos, benchmarking	[16; 17; 21; 22; 23; 24; 25]
	S.1 - Clarificação do Problema		
	E.2 - Levantamento das necessidades dos clien		
	S.2 - Lista de necessidades dos clientes		
	E.3 - Clarificação das necessidades		
	S.3 - Geração das especificações técnicas	Kano, Mudge, Casa da qualidade	
FASE 2	PROJETO CONCEITUAL	MÉTODOS/TECNICAS E FERRAMENTAS	REFERÊNCIAS
↑	E.4 - Estabelecimento das estruturas funcionais	Modelagem funcional, Análise dos requisitos não funcionais	[15; 16; 17; 18; 20; 25; 26; 27; 28; 29; 30]
	S.4 Estruturas Funcionais		
	E.5 - Pesquisa por princípios de solução	Métodos de criatividade; Sinergia, Matriz Morfológica, Diagrama de caso de uso, IDEF, TRIZ	
	S.5 - Lista de princípios de solução		
	E.6 - Geração e seleção de alternativas de proje	Matriz, HP	
	S.6 - Alternativa de projeto selecionado		
	E.7 - Geração dos Sistemas e sub-sistemas (Módulos)	Análise da arquitetura do produto, MIM,	
	S.7 - Módulos, sistemas e subsistemas definidos		
E.8 - Avaliação da concepção	Construção do protótipos, Análise ergonômica, testes de usabilidade, método da análise experimental,		

Tabela 1 : Sistematização do processo de projeto para o desenvolvimento do biosensor.

Para obter as funções de um produto é necessário realizar a modelagem funcional, pois auxilia a descrever o produto em um nível abstrato, possibilitando a obtenção da estrutura do produto sem restringir o espaço de pesquisa específica.

A modelagem funcional permite o produto ser representado por meio das funcionalidades, tanto as realizadas externamente ao produto em sua interação com o ambiente quanto às funções internas realizadas por suas partes. A abstração também pode ser empregada na identificação de restrições fictícias que poderiam limitar o emprego de novas tecnologias, matérias, processos de fabricação e mesmo novas descobertas científicas [16].

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 [26].

Assim a partir da análise e abstração dos requisitos de projeto do produto, das especificações metas geradas na fase de projeto

informacional, identifica-se a 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.

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, através de uma técnica que tem como processo padrão a seleção da amostra, limpeza e extração.

A parte fundamental a ser analisada nesta estrutura funcional é que normalmente a transformação é feita a partir de uma matéria-prima, porém em um sistema mecatrônico a transformação da função pode ser feita a partir também de um sinal ou energia.

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, ilustrada na Figura 3, 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. No Anexo B apresenta-se as funções elementares do sistema selecionado.

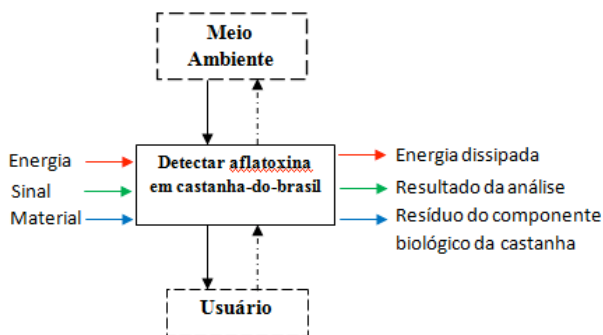


Figura 3: Função global do sistema

Assim 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, logo a matéria-prima (castanha-do-

brasil), como sólido, é eliminado do sistema prontamente, abstraindo somente através das interfaces as informações necessárias (sinal) para o processo em questão.

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.

O Sistema de Transdução indicado na literatura para detecção de aflatoxinas é através de Fibra óptica [31] ou através de Biossensor fluorimétrico de imunoafinidade [32], 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.

A Matriz Indicadora de Módulos (MIM) é utilizada para a indicação de quais funções podem se tornar módulos, Figura 4, 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 [30].

		Fraca Relação (1 ponto)	○	Função 1	Função 2	Função 3	Função 4	Função 5
		Média Relação (3 pontos)	●					
		Forte Relação (5 pontos)	●					
				Funções				
Diretrizes de Modularização	Desenvolvimento de Produtos	Multi-aplicativo (Carry-over)						●
		Evolução Tecnológica			●			
	Variação	Alteração de Projeto				●		
		Especificação Técnica	●	●	●			
		Estilo						
	Fabricação	Unidade Comum						
		Processo e Organização	●					
	Qualidade	Testes em separado	●			●		
	Aquisição	Compra de Produtos Prontos	○			●		
	Após estar no mercado	Manutenção e Manutenibilidade				●	○	
		Atualização					●	
		Reciclgem						
		Σ		2	3	3	1	1
		Classificação		3	3	3	2	2

Integrar num mesmo módulo?

Possíveis módulos

Figura 4: Matriz Indicadora de Módulos

A matriz MIM no projeto de modelagem do biossensor foi utilizada para indicar o agrupamento das funções de aspecto eletrônicos, químicos, eletroquímico e físicos, para assim facilitar a visão do agrupamentos das funções/componentes dentro de um circuito de uma placa.

Desta forma, por exemplo, 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 5.

O esquema geral de um sistema fotoelétrico é à base de um equipamento que mede 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 [33].

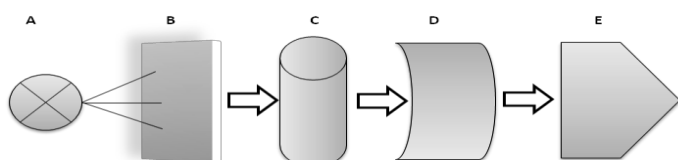


Figura 5: Esquema geral de descrição de um sistema fotoelétrico: A – Fonte luminosa; B – Meio para separar os comprimentos de onda; C – Cubetas, tubos ou celas de amostra; D – Detector de energia radiante e E – Medidor. Fonte: Adaptado de [33].

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), onde indica que o tipo de comparador a ser utilizado no Biossensor a ser desenvolvido é de fibra óptica, então o conceito de um instrumento que medi quantidade de energia radiante emitida ou absorvida ultravioleta.

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 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.

A Figura 6 ilustra a concepção desenvolvida.

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

Tabela 2: Características físico-químicas das principais aflatoxinas.

Nota: *Sob luz ultravioleta. Fonte: [34]

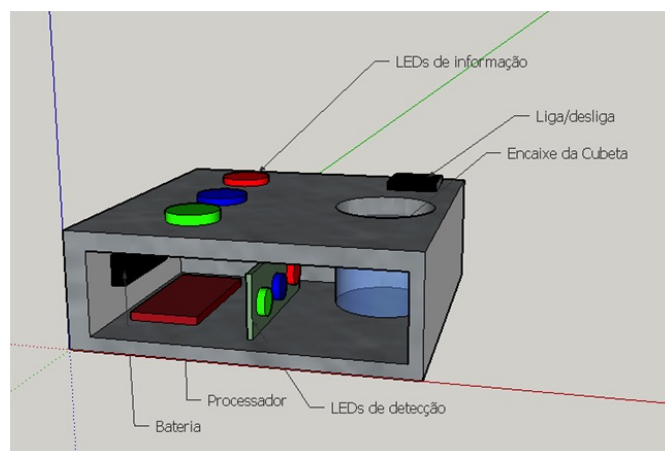


Figura 6: Concepção do biossensor

COSIDERAÇÕES FINAIS

O roteiro desenvolvido serviu de base para o desenvolvimento das fases de projeto informacional e projeto conceitual do biossensor para identificação de aflatoxina.

Na fase de projeto informacional, na atividade da análise detalhada do problema, além dos métodos e ferramentas sugeridos no roteiro, foi identificada a necessidade de mapeamento da

cadeia produtiva da castanha-do-brasil, para identificar os *stakeholders* indiretos do projeto do produto. O mapeamento da cadeia produtiva auxiliou na identificação de restrições e normas impostas para produtos alimentícios, ou seja, na obtenção de informações relevantes para o problema de projeto.

Na fase de projeto conceitual a modelagem funcional baseada somente no mapeamento de energia, material e sinal não é suficiente para modelar as funções do produto, foi necessário também a modelagem dos estados dos sistemas e do seu fluxo de informação.

Percebeu-se também a necessidade de um estudo mais aprofundado das ferramentas de definição da arquitetura do sistema. Geralmente os métodos sugeridos na literatura não apresentam as relações entre as interfaces, por exemplo, entre os sistemas mecânico e eletrônico. Alguns métodos como a matriz de indicadores de módulos se mostraram inadequados. Embora o protótipo não tenha sido fabricado até o momento, alguns testes funcionais iniciais, mostraram-se bastante promissores.

Durante a execução desta pesquisa percebeu-se uma carência na literatura na indicação de métodos e técnicas de apoio ao processo de projeto de produtos mecatrônicos, que promova a integração entre os subsistemas.

Detectou-se uma maior facilidade, uma tendência natural pelo emprego, do modelo hierárquico apresentado por Hehenberger et al. (2010).

REFERÊNCIAS

- [1] WADT, L. H. O., et al, 2005, "Manejo da castanheira (*Bertholletia excelsa*) para a produção de castanha-do brasil". Rio Branco: Secretaria de Extrativismo e Produção Familiar. 42p. Seprof documento técnico, 3.
- [2] FAO, Codex committee on contaminants in food, 2008, "Discussion paper on aflatoxin contamination in brazil nuts second session". Agenda item 11 e Netherlands.
- [3] SESSP - CVA, 2003, "Manual das doenças emitidas por alimentos: aflatoxinas e outras micotoxinas" Informe- Net DTA. Disponível em: <<http://www.cve.saude.sp.gov.br/htm/hidrica/Aflatoxinas.htm>>. Acesso em: 29 de Maio de 2012.
- [4] EATON, D.L., and GROOPMAN, J. D., 1994. "The Toxicology of Aflatoxins". Academic Press: New York, 521–523..
- [5] DEGANI, A.L.G., CASS, Q.B., VIERA, P.C., 1998, "Cromatografia: um breve ensaio". Química Nova Vida.
- [6] AMARAL, K. A. S., MACHINSKI JR., M., 2006, "Métodos analíticos para a determinação de aflatoxinas em milho e seus derivados: uma revisão". Revista Analytica, São Paulo, agosto/setembro, 24, 60-62,
- [7] LEITE, F. M. N., 2008, "Fungos aflatoxigênicos na castanha-do-brasil sob as condições da floresta e de armazenagem comunitária no Acre. Rio Branco", 97p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal Acre.
- [8] THÉVENOT, D. R. et al. , 2001, "Electrochemical Biosensors: Recommended Definitions and Classification". Biosensors & Bioelectronics, 16, 121-131.
- [9] FATIBELLO FILHO, O. and CAPELATO, M. D., 1992, "Biosensores". Química Nova, 15, 1, 28-39.
- [10] HARASHIMA, F.; TOMIZUKA, M.; FUKUDA, T., 1996, "Mechatronics – what is it, why, and how?" IEEE/ASME Trans Mechatron, 1-4,
- [11] SHETTY, D. and KOLK, R. A., 1997, "Mechatronics Systems Design". PWS Publishing Company. Boston, 422.
- [12] VAN BRUSSEL, H. M. J., 1996, Mechatronics – A " Powerful Concurrent Engineering Framework". IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, pp.127-136.
- [13] SMITH, P. R., 1997, "The historical roots of concurrents engineering fundamentals". IEE Transactions on Engineering Management, 44, 1.
- [14] VRIES, T. J. A. and BREUNESSE, A. P. J., 1995, "Structuring product models to facilitate design manipulations" In: International conference on engineering design. Iced '95. Praha, August 22–24.
- [15] PAHL, G. et al, 2005, "Projeto na Engenharia: métodos e aplicações" – 6ª Edição. Editora: Edgard Blucher, , 432.
- [16] ROZENFELD, H. et al., 2006, "Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referencia a

melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, pp. 542.

[17] BACK, N. et al, 2008, "Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem", São Paulo: Manole, pp. 601.

[18] HEHENBERGER, P. et al., 2010, "Hierarchical design models in the mechatronic product development process of synchronous machines". *Mechatronics*, 20, pp. 864-875.

[19] VASIĆ, V. S. and LAZAREVIĆ, M.P. 2008, "Standard Industrial Guideline for Mechatronic Product Design". *FME Transactions. Faculty of Mechanical Engineering, Belgrade*, 36, p.103-108,

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

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

[22] BELEI, R. A et al, 2008, "O uso de entrevista, observação e videogravação em pesquisa qualitativa. *Cadernos de educação, FAE/PPGE/UFPEL, Pelotas*, 30, p.187- 199.

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

[24] FONSECA, A. J. H., 2000, "Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional". Florianópolis, pp.199. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica - UFSC) Universidade Federal de Santa Catarina.

[25] JACK, H., 2015 "Projeto, Planejamento e Gestão do Produto", Rio de Janeiro: Campus, pp.536.

[26] OTTO, K. N. and WOOD, K. L., 2001, "Product design - techniques in reverse engineering and new product development". New Jersey: Prentice Hall.

[27] BHISE, V., 2014, "Designing Complex Products with Systems Engineering Process and Techniques", Hardcover.

[28] PUGH, S., 1978 "Total design: integrated methods for successful product engineering". Reading, HA: Addison.

[29] ERICSSON, A. And ERIXON, G., 1999, "Controlling design variants: modular product platforms". Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, pp. 145.

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

[31] MELLO, L. D. and KUBOTA, L. T., 2002, "Review of the use of biosensors as analytical tools in the food and drink industries". *Food Chemistry*, 77, p. 237-256.

[32] VELASCO-GARCÍA, M. and MOTTRAM, T., 2003, "Biosensor technology addressing agricultural problems. Review paper. *Biosystems Engineering*, 84, 1, 12.

[33] CIENFUEGOS, F. and VAITSMAN, D., 2000, "Análise Instrumental", Rio de Janeiro: Editora Interciência.

[34] OPAS, 1983, *Micotoxinas. Critérios de saúde ambiental*, 11. Washington, pp. 131.

ANEXO A
Parte das Necessidades e restrições das partes interessadas (Stakeholders)

Ciclo de Vida	Classificação de Stakeholders	Stakeholders	Necessidades e/ou Restrições	Funcionamento	Ergonomia	Estética	Economicidade	Segurança	Confiabilidade	Legibilidade	Potencialidade Da normalização	Do Impacto Ambiente	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	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	x	ANVISA, 2011
		16. Propriedade Intelectual (inventores)	c) Não ser cópia de nenhum produto já existente								x		INPI
			e) Estar de acordo com as normas técnicas para geração de patentes.									x	
	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		Questionários de
			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	

ANEXO B

Funções Elementares do sistema selecionado

