



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

RITA ANNE ANDRADE BARRETO

**METODOLOGIA DE PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM
EQUIPAMENTO SOB ENCOMENDA: UM ESTUDO DE CASO**

MOSSORÓ

2015

RITA ANNE ANDRADE BARRETO

**METODOLOGIA DE PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM
EQUIPAMENTO SOB ENCOMENDA: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia. Orientador: Prof. Dr. Fabrício José Nobrega Cavalcante - UFERSA

MOSSORÓ

2015

Catálogo na Fonte

Catálogo de Publicação na Fonte. UFERSA - BIBLIOTECA CENTRAL ORLANDO TEIXEIRA - CAMPUS MOSSORÓ

Barreto, Rita Anne Andrade.

Metodologia de projeto para o desenvolvimento de um equipamento
sob encomenda: um estudo de caso / Rita Anne Andrade Barreto. -
Mossoró, 2015.

58f: il.

1. Usinagem. 2. Desenvolvimento de equipamento. 3. Projeto -
Metodologia projeto. I. Título

RN/UFERSA/BOT/822
B273m

CDD 671.35

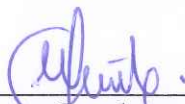
RITA ANNE ANDRADE BARRETO

**METODOLOGIA DE PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM
EQUIPAMENTO SOB ENCOMENDA: UM ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 04 / 12 / 2015.

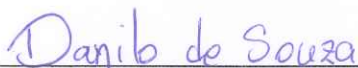
BANCA EXAMINADORA



Fabrício José Nóbrega Cavalcante, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente



Zoroastro Torres Villar, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Danilo de Souza, Prof. Msc. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé e coragem de continuar a luta mesmo diante de todas as dificuldades.

Aos meus pais José Barreto e Joana Darc, por todo o apoio e incentivo a minha formação pessoal e profissional, e por sempre me ajudarem nos momentos mais difíceis e as minhas irmãs Jessica e Isadora por sempre estarem ao meu lado.

Ao professor Fabrício pela orientação e paciência para a realização desse trabalho.

“Tudo tem a sua ocasião própria, e há tempo para tudo debaixo do céu. Há tempo de nascer e tempo de morrer, tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou.”

Ecl. 3-1

RESUMO

Devido o aumento na competitividade dos mercados e ao surgimento de produtos cada vez mais sofisticados e adequados ao desejo de cada cliente, tem-se a necessidade de desenvolver produtos sob encomenda para fins específicos, seguindo o tempo e custo de desenvolvimento, possíveis de serem aplicados. Porém, para alcançar tais resultados, o uso de metodologias de projeto, pode ser fundamental para o desenvolvimento de tais produtos. Muitos autores sugerem metodologias que abordam o processo de projeto para produtos de fabricação seriada, nos diferentes ramos industriais, bem como ferramentas e métodos que podem ser aplicados no andamento e gerenciamento do projeto. No entanto, para esses produtos, as metodologias devem ser adequadas para tal fim. Neste sentido, o estudo vem contribuir para a elaboração de uma metodologia adequada para o desenvolvimento de um equipamento sob encomenda, utilizando conceitos e definições de metodologias já existentes na literatura. Como resultado, foi obtida uma sequência de etapas a serem seguidas, para melhor auxiliar o projetista, e consequentemente obter o produto, satisfazendo os requisitos desejados do cliente. Tais etapas apresentam-se em uma ordem lógica, onde uma etapa depende da anterior, logo, as mesmas devem ser realizadas em sequência, para que o objetivo seja alcançado.

Palavras-chave: Equipamento. Metodologia. Produto. Projeto.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Diferença dos Produtos Industriais x Sob Encomenda	32
Quadro 2 - Recomendações de velocidades de corte para diferentes tipos de madeira	50
Quadro 3 - SPINDLES ELÉTRICOS COM TROCA MANUAL DE FERRAMENTAS SÉRIE TL – Refrigeração Líquida.....	51
Quadro 4 – Força e diâmetro do fuso retificado e roscado	52

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1- Modelo geral de projeto segundo Asimow	20
Imagem 2 - Etapas do processo de projeto segundo Pahl & Beitz	22
Imagem 3 - Ciclo de vida do sistema segundo Fabrick e Blachard.....	23
Imagem 4 - Metodologia segundo Ertas e Jones (1994)	24
Imagem 5 - Etapas do projeto segundo Coryell	26
Imagem 6 - Morfologia da metodologia segundo Clausing (1993).....	27
Imagem 7 - Modelo da atividade do projeto total (1993).....	28
Imagem 8 - Atividades de projeto nas diferentes etapas do desenvolvimento de produto.....	30
Imagem 9 - A Casa da Qualidade	43
Imagem 10 - Perspectiva isométrica do primeiro esboço do Router CNC.....	46
Imagem 11 - Vista frontal do primeiro esboço do Router CNC.....	47
Imagem 12 - Vista lateral do primeiro esboço do Router CNC	47
Imagem 13 - Fusos de esfera.....	48
Imagem 14 - Spindle	48
Imagem 15 - Motor de passo	49
Imagem 16 - Layout inicial do equipamento.....	53
Imagem 17 - Layout final do equipamento	53
Imagem 18 - Vista lateral	54
Imagem 19 - Perspectiva	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MDF – Medium Density Fiberboard (Placa de Fibra de Média Densidade);

HDF – High Density Fiberboard (Painel de Fibras de Alta Densidade)

MDP - Medium Density Particleboard (Painel de Partículas de Baixa Densidade);

OSB – Oriented Strand Board (Painel de Tiras Orientadas);

QFD – Quality Function Deployment (Desdobramento da Função Qualidade);

CNC – Comando Numérico Computadorizado;

CAD – Computer Aided Design (Projeto Assistido por Computador);

CAM – Computer Aided Manufacturing (Manufatura Assistida por Computador);

SSCs – Sistemas, Subsistemas e Componentes;

RPM – Rotações por Minuto;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1. OBJETIVO GERAL.....	16
2.1. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	16
3. JUSTIFICATIVA	17
4. REFERENCIAL TEÓRICO	18
4.1. METODOLOGIA DE PROJETO	18
4.1.1. Metodologia de Projeto segundo Asimow	19
4.1.2. Metodologia de Projeto segundo Pahl & Beitz	21
4.1.3. Metodologia de Projeto segundo Fabrick & Blanchard	23
4.1.4. Metodologia de Projeto segundo Ertas e Jones.....	24
4.1.5. Metodologia de Projeto segundo Coryell.....	25
4.1.6. Metodologia de Projeto segundo Clausing	26
4.1.7. Metodologia de Projeto segundo Pugh	27
4.1.8. Metodologia de projeto segundo Baxter.....	28
4.2. PRINCIPAIS ASPECTOS	30
4.3 ROUTER CNC.....	31
5. METODOLOGIA DE PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO SOB ENCOMENDA.....	32
5.1. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS / NECESSIDADES.....	33
5.1.1. Identificação das necessidades.....	34
5.1.2. Definição dos requisitos gerais	34
5.1.3. Elaboração das especificações de projeto	34
5.2. PLANEJAMENTO.....	35
5.3. PROJETO CONCEITUAL	36
5.3.1. Compreensão aprofundada	36
5.3.2. Elaboração de alternativas	37
5.3.3. Verificação.....	38
5.5. PROJETO PRELIMINAR.....	38
5.6. PROJETO DETALHADO	39
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
6.1. IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES / PROBLEMAS.....	41
6.2. PLANEJAMENTO.....	44

6.3. PROJETO CONCEITUAL	45
6.4. PROJETO PRELIMINAR.....	49
7. CONCLUSÃO.....	55

1. INTRODUÇÃO

O mercado torna os produtos cada vez mais complexos e sofisticados, devido às suas diversas transformações e exigências e, conseqüentemente, a sobrevivência de algumas organizações torna-se fortemente influenciada pela capacidade de transformar informações e conhecimentos em produtos e serviços competitivos, que satisfaçam os requisitos gerais como qualidade, custo e tempo de desenvolvimento, exigindo do projetista, conhecimento mais específico.

Logo, a elevada concorrência, a complexidade e o número de informações a qual, estão ligados os produtos, fazem surgir à necessidade da sistematização de metodologias que auxiliam o processo de desenvolvimento de produtos, cuja finalidade é obter produtos onde a qualidade é máxima, os custos são mínimos e o tempo seja reduzido. A aplicação de metodologias e técnicas modernas tem levado a otimização do processo, reduzindo as modificações e aumentando a qualidade final, além da confiabilidade dos produtos.

O desenvolvimento de produtos compreende uma série de atividades que auxiliam projetistas em suas tarefas. De acordo com Machado (1997), o projeto de produto é um processo de criação, invenção e definição que deve ser integrado aos meios de produção e capaz de múltiplas reproduções por meios mecânicos e, por isso, está diretamente ligado ao desenvolvimento da industrialização.

Com isso, alguns autores sugeriram metodologias que abordam o processo de projeto para os diferentes ramos industriais, bem como ferramentas e métodos que podem ser aplicados no andamento do projeto. O uso de metodologias que integram os diferentes aspectos do projeto é uma maneira pela qual torna o processo lógico e compreensível. Do qual, sua utilização proporciona alguns benefícios, tais como a redução do tempo, o auxílio na formalização do processo e na produção de soluções bem definidas e precisas, facilitando a implementação computacional, organizacional e o ordenamento das atividades, entre outras.

Logo, metodologia estuda os métodos para solucionar problemas teóricos e práticos, estabelecendo uma orientação básica que dá uma ideia geral do que deve ser feito no início do projeto, os caminhos a serem seguidos e a que resultados devem-se chegar. Algumas metodologias foram desenvolvidas no sentido de auxiliar na organização das várias etapas a serem cumpridas no projeto global. Back (1983) afirma que, o projeto de engenharia é uma atividade orientada para o entendimento das necessidades humanas, principalmente daquelas que podem ser satisfeitas por fatores tecnológicos de nossa cultura.

Surge então à necessidade da criação de uma metodologia para o desenvolvimento de um equipamento sob encomenda, onde as etapas são realizadas de acordo com as necessidades do cliente e do objetivo do equipamento a ser desenvolvido. Podem ser facilmente planejadas com cronogramas de desenvolvimento, onde cada resultado de conclusão das fases pode ser previsto para ser concluído numa data específica, permitindo um controle mais rigoroso do andamento do projeto.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Especificar uma metodologia de projeto para o desenvolvimento de um equipamento sob encomenda com base em metodologias já existentes, para apoiar o projetista auxiliando na organização das várias etapas a serem cumpridas no projeto global, fazendo com que o mesmo seja organizado e atenda as expectativas do cliente.

2.1. OBJETIVO ESPECÍFICO

Aplicar os conhecimentos da metodologia de projeto para o desenvolvimento de uma router CNC, em atendimento as necessidades e requisitos do projeto;

Dimensionar os componentes de acordo o objetivo do equipamento.

3. JUSTIFICATIVA

A metodologia é um instrumento de trabalho, do qual sua aplicação resulta automaticamente em um bom projeto de produto. Logo, quanto mais objetiva for à metodologia, maior a facilidade de se chegar a um resultado. Cada modelo de processo de projeto consiste de uma sequência de estágios, que vão desde a percepção da necessidade até uma descrição final da configuração do projeto, dos quais possuem pontos em comum, porém as definições são abordadas de forma diferente. Assim este trabalho tem por finalidade a criação de uma metodologia de projeto para que possa ser utilizada no desenvolvimento de um equipamento específico, tornado um processo mais simples e fácil de atingir o objetivo final e em seguida aplicá-la ao desenvolvimento de um equipamento.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1. METODOLOGIA DE PROJETO

Projeto é um processo inovador, altamente repetitivo e de tomada de decisão, que inclui realizar um plano de atividades que resulta na criação de algo funcional, seguro, confiável, competitivo e próprio para ser usado, fabricado e comercializado. Além disso, projetar é uma atividade em constante progresso, visto que está sujeito a inúmeros ajustes e adaptações com o decorrer de seu desenvolvimento e com as informações obtidas durante a análise do problema a ser corrigido (BUDYNAS e NISBETT, 2011).

Devido às necessidades do mercado por produtos novos, projetar torna-se mais interessante quando se deseja produtos de qualidade, em menor tempo e um processo de produção mais otimizado. Várias estruturas do processo de projeto têm sido propostas e melhoradas servindo de ferramenta básica aos projetistas para que estes possam vencer os desafios surgidos com as necessidades da sociedade.

O desenvolvimento de novos produtos procura solucionar problemas e satisfazer as necessidades do mercado, do qual é preciso um amplo conhecimento, ideias e talentos para determinar as características técnicas e econômicas do produto perante o fabricante e o usuário. Porém, a criação de novos produtos apresenta uma elevada probabilidade de insucesso, onde técnicas que permitem reduzir o tempo de desenvolvimento de projeto, com maior eficiência e que sejam sistematizadas são altamente indicadas, para melhorias de produtos e serviços.

Logo, projetar não é uma tarefa simples, pois requer capacidade, conhecimento, método, entre outros, que conferem importância ao projeto. Considerando tais fatores, para projetar de maneira organizada, armazenando e disponibilizando informações, garantindo a eficiência do projeto se faz necessário o uso de metodologia de projeto, do qual visa desenvolver e ordenar o conhecimento sobre as atividades de projeto.

Existem várias metodologias propostas por autores que desenvolvem seus trabalhos de forma paralela, surgindo assim soluções muito próximas, porém algumas diferem apenas em aspectos morfológicos. Muitas definições podem ser encontradas para o termo, mas, de maneira geral, metodologia de projeto consiste no conhecimento organizado, configurado de tal maneira a suportar as atividades dos engenheiros e projetistas, orientando-os sobre

determinados caminhos, na busca de melhores soluções para os problemas de projeto (AREND, 2003).

Segundo Pereira (2004), metodologia de projeto se destina a fornecer ao projetista um raciocínio lógico no processamento de um projeto, capaz de identificar o problema de projeto, conduzindo as ações para que se encontre uma solução adequada a este problema. Para tanto, utilizam-se de todos os meios práticos disponíveis para viabilizar o projeto da melhor maneira possível e explorar melhor todas as informações disponíveis neste desenvolvimento.

Cada modelo de processo de projeto consiste de uma sequência de etapas, que vão desde a percepção da necessidade até uma descrição final da configuração de projeto. A seguir serão apresentadas, metodologias desenvolvidas por alguns autores, que em seguida serão utilizadas como ferramenta para o desenvolvimento de uma nova metodologia.

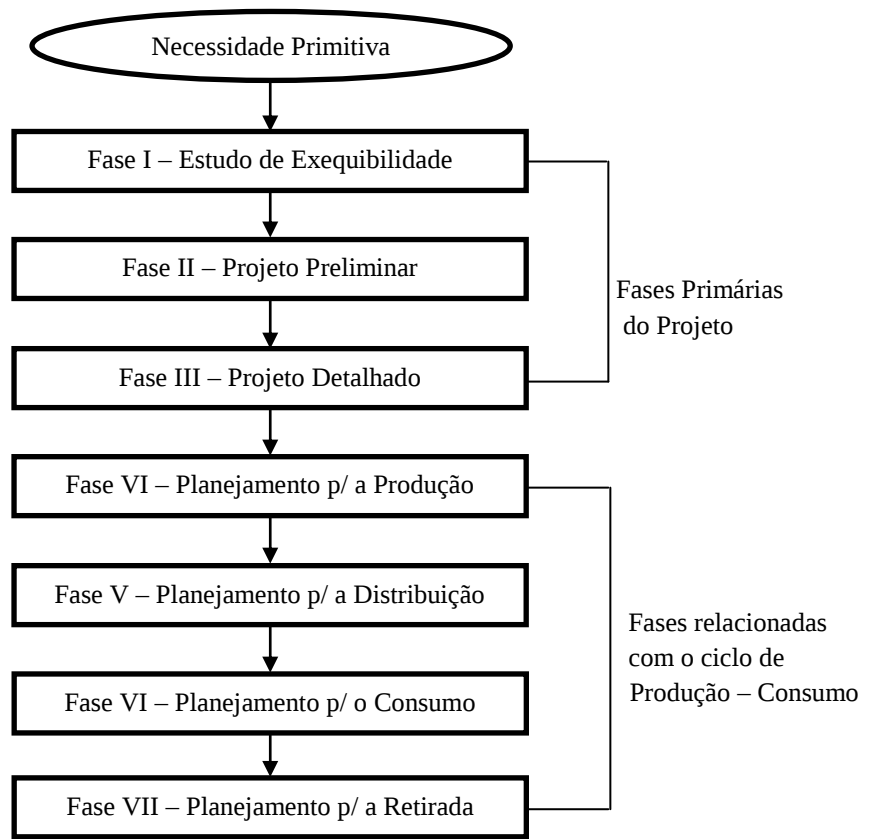
4.1.1. Metodologia de Projeto segundo Asimow

A metodologia proposta por Asimow (1968) procura determinar de forma extensiva e encadeada todos os passos de desenvolvimento de produtos, focando mais os aspectos procedurais da atividade de projeto, do que o próprio objeto de projeto. Irá se desenvolver através de uma sequência de eventos, que forma um modelo comum a todos os projetos, sendo possível a aplicação a qualquer área da tecnologia. Dentro do modelo proposto pelo autor uma nova fase não começará antes que a anterior esteja completa, mas esta determinação pode ser modificada para alguns casos, como pode ser observado na Imagem 1.

O modelo é dividido em dois grupos principais: Fases primárias do projeto (Fases I, II e III) e Fases relacionadas ao ciclo produção-consumo (Fases IV, V, VI e VII). O primeiro grupo está relacionado as atividades para desenvolvimento da concepção do projeto, enquanto o segundo grupo engloba as atividades para desenvolvimento da concepção do projeto e as atividades ligadas ao desenvolvimento da produção e serviços de apoio (MACHADO, 1997).

Fase I – Estudo da viabilidade: procura-se definir um conjunto de soluções viáveis para o problema em estudo, do qual propõe uma série de passos que resultará em um produto bem determinado e com possibilidades de fabricação.

Imagem 1- Modelo geral de projeto segundo Asimow



Fonte: (OGLIARI, 2007).

Fase II – Projeto Preliminar: deseja-se identificar qual das alternativas determinadas na fase I seria a melhor concepção para o produto. Entre os passos desta fase tem-se a seleção da concepção para o projeto, as projeções futuras e a verificação final da concepção do projeto.

Fase III – Projeto Detalhado: busca-se obter as descrições de engenharia de um projeto viável e verificado. A concepção escolhida no projeto preliminar será apresentada e então detalhada, caso seja um bom produto.

No final destas fases do projeto obtém-se o produto final testado e aprovado que pode ser reproduzido para atender as necessidades para o qual foi concebido. As fases de IV a VII compõem as partes da metodologia ligadas ao desenvolvimento da produção (BACK e FORCELLINI, 2002).

4.1.2. Metodologia de Projeto segundo Pahl & Beitz

Considerada uma abordagem clássica na área de projeto de produtos industriais, tem sido usada como base para várias pesquisas. Esta metodologia enfoca além dos aspectos procedurais da atividade de projeto dos projetistas, aspectos relacionados à percepção e modelagem do problema de projeto. (BACK e FORCELLINI, 2002).

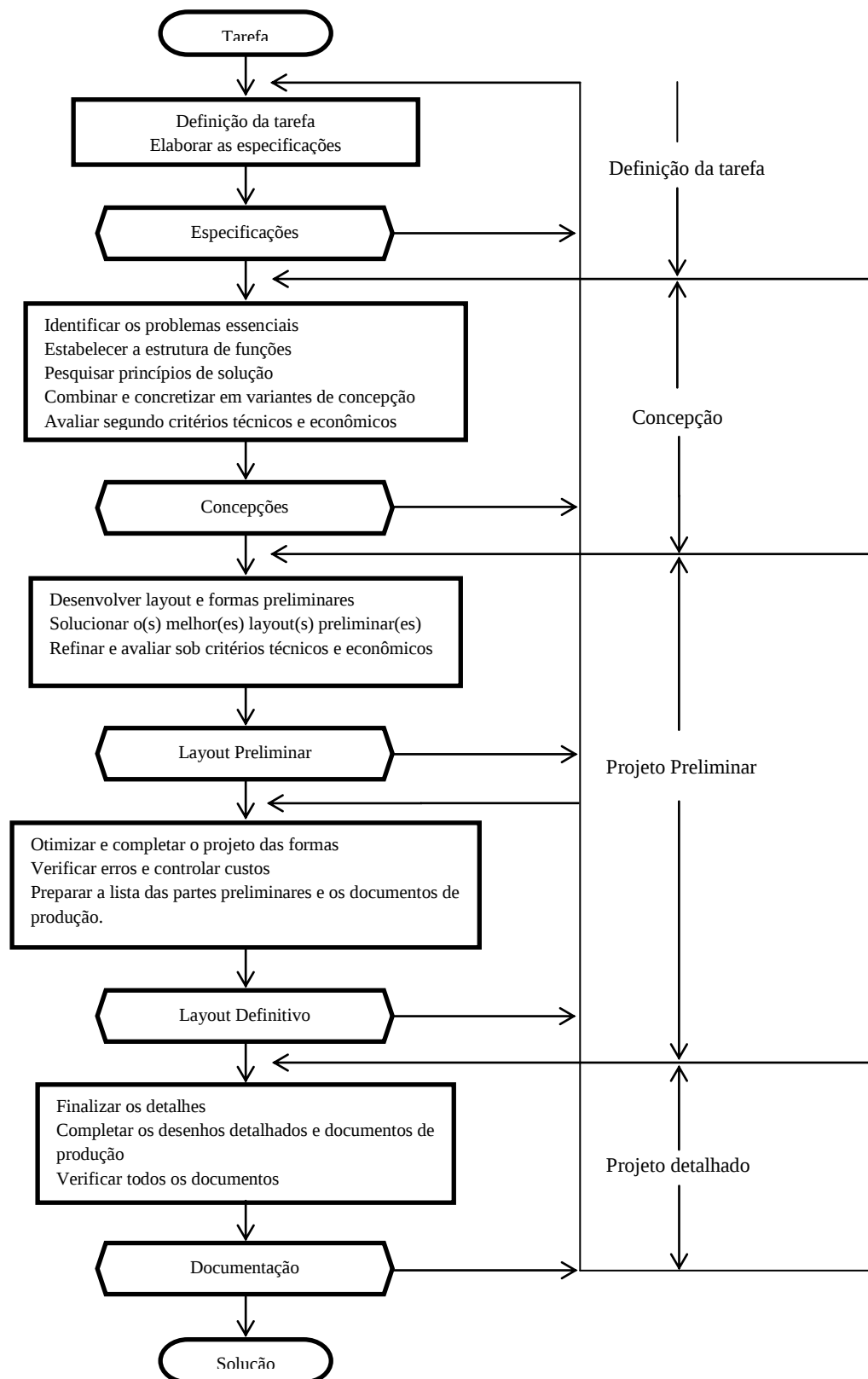
Para alcançar a solução do problema a metodologia utiliza o método de composição funcional. O processo é dividido segundo uma hierarquia buscando atingir o nível mais simples possível, onde a realização de todas as tarefas resultará na execução do produto. Divide-se em quatro fases principais: a definição da tarefa, o projeto conceitual, o projeto preliminar e o projeto detalhado. A Imagem 2 apresenta a morfologia da metodologia estabelecida por esses autores.

Na etapa de definição de tarefa é onde se estuda o problema e busca-se a elaboração da lista de requisitos, onde o departamento de projeto deverá esclarecer o problema apresentado. Tendo como ideia básica, fixar a função requerida, as grandezas de entrada e saída e as perturbações externas ao problema.

Na elaboração da lista de requisitos deve-se distinguir entre aqueles obrigatórios e os desejáveis. Os obrigatórios devem ser atendidos sob quaisquer circunstâncias. Os desejáveis devem ser atendidos em função de critérios econômicos (BACK e FORCELLINI, 2002).

O projeto conceitual, tem o objetivo de estabelecer as relações funcionais dos componentes e apresentar estruturas físicas ou concepções de projeto para a solução do problema. Logo, as especificações de projeto, definidas na fase anterior, são fundamentais (MILTON, 2004).

Imagem 2 - Etapas do processo de projeto segundo Pahl & Beitz



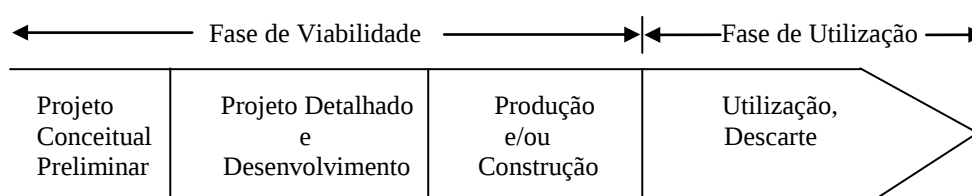
Fonte: Adaptado (MACHADO, 1997).

4.1.3. Metodologia de Projeto segundo Fabrick & Blanchard

Para estes autores, o projeto é colocado como uma função no ciclo de vida de um sistema que começa com a identificação inicial da necessidade e desenvolve-se através do planejamento, pesquisa, projeto, produção, avaliação, uso do consumidor, suporte logístico e descarte (DUFUOR, 1996). A função de projeto do sistema segue de um conjunto de requisitos e evolui através do projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado.

A Imagem 3 apresenta de forma simplificada o ciclo de vida adotado na metodologia proposta pelos autores, este é classificado em duas fases básicas: fase de viabilidade e fase de utilização.

Imagem 3 - Ciclo de vida do sistema segundo Fabrick e Blachard



Fonte: Adaptado (MACHADO, 1997).

No projeto conceitual o projetista procura aplicar seus conhecimentos em sistemas de engenharia expondo detalhes funcionais e requisitos de projeto, levando também em consideração fatores operacionais, econômicos e logísticos. Nessa fase são realizados os primeiros estudos de viabilidade e necessidades do projeto.

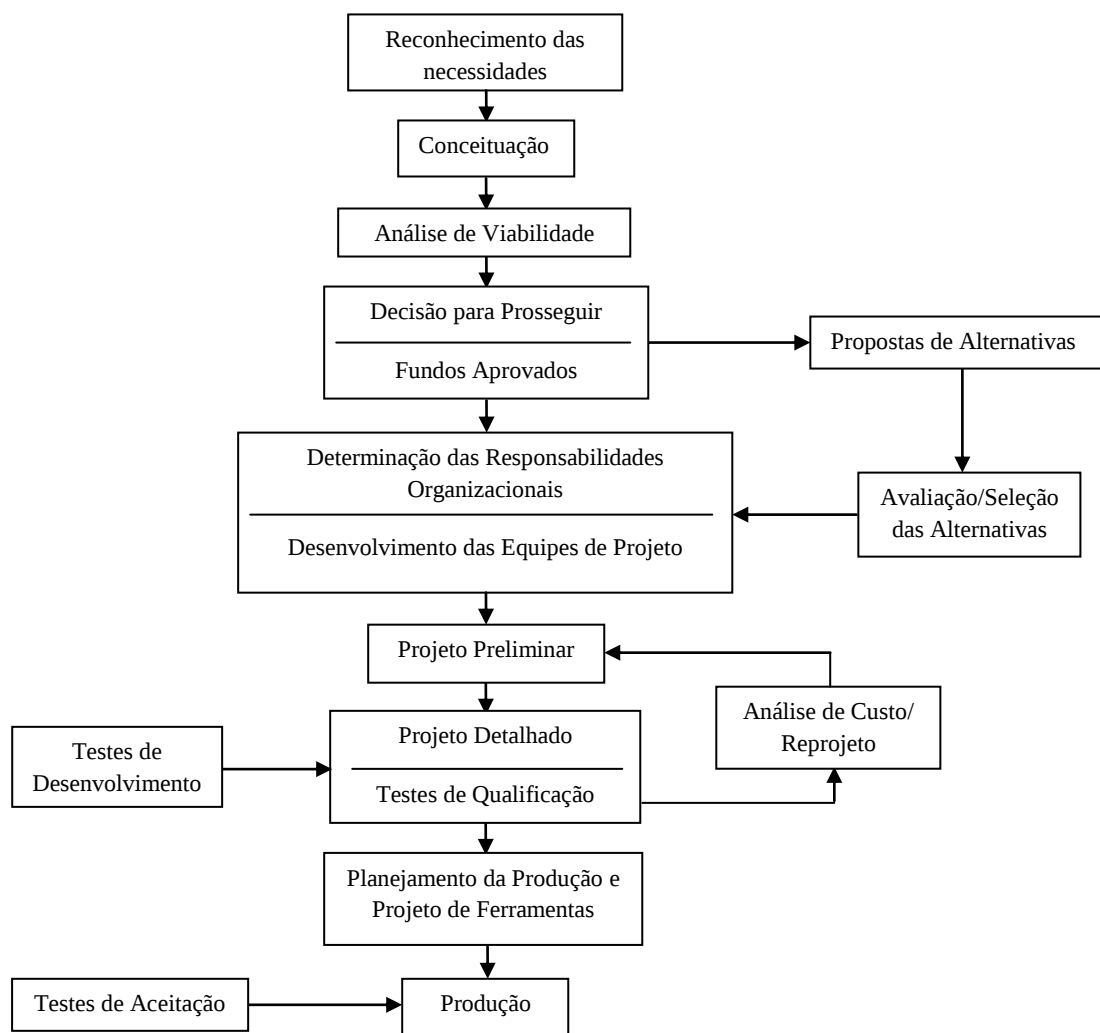
A próxima etapa enfatiza a análise funcional do sistema, fazendo uma síntese preliminar e alocação de requisitos, realização de estudos de otimização e compromisso, síntese e revisão do projeto, avaliação para função e desempenho e avaliação de custo.

O projeto detalhado inicia com uma configuração derivada de atividades do projeto preliminar. Com isso, se faz uma descrição dos subsistemas, preparação da documentação do projeto, definição e desenvolvimento de software, desenvolvimento de modelos, testes e avaliação do modelo, reprojeção e reteste do modelo quando necessário.

4.1.4. Metodologia de Projeto segundo Ertas e Jones

A metodologia proposta por esses autores é composta pelo reconhecimento das necessidades, conceituação e criatividade, determinação de viabilidade, estabelecimento dos objetivos e critérios, síntese e análise no processo de projeto, indicação das responsabilidades, projeto preliminar, projeto detalhado, planejamento da produção e projeto das ferramentas e produção (MACHADO, 1997).

Imagem 4 - Metodologia segundo Ertas e Jones (1994)



Fonte: Adaptado (MACHADO, 1997).

4.1.5. Metodologia de Projeto segundo Coryell

O autor apresenta uma sistemática de projeto composta de doze etapas, do qual se inicia com a revisão dos requisitos, onde entender as necessidades funcionais e sua importância é essencial para o prosseguimento do projeto. Em sequência, a fase de criatividade deve ser solucionada, onde algumas técnicas são utilizadas para suportá-la (BACK e FORCELLINI, 2002).

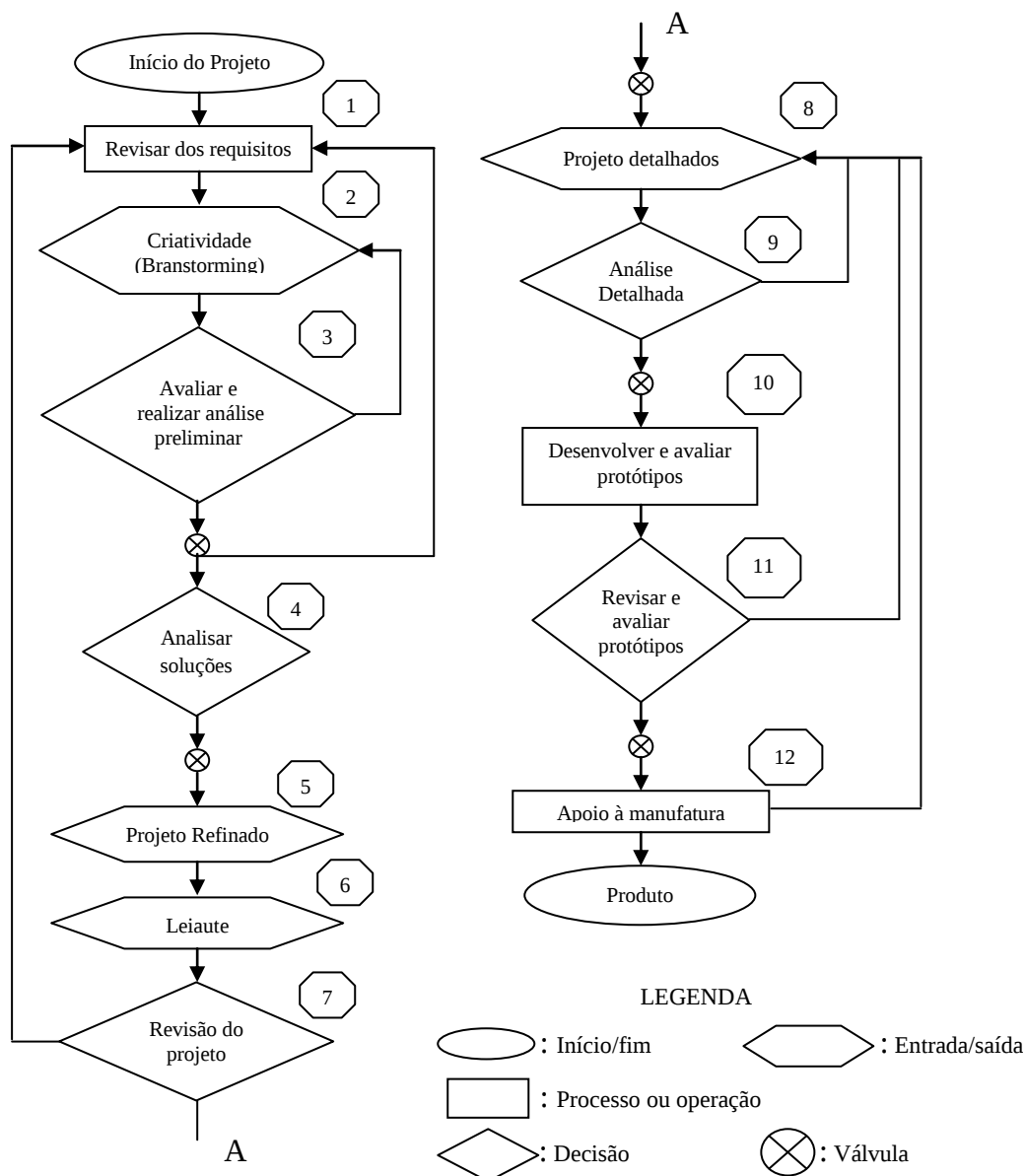
Segundo Ogliari (2007), na etapa de avaliar e efetuar a análise preliminar o custo em relação aos concorrentes e o avanço tecnológico são importantes. Nesse processo de revisão é possível eliminar funções desnecessárias e melhorar os aspectos de cada solução.

Na quarta etapa é realizada uma análise das ideias e resultados das etapas anteriores numa base de função vs. custos, chamada de análise de soluções. Na etapa de refinar o projeto, o projetista deve dar forma à coleção funcional das partes, reduzir o número de partes, padronizar, estabelecer fixações e efetuar esquemas para registros temporários das soluções, (BACK e FORCELLINI, 2002).

A fase de leiaute da solução é o resultado da fase de concepção do produto e o início da sequência do desenvolvimento físico do produto. A fase de revisão do projeto é necessária para a sua aprovação. Uma vez aceito o leiaute de projeto e a ideia, os desenhos detalhados são preparados, devem ser claros, concisos e mostrar todas as informações necessárias.

Na etapa de análise detalhada é onde se verifica o projeto e obtêm-se dados pertinentes. Em seguida inicia-se o desenvolvimento de modelos e protótipos, que dependendo da quantidade de produtos a ser produzida, dos custos e da complexidade, faz-se necessário teste final. Efetua-se então a revisão e avaliação do protótipo e finalmente o suporte a fabricação, constitui o acompanhamento da solução proposta pelo projetista, durante o processo de fabricação para decidir sobre quaisquer alterações que se façam necessárias (BACK e FORCELLINI, 2002).

Imagem 5 - Etapas do projeto segundo Coryell



Fonte: (BACK e FORCELLINI, 2002).

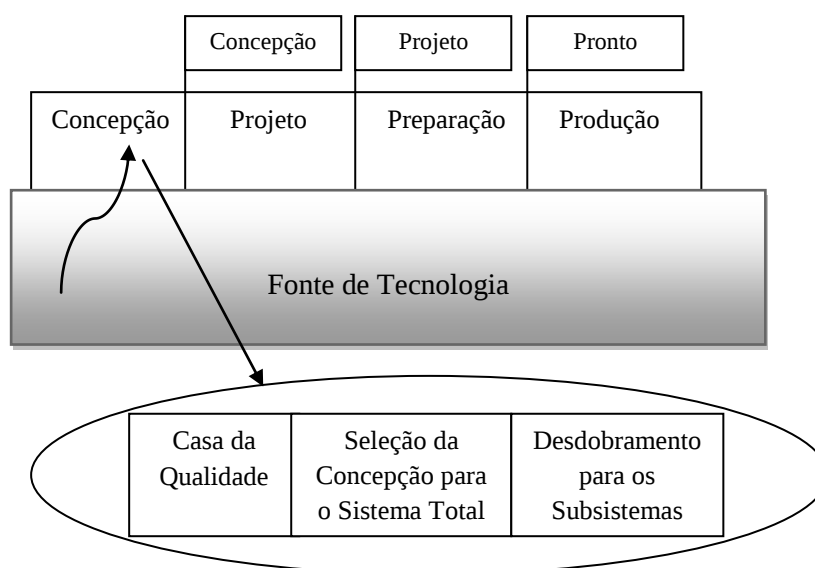
4.1.6. Metodologia de Projeto segundo Clausing

Clausing (1993) desenvolveu uma metodologia voltada para a engenharia simultânea e desenvolvimento em equipes. Esta metodologia é apresentada como solução para problemas tradicionais no ambiente de projeto. As principais fases presentes nessa metodologia são concepção, projeto e preparação. Concepção é a fase inicial e divide-se em três etapas: casa da qualidade, seleção da concepção do sistema total, desdobramento para as especificações dos

subsistemas. Nesta fase, novos processos, técnicas, materiais são estudados para sua utilização no desenvolvimento do projeto.

De acordo com Machado (1997), na fase de projeto a concepção é detalhada e avaliada segundo critérios estabelecidos na fase anterior, tendo como resultado um projeto detalhado. Na fase de preparação é realizada a preparação para a produção, do qual ao final tem-se um produto pronto para entrar em produção.

Imagem 6 - Morfologia da metodologia segundo Clausing (1993)



Fonte: Adaptado (MACHADO, 1997).

4.1.7. Metodologia de Projeto segundo Pugh

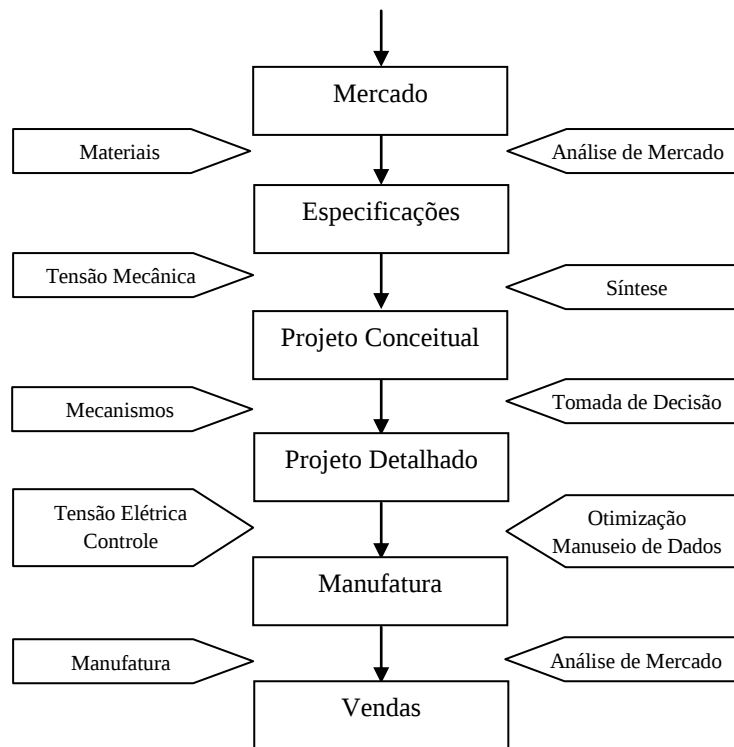
De acordo com Pugh (2002), o projeto começa e termina no mercado. As fases centrais, investigação de mercado, especificação do projeto do produto, projeto conceitual, projeto detalhado, manufatura e vendas são considerados universais e comuns para todo tipo de projeto (MELLO, 2011).

Segundo Back e Forcellini (2002), para que o projeto possa ser desenvolvido de forma eficiente torna-se necessário a utilização de técnicas que habilitam o projetista ou grupo de projeto para operar as atividades do núcleo. Estas técnicas podem ser de análise, síntese, tomada de decisão, modelagem, entre outras aplicáveis a qualquer produto ou tecnologia.

O processo de desenvolvimento de projeto mostra uma flexibilidade, pois o fluxo principal do projeto e a possibilidade que as atividades das etapas podem interagir, garantem o sucesso do produto. Na Imagem 7, o projeto não estabelece um sistema rígido e inalterável em

relação ao seu desenvolvimento, existindo a troca de informações constantes durante todo o processo.

Imagem 7 - Modelo da atividade do projeto total (1993)



Fonte: (BACK e FORCELLINI, 2002).

4.1.8. Metodologia de projeto segundo Baxter

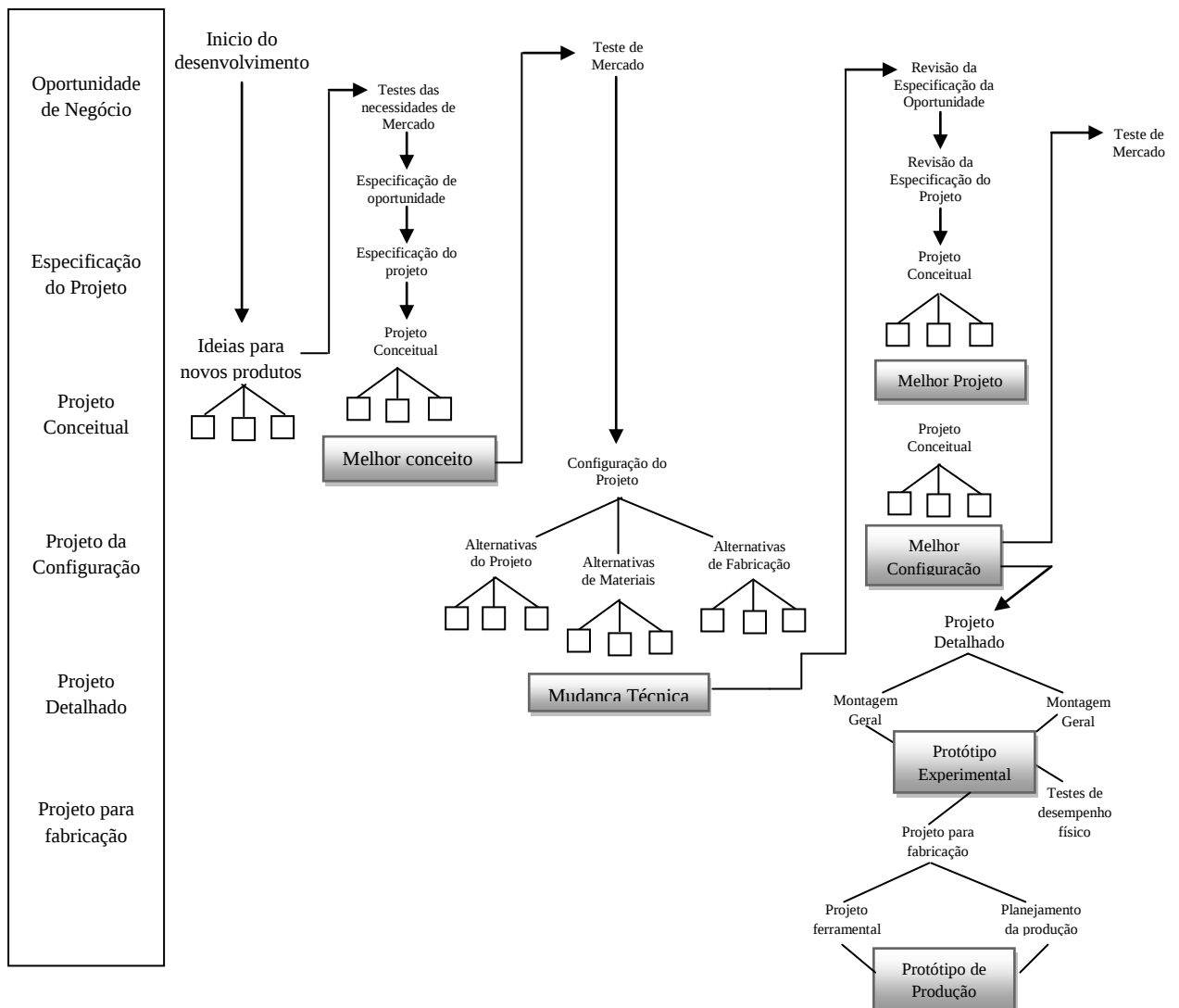
O autor destaca a importância de um planejamento e especificação antes de se realizar o projeto e o desenvolvimento do produto, pois os que são submetidos a cuidadosos estudos de viabilidade técnica e econômica antes do desenvolvimento, possuem mais chances de sucesso em relação aqueles sem estudo de viabilidade, do qual deve conter a disponibilidade de materiais, componentes, processos produtivos e mão de obra qualificada, enquanto a viabilidade econômica refere-se às necessidades de investimentos, custos e retorno de capital.

Destaca também a importância das atividades durante o projeto e o desenvolvimento de produtos, nas quais as decisões nessa fase envolvem menores riscos e incertezas, que vão se reduzindo, à medida que se tomam decisões sobre a oportunidade específica para o desenvolvimento de novo produto, projeto conceitual, a configuração do produto e o projeto detalhado.

O autor classifica as atividades durante o projeto em quatro etapas, como ilustrado na Imagem 8, a primeira etapa inicia-se com a exploração de algumas ideias para um teste de mercado, a segunda inclui a especificação da oportunidade, especificação do projeto e volta-se, então para o projeto conceitual, para selecionar o melhor conceito. Na terceira etapa, o conceito selecionado é submetido a um segundo teste de mercado, se for satisfatório, deverão ser iniciadas as atividades de configuração do produto, se não, mudanças podem ocorrer no projeto e se necessário retroceder a especificação de oportunidade. Retoma-se então à configuração do produto, e assim selecionar a que melhor está de acordo com as especificações do projeto e ir para o terceiro teste de mercado (CASTRO, 2014).

Na quarta etapa é feito os desenhos detalhados do produto e seus componentes, desenhos para fabricação e construção do protótipo. Depois da aprovação do protótipo finaliza-se o processo de desenvolvimento do produto.

Imagem 8 - Atividades de projeto nas diferentes etapas do desenvolvimento de produto



Fonte: MIKE BAXTER (2000).

4.2. PRINCIPAIS ASPECTOS

As ideias básicas apresentadas mostram alguns fatores que levam a adoção de procedimentos sistemáticos para o processo de projeto, do qual evidencia as vantagens do uso de metodologias de projeto. A divisão das tarefas não reduz a complexidade das atividades, porém, estabelece uma orientação básica que dá uma ideia geral do que deve ser feito no início do projeto, que caminhos devem ser seguidos e a que resultados devem-se chegar, afirmam (BACK e FORCELLINI, 2002).

As diferentes abordagens quanto às metodologias de projeto, faz com que não exista um modelo geral que possa ser adequada à solução de todo tipo de problema. Os modelos

apresentados possuem um processo de projeto com atividades com objetivos específicos que, ao serem executados, obtém-se uma solução para o problema inicial. Alguns aspectos importantes podem ser observados, como a forma como os processos são estruturados em duas dimensões. A dimensão vertical que corresponde às várias fases do processo e a horizontal representa as atividades de resolução de problemas que estão presentes nas várias fases da estrutura vertical (BACK e FORCELLINI, 2002).

A realimentação de informações entre as etapas caracteriza um aspecto dinâmico do processo de projeto e mostra que o nível de informação em cada atividade não é definitivo e muitas vezes não suficiente. Apesar de os objetivos de cada etapa ser bem definido, não fica claro quando uma etapa é concluída ou não, pois os objetivos alcançados nem sempre são definitivos. Com isso, em cada etapa o nível de informação deve ser o maior possível para que a conclusão de cada etapa possa ser considerada com mais confiança e mais adequada.

4.3 ROUTER CNC

As máquinas convencionais dependiam extremamente da destreza do operador, logo com a automação, a sua atuação fica agora restrita à supervisão de uma ou várias máquinas, sem interferência direta no processo de produção. Para que essa evolução chegasse às máquinas operatrizes, muitos estudos e desenvolvimentos foram necessários, desde elementos de máquinas e tipos de acionamentos até sistemas de controle, (COUTINHO e SANTIAGO, 2014).

Uma Router CNC consiste em uma máquina fresadora de portal, composta de estrutura estática, mecânica e eletroeletrônica, que possui três eixos de movimento controlados por comandos numéricos onde oferece extrema precisão, qualidade e automatização na fabricação de peças.

De acordo com, Eich (2014), o controle de movimentação dos eixos da Router CNC, são realizadas pelos sistemas de controle que fazem a interface do homem com a máquina, ou seja, um equipamento em que o operador da máquina pode visualizar em que posição a máquina se encontra, se está no avanço correto entre outros parâmetros.

Muito utilizada nas indústrias para a produção de peças seriadas e também na produção de peças complexas que se tornariam inviáveis a produção em uma fresadora comum (COUTINHO e SANTIAGO, 2014).

5. METODOLOGIA DE PROJETO PARA O DESENVOLVIMENTO DE UM EQUIPAMENTO SOB ENCOMENDA

As metodologias apresentadas são aplicadas para o desenvolvimento de produtos industriais, que possuem uma produção contínua e tendem a ter um alto grau de automatização e a produzir produtos bastante padronizados, dos quais apresentam uma diferença em relação aos produtos sob encomenda, onde o cliente apresenta seu próprio projeto de produto, devendo ser seguidas suas especificações na fabricação. Os processos por projeto têm como finalidade o atendimento de uma necessidade específica de um cliente, com uma data específica para ser concluído e deve ser concebido em estreita ligação com o cliente (SANTOS apud, TURBINO, 1999).

Quadro 1 - Diferença dos Produtos Industriais x Sob Encomenda

Características	Produtos Industriais	Produtos sob encomenda
Produção / Fabricação	Massa ou lotes	Pequenos lotes ou tiragem única;
Qualidade	Medida no produto final	Medida durante a fabricação
Sistema de produção	Contínuo / flexível	Dedicado e exclusivo
Atendimento de necessidades	Grandes grupos e nichos de mercado	Necessidades individuais, demandas específicas
Metas consideradas	Produção (quantidade de produtos produzidos)	Fabricação (atendimento das atividades previstas em cronograma)
Grau de customização	Baixo ou nenhum	Elevado ou totalmente
Divisão das tarefas	Processos divididos com pequenas tarefas	Atividades de processamento no produto
Cronograma	Gargalos na produção	Atividades Críticas
Fatores determinantes para aquisição	Preços	Prazos, matéria prima, necessidade e oportunidade do mercado
Garantia	Regulamentada em Manual ou em Lei	Estipulada em contrato

Fonte: (SANTOS, 2010).

O Quadro 1 mostra as principais diferenças entre os dois tipos de produtos, deixando claro que os produtos sob encomenda apresentam requisitos mais específicos e exigem maior atenção no seu desenvolvimento para que metas, exigências, prazos, qualidade e outras condições sejam satisfeitas. Com isso, tem-se a necessidade de uma metodologia própria para o desenvolvimento desse tipo de produto.

O desenvolvimento de projetos é um processo que se repete diversas vezes até se chegar a um resultado, gerando resultados parciais que serão usados posteriormente, seguindo uma sequência de passos que indicam a maneira como se desenvolve o produto para se chegar a um resultado final.

De acordo com Pahl e Beitz (1996), dividir o processo de desenvolvimento de produtos entre etapas de trabalho e etapas de decisão assegura a ligação necessária entre objetivos, planejamento e execução. Para obter o máximo do negócio deve-se usar um procedimento dividido em fases alternando pontos de verificação. Com isso, segue-se então a metodologia para o desenvolvimento de um equipamento sob encomenda.

5.1. IDENTIFICAÇÃO DOS PROBLEMAS / NECESSIDADES

Inicialmente para o desenvolvimento do projeto deve ser estudado o problema que deu origem a necessidade de construir o produto, onde se realiza uma análise detalhada buscando informações suficientes para o completo entendimento do problema. Algumas questões como, porque desenvolver tal produto, as vantagens e os benefícios que se pode ter com o seu desenvolvimento e outros questionamentos que envolvam o projeto, devem ser esclarecidas afim de facilitar o desenvolvimento do equipamento e conseqüentemente o desempenho de quem o utiliza e melhorar a qualidade do produto que venha a ser desenvolvido pelo mesmo.

Esta fase proporciona o entendimento e a descrição do problema, formalizando a tarefa do projeto, fornecendo a base para a qual serão montados os critérios de avaliação e de tomada de decisão, utilizada nas etapas posteriores do processo de projeto (BACK e FORCELLINI, 2002).

Para esclarecer o problema deve-se objetivar a clareza da tarefa e elaboração das especificações de projeto. O primeiro objetivo é alcançado através de uma série de atividades voltadas a recolher informações sobre o problema a ser resolvido, obtidas através de entrevistas com clientes envolvidos com o projeto. O segundo objetivo é alcançado pela tradução de todas as necessidades dos clientes do projeto na forma de requisitos para o projeto, dispostos na forma de hierarquia para priorizar os requisitos mais importantes durante as tomadas de decisões que ocorrerão durante o desenvolvimento do projeto (CASTRO apud PEREIRA, 2004).

Back e Forcellini (2002), afirmam que esta etapa compreende basicamente três passos básicos:

- Estudo e identificação das necessidades junto aos clientes do projeto;
- Definição dos requisitos gerais que a solução desejada deve preencher para satisfação das necessidades dos clientes;
- Elaboração das especificações do projeto.

5.1.1. Identificação das necessidades

Como esclarecido anteriormente, o surgimento de um problema faz com que haja a necessidade de desenvolver um produto novo, adaptá-lo, ou ainda melhorar produtos já existentes, no intuito de suprir essas necessidades. Logo, para melhor entender o problema, identificam-se os requisitos desejados, através de questionários, pesquisas ou qualquer outra forma que seja possível coletar essas informações de maneira precisa e esclarecedora.

As necessidades são informações que tendem a expressar os desejos dos clientes, portanto, devem ser definidas pelo cliente junto ao projetista, onde é esclarecido o que deve ser desenvolvido de acordo com sua pretensão. Essa etapa é de extrema importância, pois são essas informações iniciais que fazem com que o projeto continue juntamente com o desenvolvimento das próximas fases.

5.1.2. Definição dos requisitos gerais

Existem algumas maneiras de obter-se um conjunto de requisitos de projeto, uma delas é através da análise do ciclo de vida do produto por meio de perguntas como proposto por Blanchard e Fabricky. Outra maneira seria utilizando a técnica de QFD, também chamada de Casa da Qualidade, entendida como um mapa conceitual que permite um planejamento interfuncional e comunicativo entre os setores responsáveis pelo desenvolvimento do produto em todas as suas etapas (BACK e FORCELLINI, 2002).

O QFD é uma ferramenta que assegura qualidade ainda na fase de projeto, permitindo uma diminuição no tempo de desenvolvimento pela redução do número de mudanças de projeto. A construção inicia-se com a identificação das necessidades dos clientes (NC), com as características que se consideram mais relevantes, das quais são arranjadas em grupos que representam um conceito amplo do consumidor.

5.1.3. Elaboração das especificações de projeto

É necessário um conjunto de informações completas e sem ambiguidades, que será utilizado como base para o desenvolvimento das etapas posteriores do processo de projeto (BACK e FORCELLINI, 2002), sendo estas informações mais gerais, como características que o produto deve apresentar, para que as informações mais específicas possam ser definidas

mais facilmente. Essas especificações podem ser identificadas na Casa da Qualidade, das quais determinam como será o projeto final, contendo apenas aquilo que foi definido.

5.2. PLANEJAMENTO

O planejamento inicia-se com o estudo em relação ao projeto, onde as informações coletadas na fase anterior serão especificadas e melhor definidas para o desenvolvimento do produto.

Decisões são tomadas em relação ao desenvolvimento de produtos, procurando auxiliar e pré-determinar as atividades a serem seguidas, determinando o escopo do projeto. As características gerais devem ser esclarecidas, assim como as especificações, que se referem aos aspectos técnicos do produto, devendo apresentar flexibilidade para comportar soluções inovadoras, que podem ocorrer durante o processo de desenvolvimento. São fundamentais os detalhes do projeto para que o projetista possa saber se o produto desenvolvido atende aos objetivos propostos (CASTRO apud BAXTER, 2000).

Os principais pontos a serem abordados em torno do planejamento são:

- Pesquisar informações sobre o tema do projeto:
 - Informações técnicas;
 - Estabelecer o ciclo de vida do produto;
 - Seu funcionamento;
- Análise de ideias em torno das necessidades do cliente;
- Estabelecer os requisitos do projeto (informações fundamentais para a fase de projeto);
- Estabelecer as especificações do projeto (definição das características).

Os pontos listados devem ser analisados de acordo com as necessidades do projeto, que devem satisfazer os resultados esperados, dependendo do objetivo do equipamento. É necessário um conjunto de informações completas e sem ambiguidades, que será utilizado como base para o desenvolvimento das etapas posteriores. O planejamento torna-se importante, pois inicia o projeto e facilita a continuação do mesmo. Logo, com as informações coletadas nesta fase é possível determinar quais as funções e propriedades presentes no projeto final, mas dependendo do produto a ser desenvolvido, podem ser determinadas até mesmo na fase inicial.

5.3. PROJETO CONCEITUAL

O projeto conceitual é importante para o processo de desenvolvimento de produtos, pois as decisões tomadas nesta fase irão influenciar as etapas seguintes. Onde, será desenvolvida a concepção de um produto que possa suprir da melhor forma possível os objetivos de acordo com as necessidades esclarecidas, considerando as limitações e restrições, definidas no planejamento. Dependendo do produto a ser desenvolvido, outras concepções podem ser geradas, logo deve ser selecionada aquela que melhor atende aos requisitos do projeto como metas de qualidade, segurança, entre outras que devem ser especificadas de acordo com a necessidade.

O primeiro objetivo da geração de conceitos é confirmar que o produto irá operar conforme as previsões e com razoável desenvolvimento posterior e que o mesmo irá atender os requisitos definidos (ULLMANN, 1997).

Propósitos que são indicados para a fase de projeto conceitual são:

- Estabelecer as funções do produto;
- Estimular o processo criativo e gerar princípios de solução;
- Estabelecer as concepções alternativas para o produto;
- Selecionar e avaliar os princípios de solução apresentados.

Esses pontos serão utilizados para propor soluções, combinar princípios de soluções, levantar informações, estabelecer requisitos, avaliar concepções que, utilizados em conjunto, potencializam a transformação de um problema de projeto na concepção de um produto. Os primeiros layouts devem ser desenvolvidos nessa fase, onde são aplicadas as concepções definidas.

5.3.1. Compreensão aprofundada

A compreensão traduz as necessidades e restrições identificadas em requisitos técnicos, funcionais, ergonômicos e de estilo. Ou seja, procura-se compreender a função do produto para que em seguida alternativas sejam geradas para o desenvolvimento de concepções.

Nesta etapa, dois pontos principais devem ser considerados, o primeiro conhecido por abstração desenvolve a estrutura de funções do produto, ou seja, o que o produto deverá fazer, desconsiderando soluções técnicas conhecidas. E o segundo chamado de síntese, busca-se

estabelecer como o produto deverá fazer para satisfazer as funções definidas na forma de princípios físicos, químicos ou biológicos. Inicia-se o processo de realização do produto, ainda num estágio conceitual, em nível de princípios de solução (BASSETO, 2004).

O projeto conceitual deve ser realizado fazendo-se uma análise das especificações, anotando todos os requisitos que restringem o projeto, ressaltando a importância de flexibilizar as restrições a fim de incentivar a criatividade, logo ao permitir uma maior liberdade criativa, é possível atingir uma maior abrangência de conceitos que pode proporcionar melhores alternativas.

De acordo com Neto e Favaretto (2005 apud BONO, 1994), a importância da identificação do conceito está na possibilidade de usá-los como “ponto fixo” para desenvolver alternativas que possam satisfazer um conjunto de necessidades. Quando o conceito é identificado podem-se aperfeiçoar as soluções que o materializam buscando novas alternativas, das quais podem ser mais originais e inovadoras que as que se dispõe no momento.

5.3.2. Elaboração de alternativas

O objetivo singular desta etapa é estabelecer as relações funcionais dos componentes e apresentar estruturas físicas ou concepções de projeto para a solução do problema, do qual depende principalmente das especificações de projeto estabelecidas. Dessa forma, objetiva-se o estabelecimento de estruturas funcionais, busca de princípios de soluções apropriadas e a sua combinação, no qual o caminho de uma solução básica é traçado através da elaboração de uma solução conceitual (CASTRO, 2014).

Desenvolvem-se então, as possíveis soluções que atendam os requisitos e estabelece uma ampla gama de alternativas de produtos. Do qual, com o apoio de métodos à criatividade, princípios de soluções devem ser encontrados, onde serão avaliados, para um posterior amadurecimento, onde podem ser empregados métodos para geração de ideias e concepções, como o brainstorming, matriz morfológica, listagem dos atributos.

O detalhamento da concepção criada nessa etapa deve ser suficiente para que haja continuidade do projeto nas fases seguintes e seja possível realizar uma análise de viabilidade. Portanto a concepção deve ser capaz de representar os princípios de soluções para as funções (AZEVEDO, 2014).

5.3.3. Verificação

Avalia e escolhe entre as alternativas encontradas, aquelas associadas aos melhores conceitos. Onde deverão ser definidas as linhas básicas em termos de forma e função do produto, sem preocupar-se com soluções tecnicamente viáveis. Durante esta etapa do desenvolvimento deve-se evitar o excesso de restrições, ou seja, todas as alternativas são válidas para atender às necessidades especificadas (NETO e FAVARETTO, 2005).

5.5. PROJETO PRELIMINAR

Antes de iniciar o projeto preliminar, devem ser realizados estudos de viabilidade, dentre os quais está à viabilidade física, que prova se um produto é fisicamente viável ou não, onde deve ser realizado de forma detalhada garantindo assim um resultado confiável.

Com isso, inicia-se o projeto preliminar que tem o objetivo de determinar qual entre as alternativas propostas mostra ter a melhor concepção para o projeto, onde as possíveis soluções são analisadas. Contudo, são iniciados os estudos de síntese que estabelecem as tolerâncias dentro do qual os principais parâmetros do projeto devem ser controlados.

Esta fase caracteriza-se por tratar da configuração do produto, tendo como entrada informações vindas das fases anteriores, que compreendem as especificações de projeto. Onde é realizado o desdobramento ou estruturação do produto de forma detalhada, compreendendo basicamente sistemas, subsistemas, peças e componentes, de maneira a serem desenvolvidos em separado. Realizam-se também atividades de dimensionamento, seleção de materiais, sendo utilizadas diferentes técnicas, métodos e ferramentas (AREND, 2003).

Logo, o projeto adquire nesta fase um escopo mais técnico, visto que os conceitos bem estabelecidos durante o projeto conceitual é desenvolvido de acordo com critérios técnicos e econômicos, e algumas informações adicionais que contribuirão para a produção final. Dessa forma, o projeto inclui alguns detalhes essenciais como forma de componentes do produto, suas funções e materiais.

O projeto preliminar ou anteprojeto apresenta três regras básicas: clareza, simplicidade e segurança. Por clareza entende-se evitar ambiguidades na concepção, no arranjo e geometria. O que permite um melhor entendimento das tensões atuantes, aumentando a confiabilidade e segurança. Já a simplicidade significa um projeto não composto, procurando especificar peças simétricas e formas geométricas apropriadas para os princípios matemáticos de resistência dos materiais. A segurança de um projeto pode ser: direta, indireta e preventiva.

Usa-se a direta, quando o projeto por si mesmo oferece segurança, a indireta faz uso de dispositivos de proteção e a segurança preventiva emprega sinalizadores e marcadores (NEIS, 2003).

O resultado de estudo preliminar possibilita a geração de cronograma básico de desenvolvimento e garante que somente serão desenvolvidos os requisitos que fazem parte do escopo do projeto. Assim, o projeto preliminar inclui as seguintes tarefas:

- Os conceitos definidos no projeto conceitual serão agrupados para que o equipamento seja então estruturado;
- O dimensionamento do equipamento e de suas peças;
- Seleção de material para a fabricação;
- Informar os critérios de segurança que devem ser seguidos;
- Refinar e avaliar sob critérios técnicos e econômicos;
- Otimizar e completar o projeto das formas;
- Verificar erros e controlar custos;
- Preparar a lista de partes preliminares e documentos de produção.

Nesta fase estabelece-se um programa do projeto a ser elaborado, onde capacidades são determinadas, dimensões são calculadas, o desgaste é considerado, partes são detalhadas, entre outras. Assim todos os componentes são bem definidos, testados e modificados de acordo com as exigências e a máquina ou sistema torna-se inteiramente desenvolvido, ou seja, chega-se a um produto fabricável (MACHADO, 1997).

5.6. PROJETO DETALHADO

O projeto detalhado dá continuidade à fase anterior, tendo como objetivo desenvolver e finalizar o projeto, no sentido de serem concluídos desenhos, documentações e dimensionamentos para então serem encaminhados à manufatura. Na documentação se enquadram manuais de operação e manutenção, prescrições de montagem, transporte, instruções para testes e controle de qualidade. Onde são efetuadas otimizações de detalhes e especificações com respeito à forma, material, ajustes, as tolerâncias, os acabamentos necessários, podendo ser indicadas como serão realizadas as montagens das partes, equipamentos de suporte, treinamentos, entre outras especificações que dependem do andamento do projeto e do equipamento a ser desenvolvido.

No detalhamento do projeto não é necessário aplicar métodos especiais para cada passo individual. É sempre recomendado proceder do qualitativo ao quantitativo, do abstrato ao concreto, do desenho de conjunto para o detalhamento e prever etapas de verificação e se necessário, para correções (PAHL & BEITZ apud BOLGENHAGEN, 2003). O detalhamento é a parte que complementa a estrutura de construção, por meio de prescrições definitivas para a forma, o dimensionamento e o acabamento superficial de todos os componentes.

O desenvolvimento do layout deve ser levado até o ponto onde uma verificação clara da função, durabilidade, produção, montagem, operação e custos possam ser feitas. O nível de detalhamento a ser alcançado nessa etapa deve incluir o estabelecimento do leiaute definitivo, projeto preliminar das formas (formato de componentes e materiais), procedimentos de produção e estabelecimento de soluções para qualquer função auxiliar (PAHL & BEITZ apud FORCELLINI; BACK, 2002).

Alguns passos podem ser seguidos para o desenvolvimento do projeto detalhado:

- Detalhamento
 - Elaborar layouts detalhados e desenhos de forma;
 - Calcular e desenhar SSCs
 - Especificar tolerâncias;
 - Configurar produto;
 - Integrar os SSCs.
- Aquisição
 - Planejar processo de fabricação e montagem;
 - Decidir fazer ou comprar o SSCs:
 1. Custos
 2. Equipamentos
 3. Escala
 4. Estratégia
- Otimização
 - Otimizar produtos e processos;
 - Avaliar SSCs.

A fase de projeto detalhado é responsável basicamente pela finalização do processo, garantindo que o equipamento realize os requisitos e os objetivos definidos inicialmente, e pelo encaminhamento da documentação para a produção.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a criação da nova metodologia aplica-se ao desenvolvimento de um equipamento sob encomenda, onde tal produto a ser desenvolvido seria o Router CNC, sendo esta uma máquina controlada via computador para a usinagem de diversos tipos de materiais, cujo trabalho enfoca-se na usinagem da madeira. Portanto, seguindo os passos definidos anteriormente, verifica-se a metodologia criada a partir do desenvolvimento do produto.

6.1. IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES / PROBLEMAS

Muitos estudos são direcionados para a melhoria dos processos de usinagem da madeira como forma de promover melhorias no sistema produtivo, melhorando a eficiência e a competitividade dos produtos. A grande deficiência na qualidade final dos produtos de madeira é decorrente principalmente de ineficiências no setor de usinagem e acabamentos superficiais da madeira.

Com isso surge a necessidade de desenvolver um equipamento que realize trabalhos na madeira e permita que o acabamento final seja de qualidade. No entanto, existem diversos tipos de processo de usinagem para esse tipo de material, como: furação, serramento e fresamento, porém esses processos não trazem a qualidade final desejada, não desempenham o objetivo determinado e não realizam trabalhos de diferentes formas, sendo este um dos principais problemas encontrados.

Logo, o Router CNC tem a função de executar usinagens leves, principalmente na madeira, realizando desenhos bem mais elaborados, pois além de utilizar um computador que envia comandos para a máquina, realiza os movimentos em três dimensões (3D), o que permite eficiência na usinagem e na qualidade final do produto.

Outras necessidades foram definidas pelo cliente, dentre as quais o equipamento deve apresentar velocidade nos movimentos, baixa complexidade na realização dos movimentos, emitir um baixo ruído, baixo peso facilitando a locomoção do equipamento para que o trabalho possa ser realizado em diversas superfícies, fácil manutenção, facilidade na troca de componentes, possuir um design agradável, ser constituído de materiais de qualidade e realizar trabalhos sem precisar o contato direto do operador com a ferramenta, dos quais se evitam possíveis lesões.

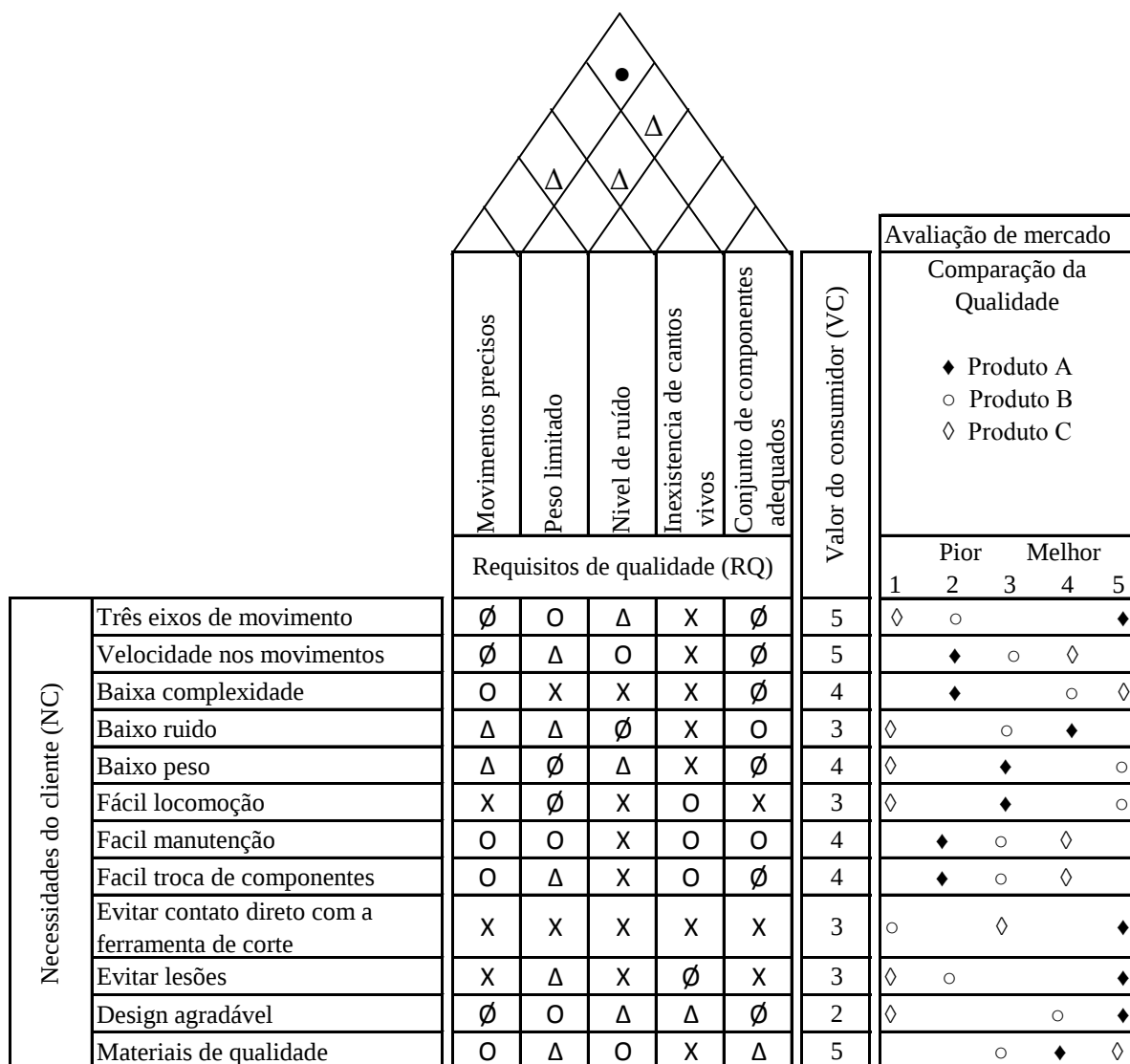
Utilizando a Casa da Qualidade ou QFD, relacionam-se as necessidades do cliente (NC) com os requisitos de qualidade (RQ), onde serão melhor definidos os requisitos de projeto para auxiliar no planejamento do produto, do qual esta nos conduzirá na elaboração das especificações de forma a refletir as reais necessidades do consumidor.

Um dos objetivos da QFD é fazer um comparativo do produto a ser desenvolvido com produtos concorrentes que realizam a mesma atividade ou atividades similares. Com isso, realiza-se uma comparação entre os produtos que realizam trabalhos na madeira, como a Serra de Fita e a Esquadrejadeira, que realizam trabalhos manuais simples quando comparados com o Router CNC que realiza tarefas mais elaboradas. Logo, com uma avaliação de mercado, observam-se quais desses equipamentos realizam e apresentam as necessidades do cliente. Seguindo alguns passos para o desenvolvimento do equipamento tem-se a Casa da Qualidade representada na Imagem 9.

Com a classificação por importância, observa-se que o conjunto de componentes adequados seria o requisito que exige mais atenção para que se obtenham bons resultados e a inexistência de cantos vivos seria o requisito de menor importância.

A avaliação de mercado evidência que características presentes nos produtos concorrentes, apresentam melhores desempenhos como a velocidade dos movimentos, a complexidade no manuseio do equipamento, facilidade na manutenção e na troca de componentes. Isso ocorre devido à atividade que o equipamento realiza, como os produtos concorrentes obtêm apenas o corte da madeira, sendo esta uma atividade relativamente simples, a velocidade dos movimentos torna-se rápida e não há dificuldade alguma em realizá-los, já que o Router CNC requer mais conhecimento de programação.

Imagem 9 - A Casa da Qualidade



Valor da importância VC x RQ	118	88	56	50	146
Classificação por importância	2°	3°	4°	5°	1°

Grau de Relacionamento (GR) Necessidade do consumidor X Requisitos de qualidade	
∅	forte relacionamento (5)
O	medio relacionamento (3)
Δ	fraco relacionamento (1)
X	nulo relacionamento (0)

Tipo de relacionamento entre os requisitos da qualidade
● Fortemente positivo
○ Positivo
Δ Negativo
▲ Fortemente negativo

Fonte: Autoria própria. Router CNC (◆). Serra de Fita (○). Esquadrejadeira (◇).

6.2. PLANEJAMENTO

Nessa fase deve ser coletado o máximo de informações possíveis para o início do planejamento acerca do produto, onde tais informações serão analisadas e posteriormente conceituadas para que o equipamento seja desenvolvido.

O Router CNC é muito semelhante ao conceito de uma fresadora, porém, ao invés de roteamento à mão, caminhos de ferramenta são controlados via computador. Sendo este um dos muitos tipos de ferramentas que tem variantes CNC, do qual é um sistema que permite o controle de máquinas, sendo utilizado principalmente em tornos e centros de usinagem.

Idealizado para usinagens leves, utilizado para realizar cortes e gravações, dos mais diversos tipos de desenhos, sobre materiais frequentemente macios e não ferrosos como madeiras em geral (MDF, HDF, MDP, OSB), compensado naval, plásticos em geral, PVC expandido, ACM, acrílico, celeron, alumínio naval, entre outros. A seguir, têm-se especificações e requisitos a respeito do equipamento:

- Trabalha com três eixos, para o controle do movimento em 3D;
- Partes do projeto são projetadas no computador com um programa de CAD / CAM;
- O corte é realizado automaticamente por um roteador ou cortadores para produzir a peça acabada;
- Apesar de usinar outros materiais, esse equipamento será desenvolvido para trabalhos realizados na madeira;
- Os eixos se movimentam simultaneamente, executadas por programas e são controladas pela mesma interface;
- Os eixos se movimentam, enquanto a mesa permanece imóvel;
- Normalmente possui dutos de ar, para sugar as lascas de madeira e pó criados;
- Motores elétricos onde a precisão do movimento é necessária são os mais recomendados a serem utilizados em máquinas CNC;
- O sistema de movimentação é realizado por meio de fusos conectados aos eixos, dos quais serão acionados pelos motores, para que o movimento seja mais preciso;
- A velocidade de avanço depende da velocidade do motor e do fuso, para que não seja exigido um torque muito elevado fornecido pelos motores.

6.3. PROJETO CONCEITUAL

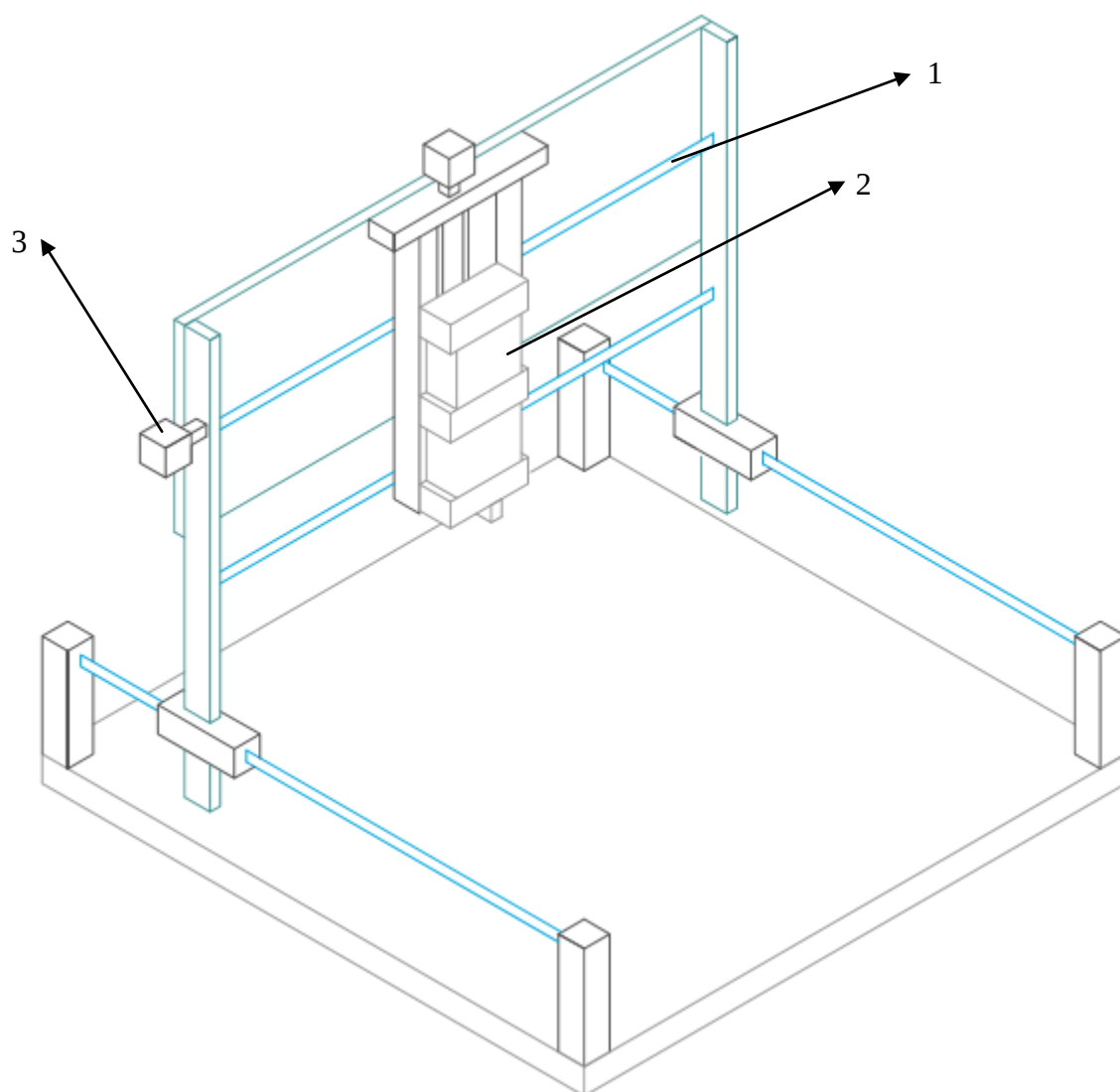
Nesta fase serão aplicados os conhecimentos de engenharia para o início do projeto, onde as especificações e requisitos do planejamento serão esclarecidos e conceituados para que o equipamento seja então construído. Todos os componentes presentes no equipamento são de suma importância, entretanto, é necessário saber quais são e suas funções.

Com as informações obtidas nas fases anteriores é possível dar início a concepção do projeto, elaborando conceitos que irão seguir o que foi definido. Inicialmente, devem ser levados em consideração os resultados obtidos com a QFD, de acordo com a classificação de importância, tem-se a velocidade e a precisão dos movimentos e o peso que o equipamento venha a apresentar de acordo com os componentes que serão definidos.

O equipamento tem como função principal realizar os movimentos nas direções X, Y e Z, que proporcionará uma qualidade no resultado final e desenvolverá usinagens mais elaboradas. Logo, os componentes a serem definidos devem proporcionar a ferramenta de corte movimentos que ocorrem com a utilização de motores que acionam o movimento, que por sua vez devem ser acionados por outro dispositivo, para que assim o movimento aconteça.

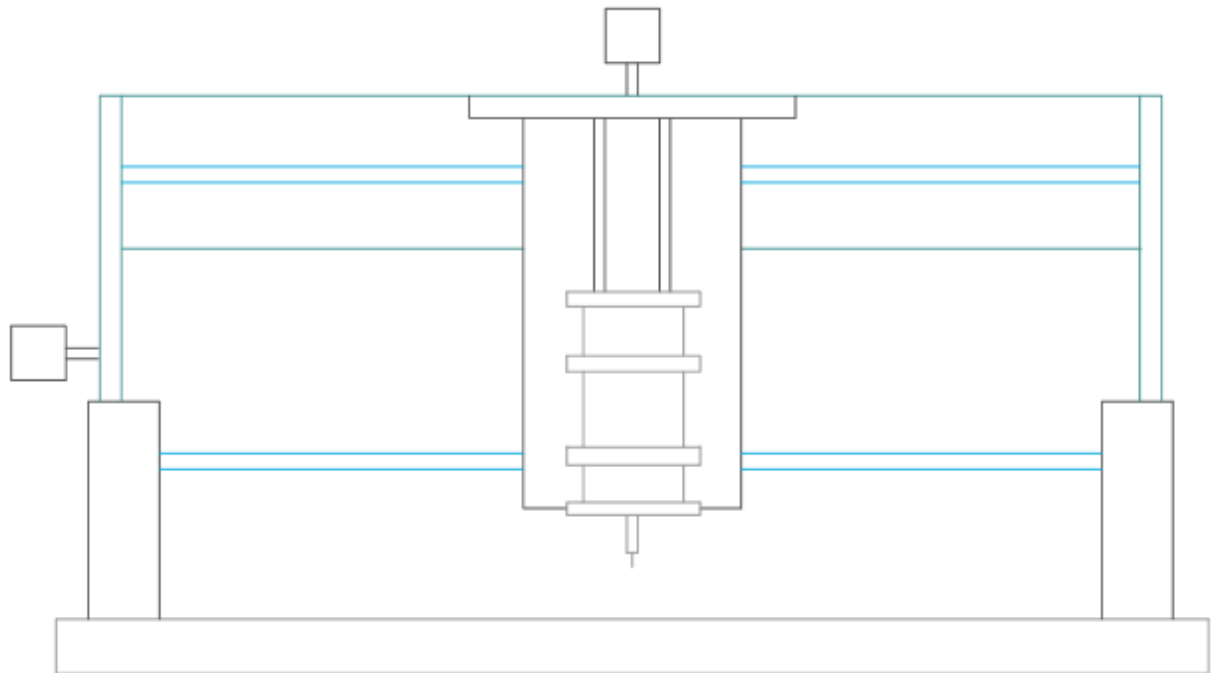
O equipamento começa a exibir uma determinada forma e consequentemente, definições de possíveis componentes que façam com que o equipamento realize o que foi determinado. O desenho inicial do projeto apresenta uma primeira ideia do que se pretende com o projeto, porém esses desenhos sofrem modificações, pois são apenas esboços iniciais para que possa dar continuidade às fases seguintes. As imagens 2, 3 e 4 apresentam respectivamente a perspectiva isométrica e as vistas lateral e frontal do equipamento.

Imagem 10 - Perspectiva isométrica do primeiro esboço do Router CNC



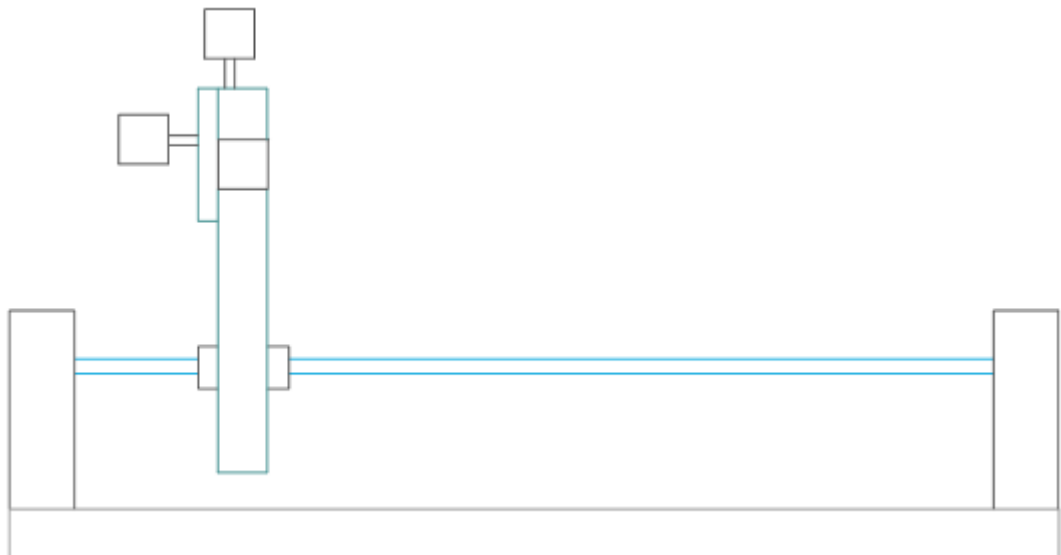
Fonte: Autoria própria (2015).

Imagem 11 - Vista frontal do primeiro esboço do Router CNC



Fonte: Autoria própria (2015).

Imagem 12 - Vista lateral do primeiro esboço do Router CNC



Fonte: Autoria própria (2015).

Como já esclarecido, o conceito determina os princípios da solução, logo os componentes do equipamento devem ser conceituados para que seja possível determinar o seu funcionamento e atender aos requisitos do projeto, pois cada componente depende de outro

para executar sua função. Com isso, facilitar as fases de abstração e síntese, que determinam o que o produto deverá fazer e como satisfazer as funções pré-estabelecidas no planejamento. Na Imagem 10 são enumerados componentes importantes do equipamento, para que o desempenho seja eficiente, dos quais são: fusos de esferas (1), motor spindle (2) e motor de passo (3), onde os mesmos são ilustrados nas imagens 5, 6 e 7.

Imagem 13 - Fuso de esfera



Fonte: (Blog da Mecânica).

Imagem 14 - Spindle



Fonte: (TORMACH).

Imagem 15 - Motor de passo



Fonte: (TECNOFLEXO).

6.4. PROJETO PRELIMINAR

Para o início do desenvolvimento do equipamento é necessário dimensionar os componentes definidos na fase de projeto conceitual, para que desenvolva sua função eficientemente. No entanto é preciso um conhecimento mais específico para estabelecer as características presentes nesses componentes e consequentemente, alcançar os objetivos.

De forma simplificada, no projeto preliminar é realizado a estruturação do equipamento, buscando compreender o funcionamento dos componentes de maneira detalhada. Porém, é preciso uma grande quantidade de informações em torno dos componentes, sistemas e subsistemas, que são calculados para melhor preencher os requisitos de funcionamento, do qual não serão abordados neste trabalho. A partir dos esboços iniciais, serão definidos componentes que melhor exerçam as funções pré-estabelecidas. Portanto, tem-se:

- Spindle

Caracteriza-se por fornecer o movimento de rotação necessário à ferramenta de corte, bem como a potência necessária para a operação. Para determinar aquele que melhor se aplica ao projeto, parâmetros devem ser determinados. Um deles seria a rotação da ferramenta de corte, expressa pela EQUAÇÃO 1:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad (1)$$

Onde:

n = Rotação da ferramenta (RPM)

V_c = Velocidade de corte (m/s)

d = Diâmetro da ferramenta (mm)

O Quadro 2 apresenta as velocidades de corte recomendadas para cada tipo de madeira que se pretende usinar, com isso, estipula-se um valor para a velocidade de corte com base nos valores apresentados na tabela, para que possa ser estimada a rotação da ferramenta, a força de corte e a potência do spindle.

Quadro 2 - Recomendações de velocidades de corte para diferentes tipos de madeira

Material	Velocidade de Corte (V_c m/min)
Madeira de coníferas	70 a 100
Madeira de folhosas (macias a médias)	50 a 80
Madeira de folhosas muito duras	30 a 60
Aglomerado e compensado	40 a 70
Aglomerado denso ($d > 720\text{Kg/m}^3$)	35 a 50
Madeira comprimida ($900 < d < 1400\text{Kg/m}^3$)	30 a 60

Fonte: (SILVA, 2013).

Logo, utilizando uma velocidade de corte de 60 m/min e uma ferramenta com diâmetro 6 mm, chega-se a um valor da rotação da ferramenta de:

$$n = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 6} = 3.183,10 \text{ RPM} \quad (2)$$

O diâmetro da ferramenta pode variar de 0,5 - 10 mm, que se determina de acordo com a necessidade da usinagem, podendo ser utilizado uma ferramenta de corte com diâmetro maior ou menor, onde n é inversamente proporcional a d , logo, quanto maior o diâmetro da ferramenta, menor a rotação.

De acordo com Néri (2003), a força de corte principal pode ser expressa pela relação:

$$F_c = K_s \cdot A = K_s \cdot b \cdot h \quad (3)$$

Onde:

K_s = Pressão específica de corte (N/mm^2);

A = Área da seção transversal do cavaco ($b \times h$); em que b = largura de corte ou comprimento da aresta de corte e h = espessura de corte.

Néri (2003) relaciona a pressão específica de corte (K_s) e a espessura de corte (h) através de gráficos, onde K_s varia em função de h . Com isso, determina-se que $K_s = 8$

N/mm² e que o cavaco deve apresentar uma área de 25mm², encontra-se que a força de corte é de:

$$F_c = 8 \frac{N}{mm^2} \cdot 25mm^2 = 200N \quad (4)$$

Portanto, com os valores da velocidade e da força de corte, encontra-se a potência, através da EQUAÇÃO 5:

$$P_c = \frac{V_c \cdot F_c}{60.000} \quad (5)$$

Substituindo os valores da velocidade e da força, obtém-se:

$$P_c = \frac{60 \cdot 200}{60.000} = 0,2kW \quad (6)$$

Com essa potência de corte determina-se a potência do motor, relacionando-a ao rendimento do motor, logo:

$$P_m = \frac{P_c}{\eta} \quad (7)$$

Onde η é o rendimento do motor, que de acordo com DINIZ (2013) está em um intervalo de 60 a 80%, com isso, substituindo os valores na EQUAÇÃO 7 e considerando um $\eta = 70\%$, chega-se a potência do motor com um valor igual a $P_m = 0,29kW$. A partir disso seleciona-se um spindle que apresente valores satisfatórios para a potência do motor e a rotação da ferramenta.

Quadro 3 - SPINDLES ELÉTRICOS COM TROCA MANUAL DE FERRAMENTAS
SÉRIE TL – Refrigeração Líquida

Modelo	Potência (kW – HP)	Rotação (RPM)	Peso (kg)
TLO. 1Z2M.01	0,55 – 0,7	12.000	2,5

Fonte: Tecmafi Indústrias e Comércio Ltda.

- Fusos de esferas

É um sistema de acionamento de alta eficiência, que transforma movimento de rotação em movimento linear por meio de transmissão por esferas. Logo, para determinar o fuso que melhor se aplica ao equipamento deve ser determinado o peso dos componentes que exerce uma força sobre os fusos e consequentemente, encontrar o diâmetro.

Para o deslocamento realizado na horizontal, a força exercida é de 141,9 N. No entanto, foram definidos três fusos para a realização do movimento, dos quais, 2 são fusos retificados e um roscado. Os fusos retificados servem como suporte para a estrutura, logo a força exercida será dividida por dois. Já o fuso roscado, realizará o movimento, sendo este submetido à força total. Utilizando um fator de segurança de 1,5, chega-se aos diâmetros de 8,4 mm para o fuso retificado e 11,63 mm para o roscado.

Três fusos serão utilizados para realizar o movimento frontal e posterior, com a mesma configuração do deslocamento realizado na horizontal, porém a força exercida sobre esses fusos é superior devido ao movimento que realizam e a estrutura que é deslocada. Com isso, são submetidos a uma força de 345 N, logo, utilizando o mesmo fator de segurança os diâmetros encontrados são de 9,84 mm para o fuso retificado e 12,18 mm para o roscado. O Quadro 4, apresenta os valores definidos de cada fuso para força e diâmetro.

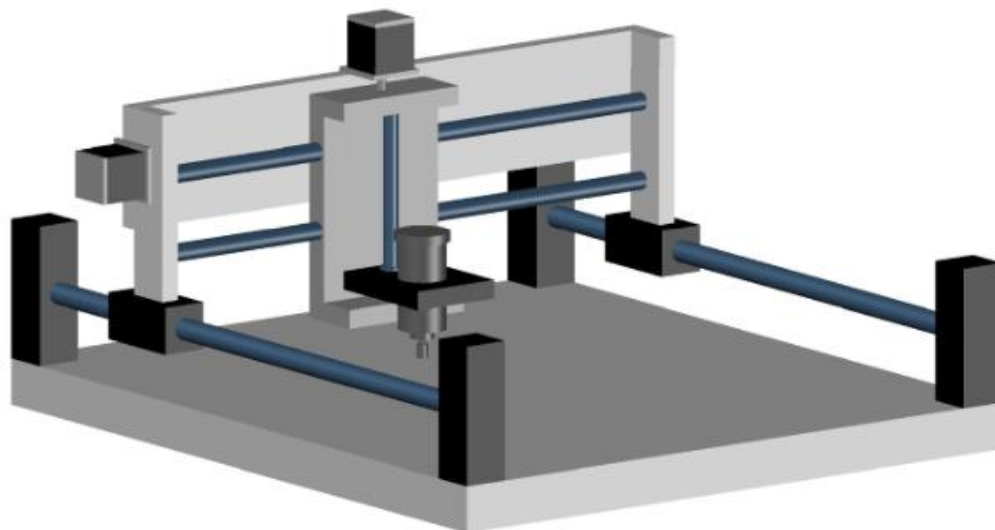
Quadro 4 – Força e diâmetro do fuso retificado e roscado

Movimento Horizontal		
Fuso	Força (N)	Diâmetro (mm)
Fuso retificado	106,41	8,4
Fuso roscado	392,1	11,63
Movimento Frontal/Posterior		
Fuso	Força (N)	Diâmetro (mm)
Fuso retificado	257,22	9,84
Fuso roscado	603,78	12,18

Fonte: Autoria própria (2015).

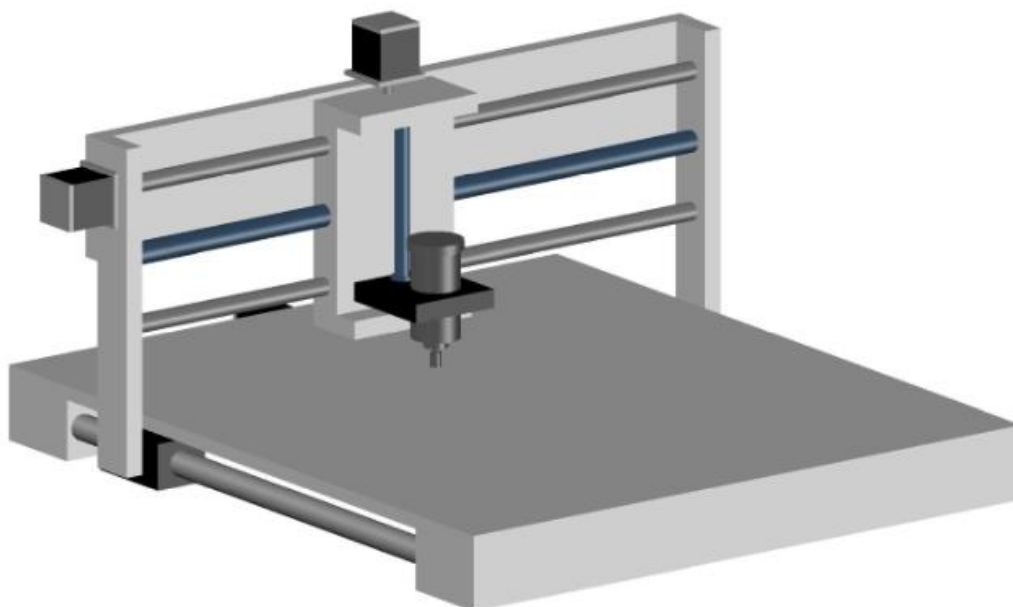
A partir dos esboços iniciais e dos componentes determinados, desenvolve-se novos e melhorados desenhos para o equipamento. Portanto, a partir dos desenhos iniciais, foram realizadas modificações até o resultado final, como mostrado nas imagens 16 e 17.

Imagem 16 - Layout inicial do equipamento



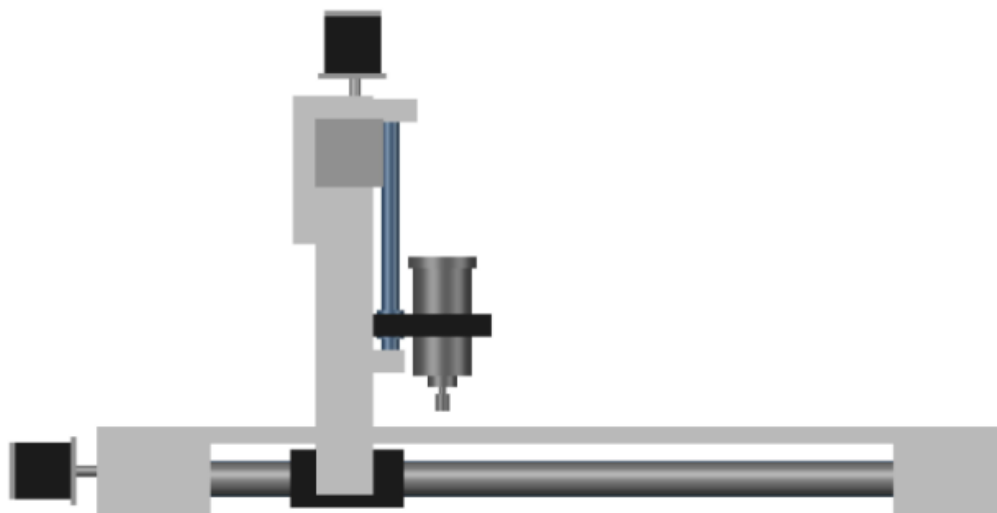
Fonte: Autoria própria (2015).

Imagem 17 - Layout final do equipamento



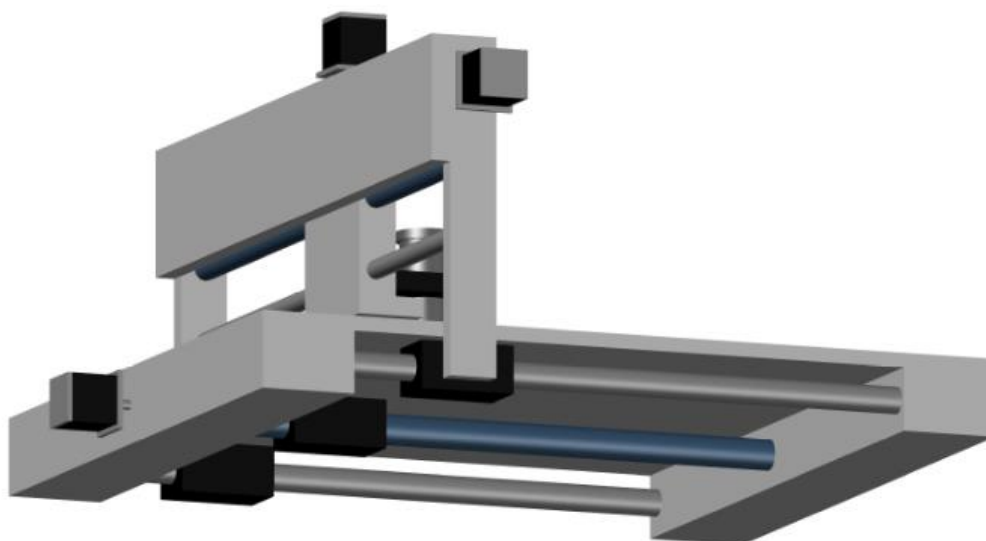
Fonte: Autoria própria (2015).

Imagem 18 - Vista lateral



Fonte: Autoria própria (2015).

Imagem 19 - Perspectiva



Fonte: Autoria própria (2015).

7. CONCLUSÃO

No presente trabalho apresentou-se uma nova metodologia de projeto a fim de desenvolver equipamentos sob encomenda a partir das necessidades do cliente, baseando-se em metodologias já existentes no intuito de se obter um processo mais simples, com tempo e custos reduzidos, para que seja possível chegar a um resultado final de qualidade.

Foram realizados estudos a cerca de metodologias de projeto, onde foi desenvolvida uma abordagem específica, da qual etapas foram seguidas durante o mesmo para o desenvolvimento do produto. Em seguida, aplicou-se o método criado para o desenvolvimento de uma router CNC, identificando as necessidades do cliente e relacionando-as com requisitos de qualidade para se obter a QFD ou a Casa da Qualidade. A partir das especificações foram elaborados desenhos que foram sendo melhorados de acordo com o desenvolvimento do projeto e dimensionamento dos componentes, dos quais se determinou: velocidade e força de corte, potência do motor, diâmetro dos fusos, dentre os quais se torna possível à escolha de componentes que melhor se aplica ao equipamento.

No entanto, algumas limitações foram identificadas, como a força de corte calculada que só é válida para usinagens onde a área do cavaco é de 25 mm², assim como o tamanho do material que se pretende usinar, que deve estar de acordo com as restrições do equipamento.

Para o aperfeiçoamento desse projeto se faz necessário um número maior de especificações, além de um aprofundamento na aplicação da metodologia, levando em consideração que neste trabalho foram realizadas apenas algumas especificações em torno dos componentes e da estrutura do equipamento.

REFERÊNCIAS

- ANDREASEN, M. M., HEIN, L. 1987. Integrated Product Development. IFS (Publications) Ltd / Springer-Verlag, London.
- AREND, Lucas. **Sistematização das Fases de Projeto Preliminar e Detalhado do Desenvolvimento de Produtos e sua Aplicação no Projeto de um Multicultor Modular**. 2003. 293 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- AZEVEDO, Maykson Rangel. **Projeto de uma dobradeira de tubos para a equipe Cactus Baja SAE**. 2014. 75 f. Tese (Bacharel em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi – Árido, Mossoró, 2014.
- BASSETTO, Edson Luis. **Proposta de Metodologia para o Ensino das Fases de Projeto Informacional e Projeto Conceitual**. 2004. 122 f. Mestre em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- Blog da Mecânica. **Fusos de Esferas Recirculantes**. Disponível em: <www.blogdamecanica.com.br>. Acesso em: 25 set. 2015.
- BOLGENHAGEN, Nilson Jair. **O Processo de Desenvolvimento de Produtos**: Proposição de um Modelo de Gestão e Organização. 2003. 118 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- BRITES, F. G.; SANTOS, V. P. A. **Motor de Passo**. 2008. 15f. Curso de Engenharia de Telecomunicações (Programa de Educação Tutorial – PET) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2008.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. **Elementos de máquinas de Shigley**: projeto de engenharia mecânica. 8°. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- CASTRO, Vinícius de Oliveira Rebouças. **Metodologia de Projeto Aplicada ao Desenvolvimento de um Chanfrador de Tubos**. 2014. 86 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2014.
- CLARK, K. B., WHEELWRIGHT, S. C. 1994. **Organizing and Leading “Heavyweight” Development Teams**. California Management Review, Spring 1992.
- COUTINHO, L. F. J.; SANTIAGO, M. T. B. **Dispositivo de Fresamento Controlado por CNC**. 2014. 125 f. Projeto final (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2014.
- DEDINI, F. G.; DELGADO NETO, G. G.. **Sistemática e Metodologia de projetos**: uma abordagem para o desenvolvimento de produtos. In: VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 10., 2010, Florianópolis: UFSC, 2000.
- DINIZ, Anselmo et al. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: Artliber, 2013. 270 p. p 61.

DUFOUR, C. A. **Estudo do processo e das ferramentas de reprojeto de produtos industriais, como vantagem competitiva a estratégia de melhoria constante.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 1996.

EICH, Fábio. **DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DE TRANSMISSÃO PARA UMA ROUTER CNC.** 2014. 46 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014.

FERREIRA, Giovanni. **Info usinagem:** o seu portal informativo sobre o universo da usinagem. Disponível em: <http://infousinagem.blogspot.com.br/2012/03/software-de-cam-o-que-sao-e-como_22.html>. Acesso em: 22 set. 2015.

FORCELLINI, F. A.; BACK, N. **Projeto de Produtos.** 2002, 160 p. Apostila do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina.

MACHADO, C. S. **Contribuição ao estudo de metodologia e morfologia de projeto mecânico.** Universidade Estadual de Campinas. Campinas: 1997.

MELLO, Willyams Bezerra. **Proposta de um Método Aberto de Projeto de Produto – Três Alternativas de Criação.** 2011. 141 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

NEIS, Patric Daniel. **APOSTILA DE PROJETO.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003. 70 f. Departamento de Engenharia Mecânica. Porto Alegre, 2003.

NÉRI, Antônio Carlos. **PARÂMETROS DE CORTE NA USINAGEM DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO.** 2003. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

NETO, Alfredo Iarozinski; FAVARETTO, Fábio. **Projeto conceitual: O projeto da “Forma” do produto.** V CBGDP Curitiba, PR, Brasil. PUC – PR. 12 de agosto de 2005.

OGLIARI, André. **Metodologia de Projeto em Engenharia Mecânica.** Capítulo 3 – Estrutura do processo de desenvolvimento de produtos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

OKABE, Eduardo Paiva. **Metodologia de projeto para desenvolvimento de suspensão veicular.** Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 158 p. Dissertação (Mestrado).

PAHLI, G.; WALLACE, K.; BEITZ, W.; **Engineering Design – A Systematic Approach,** Springer-Verlag, 2nd edition, 1995.

PAREDES, Miguel Eduardo Gutierrez. **Desenvolvimento de uma fresadora CNC aderente à norma STEP-NC baseado no controlador de máquina avançado (EMC2).** 2013. 227 f. Tese (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

PEREIRA, Milton. **METODOLOGIA DE PROJETO PARA SISTEMAS MECÂNICOS DE PRECISÃO RECONFIGURÁVEIS**. 2004. 156 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SILVA, Marco Antero Rodrigues. **PROJETO DE FABRICAÇÃO EM COMANDO NUMÉRICO DO CORPO DE UMA GUITARRA ELÉTRICA**. 2013. 73 f. Tese (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SILVEIRA, Ricardo Cesar Alves. **Desenvolvimento de um equipamento mecânico com controle numérico computadorizado para produção de protótipos em escala**. 2007. 147 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

TECMAF. **Engenharia Aplicações: Avanço de corte**. Disponível em: <<http://www.tecmaf.com.br/portugues/aplicacoes?id=6>>. Acesso em: 08 de nov. de 2015.

TECMAF Industria e Comercio Ltda. **Maior desempenho com melhor custo-benefício: Motores Spindle Tecmaf**.

TECNOFLEXO – Máquinas e Acessórios para sua CNC. **Motor de Passo 100Kgf.cm**. Disponível em: <http://www.tecnoflexo.com.br/site/index.asp?area=produto&id_produto=135>. Acesso em: 06 de Dez. de 2015.

THOMSON – Linear Motion. **Fusos de avanço, fusos de esfera e eixos estriados**. Thomson – a escolha para soluções de movimento otimizadas.

TORMACH – Enabling Your Ideas. **Replacement Parts**. Disponível em: <http://www.tormach.com/store/index.php?app=ecom&ns=catshow&ref=Replacement_Part>. Acesso em: 06 de Dez. de 2015.

ULLMANN, D. G., 1997. **The Mechanical Desing Process**. McGraw-Hill Companies, Inc. Singapore.

VASCONCELOS, L. A. L. **Uma investigação em metodologias de design**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 93. 2009.