



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RANIEL AZEVEDO PINHEIRO

**CONCEPÇÃO DE UMA DOBRADEIRA DE TUBOS PARA UMA EMPRESA DE
CALDEIRARIA**

MOSSORÓ

2018

RANIEL AZEVEDO PINHEIRO

**CONCEPÇÃO DE UMA DOBRADEIRA DE TUBOS PARA UMA EMPRESA DE
CALDEIRARIA**

Projeto de Conclusão de Curso II apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício José Nóbrega
Cavalcante

MOSSORÓ

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

P654c Pinheiro, Raniel
Azevedo.
Concepção de uma dobradeira de tubos para uma
empresa de caldeiraria / Raniel Azevedo Pinheiro.
- 2018.
63 f. : il.

Orientador: Fabrício José Nóbrega
Cavalcante. Monografia (graduação) -
Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2018.

1. Concepção. 2. Dobradeira. 3. Tubos. 4.
Máquina. 5. Caldeiraria. I. Cavalcante,
Fabrício José Nóbrega , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RANIEL AZEVEDO PINHEIRO

**CONCEPÇÃO DE UMA DOBRADEIRA DE TUBOS PARA UMA EMPRESA DE
CALDEIRARIA**

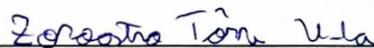
Projeto de Conclusão de Curso II apresentado
a Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Defendida em: 19 / 04 / 2018.

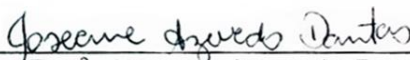
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Fabrício J. Nóbrega Cavalcante
Presidente



Prof. Dr. Zoroastro Torres Vilar
Membro



Eng.ª Joseane Azevedo Dantas
Membro

RESUMO

O trabalho apresenta um estudo acerca do desenvolvimento de uma concepção de uma dobradeira de tubos manual que será utilizada para dobrar tubos, de 48,3mm de diâmetro e 3,68mm de espessura, de aço AISI 1020, até um limite de 180°, por uma empresa de caldeiraria. Aplicando-se a metodologia de projeto de Pahl & Beitz é possível obter os requisitos necessários para o desenvolvimento deste produto, visto que esta é muito utilizada em indústrias e projetos. Com o auxílio de um software 3D, foi possível chegar à concepção, gerada na metodologia de projeto adotada. Analisando o ponto crítico do equipamento, foi possível observar que o componente sujeito a maior aplicação de esforços não irá falhar, bem como a deformação do tubo estará garantida. Além disso, os componentes são fixados de forma a permitir a sua troca.

Palavras-chave: Concepção. Dobradeira. Tubos. Máquina. Caldeiraria

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	7
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
3 REVISÃO DA LITERATURA	8
3.1 PROJETO	8
3.2 PRODUTO.....	10
3.3 METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTO	13
3.3.1 Projeto Informacional.....	15
3.3.1.1 Pesquisar informações sobre o tema do projeto	16
3.3.1.2 Identificar as necessidades dos clientes do projeto	17
3.3.1.3 Estabelecer os requisitos dos clientes.....	17
3.3.1.4 Estabelecer os requisitos do projeto	17
3.3.1.5 Hierarquizar as exigências do projeto	18
3.3.1.6 Estabelecer as especificações do projeto	18
3.3.2 Projeto Conceitual.....	18
3.3.2.1 Verificar o escopo do problema	20
3.3.2.2 Estabelecer a estrutura funcional.....	20
3.3.2.3 Pesquisa por princípio de solução	22
3.3.2.4 Combinar princípios de solução	22
3.3.2.5 Selecionar combinações	22
3.3.2.6 Evoluir em variantes de concepção	23
3.3.2.7 Avaliar concepções.....	23
3.3.3 Projeto Preliminar.....	23
3.3.4 Projeto Detalhado.....	24
3.3.4.1 Elaborar leiautes preliminares e desenhos de forma	27

3.3.4.2 Elaborar leiautes detalhados e desenhos de forma	27
3.3.4.3 Finalizar as verificações	27
3.3.4.4 Revisar o projeto.....	28
3.4 METODOLOGIAS SEGUNDO ALGUNS AUTORES	28
3.4.1 Metodologia segundo Pahl & Beitz.....	28
3.5 TENSÃO E RESISTÊNCIA.....	31
3.6 DOBRAMENTO EM TUBOS	33
4 METODOLOGIA.....	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O dobramento em tubos é bastante utilizado nas empresas de fabricação e montagem por ser um processo simples, muitas vezes é mais preferível do que uniões por solda ou parafusos, devido a continuidade na sua estrutura. A forma manual de dobrar tubos, que baseia-se na utilização da força do próprio operador para dobrar o tubo, é dentre as formas existentes, a mais empregada devido a maior simplicidade da máquina. Neste tipo de equipamento, a força necessária para a deformação deve ser igual ou inferior à capacidade física do operador.

Para que o desenvolvimento de uma dobradeira manual seja facilitado, é indispensável a aplicação de uma metodologia de projeto, que segundo Norton (2013) pode ser definida como uma aplicação da criatividade com o objetivo de achar uma solução para um determinado problema, pois, seguindo uma metodologia adequada, pode se gerar um produto que atenda às características requeridas pelo cliente. Esse é definido por Forcellini (2002) como um bem ou serviço que resulta de qualquer processo, sendo ele concebido, produzido, transacionado e usado pelas pessoas ou organizações devido as suas funções que desempenham e propriedades adquiridas, satisfazendo desejos ou necessidades de um mercado.

Em uma empresa de calderaria trabalha-se bastante com tubos de várias dimensões. Entretanto, em determinadas aplicações, utiliza-se tubos de 48,3mm de diâmetro com 3,68mm de espessura. O material do tubo geralmente é o AISI 1020, por ser uma aço de baixo custo e que atende diversas aplicações.

Com base nisso, o objetivo deste trabalho é desenvolver, através da aplicação de um modelo de metodologia de projeto, uma concepção de uma dobradeira de tubos manual para a empresa de caldeiraria, no qual o dobramento do tubo especificado tenha um ângulo máximo de 180°. Além disso, os componentes do equipamento devem ser concebidos de forma a facilitar sua manutenção e troca, permitir maior facilidade e rapidez de manuseio, bem como um menor esforço do operador para a curvatura do tubo, tornando-a utilizável a partir da não deformação do componente crítico do equipamento.

Um software de desenhos 2D e 3D é utilizado para o auxílio na concepção dos componentes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Empregar, a partir do estudo sobre metodologias de projeto de alguns autores, uma metodologia que seja mais adequada para a concepção de uma dobradeira de tubos manual que será utilizada por uma empresa de caldeiraria. Para auxiliar na concepção dos componentes do equipamento, um software para desenhos 2D e 3D, fórmulas e tabelas são usadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver a concepção de uma dobradeira de tubos manual para uma empresa de caldeiraria, com o objetivo de dobrar tubos com diâmetro de 48,3mm e espessura de 3,68mm de aço AISI 1020 até um limite de 180°;
- O componente sujeito ao maior esforço no momento da deformação, ou seja, o ponto crítico deve ser resistente à deformação durante o dobramento do tubo.
- Os componentes devem ser montados de tal forma que permita uma eventual troca ou manutenção dos mesmos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 PROJETO

Conforme afirmado por Shigley, Mischke e Budynas (2005), projeto pode ser definido como um plano com o objetivo de atender a necessidades específicas - como também, resolver problemas - ao qual deve ser funcional, seguro, confiável, competitivo, utilizável, condições de fabricação e comercialização, nos casos em que o plano gera um produto físico. As características requeridas por um projeto podem ser melhor explicadas como:

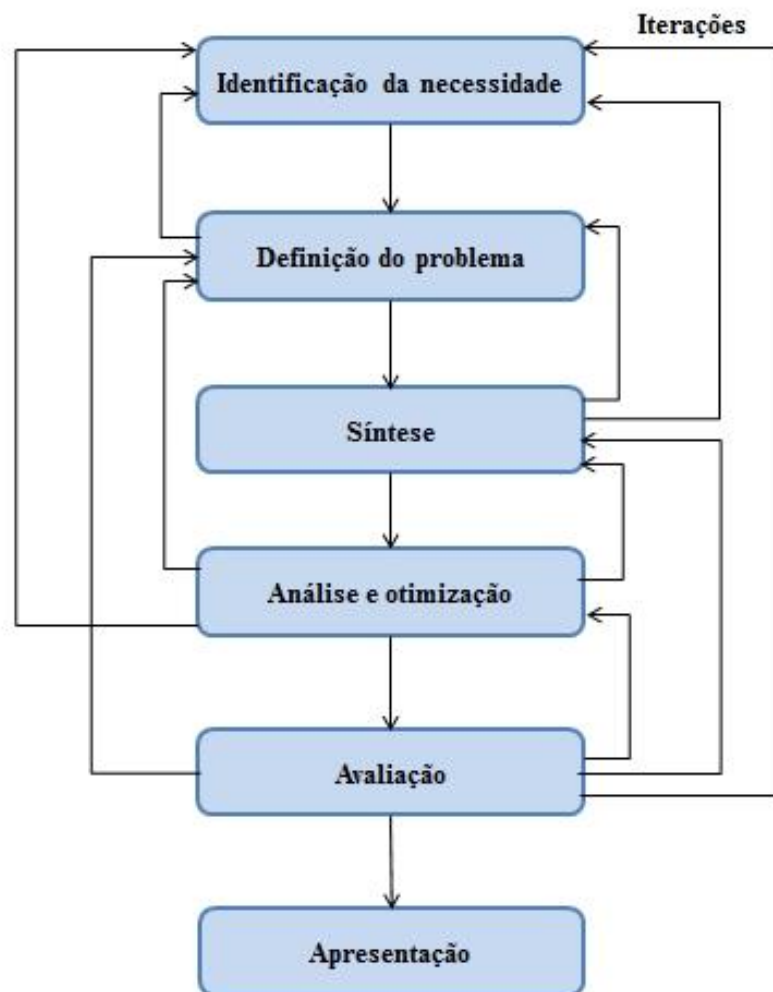
- Funcionalidade: atender às exigências do consumidor;
- Segurança: não oferecer riscos aos usuários ou ao ambiente;
- Confiabilidade: suas funções serão exercidas com determinado nível de confiança;
- Competitividade: ser imposto no mercado no nível ou acima dos seus concorrentes;
- Utilizável: ter condições de utilização abrangendo fatores de tamanho, postura e controle do usuário;
- Manufaturável: os componentes devem ser planejados de forma a ter condições de ser fabricado;
- Mercável: os consumidores devem ter acesso ao produto.

Aplicando-se o conceito de projeto na engenharia, tem-se a definição de projeto de engenharia, citada por Norton (2013), que consiste na aplicação de vários princípios científicos e técnicas com o objetivo de obter um dispositivo, um método ou um sistema suficientemente pormenorizado para permitir sua realização. Ainda segundo mesmo autor, uma máquina é definida como um aparato que consiste em unidades inter-relacionadas. Dessa forma, o projeto de máquinas consiste na criação de uma máquina que funcione bem, desempenhando suas funções desejadas, com segurança e confiabilidade. Estes objetivos são atingidos a partir do ato de dimensionar e dar formas às peças, escolher os materiais e o processo de fabricação da máquina.

Todo o processo de um projeto, do início ao fim, deve seguir determinadas etapas com o intuito de buscar opções de solução para o problema em questão e dentre elas tomar a

decisão de escolha da que mais se adequa a este. Dependendo da natureza do projeto, pode haver repetições de cada etapa, desde a identificação da necessidade, passando pela definição do problema, síntese, análise e otimização, avaliação, até a etapa final de apresentação, como mostrado na Figura 1. Essas repetições entre elas podem ser chamadas de iterações. (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005)

Figura 1: Etapas de projeto com várias iterações



Fonte: Adaptado de Shigley, Mischke e Budynas (2005)

Segundo Shigley, Mischke e Budynas (2005), cada etapa de projeto pode ser explicada da seguinte forma:

- Identificação da necessidade: etapa que geralmente dá início ao projeto, a identificação da necessidade surge a partir de uma determinada circunstância adversa em relação a algo em determinado momento;

- **Definição do problema:** nesta etapa deve conter todas as especificações para o objeto a ser projetado. Estas são as quantidades de entrada e saída (que definem o custo, quantidade a ser fabricada, vida útil esperada, temperatura de operação e confiabilidade), as características (velocidades, avanços, limitações de temperatura, de dimensão e peso) e limitações de ambas. Além disso, ainda há as especificações e limitações implícitas que resultam do ambiente do projetista, como o local de fabricação do produto ser inadequado, maquinário para fabricação inadequada e a falta de componentes, em catálogos, para a máquina projetada;
- **Síntese:** nesta etapa são colocadas em prática as ideias para solucionar o problema, gerando um produto. Este será posto por uma avaliação futura para que seja aperfeiçoado e capaz de solucionar o problema a um baixo custo, maior facilidade de fabricação, ocupando pouco espaço e dentre outras características;
- **Análise e otimização:** o produto gerado na síntese é analisado para avaliar se o seu nível desempenho é satisfatório. Quando esse não é satisfatório, o projeto é modificado para que se torne viável, quando é satisfatório, o produto passa por uma otimização para que se torne mais competitivo no mercado. É importante saber que as etapas de síntese, análise e otimização estão intimamente e repetidamente interligadas;
- **Avaliação:** na etapa de avaliação é escolhida a melhor opção dentre os produtos criados baseada nas análises feitas sobre custo-benefício do produto, sua confiabilidade, se será um bom concorrente, de fácil utilização e manutenção;
- **Apresentação:** é a etapa final e vital do projeto, onde este será transmitido a terceiros. Na etapa de apresentação, que pode ser considerada como um trabalho de venda, o projetista mostra como o seu produto foi desenvolvido, com o objetivo de convencer os ouvintes que o seu é a melhor opção, recebendo futuros investimentos ou mesmo ser comprado.

3.2 PRODUTO

Conforme afirmado por Forcellini (2002), produto pode ser definido como um bem ou serviço que resulta de qualquer processo, sendo ele concebido, produzido, transacionado e usado pelas pessoas ou organizações devido as suas funções que desempenham e propriedades adquiridas, satisfazendo desejos ou necessidades de um mercado.

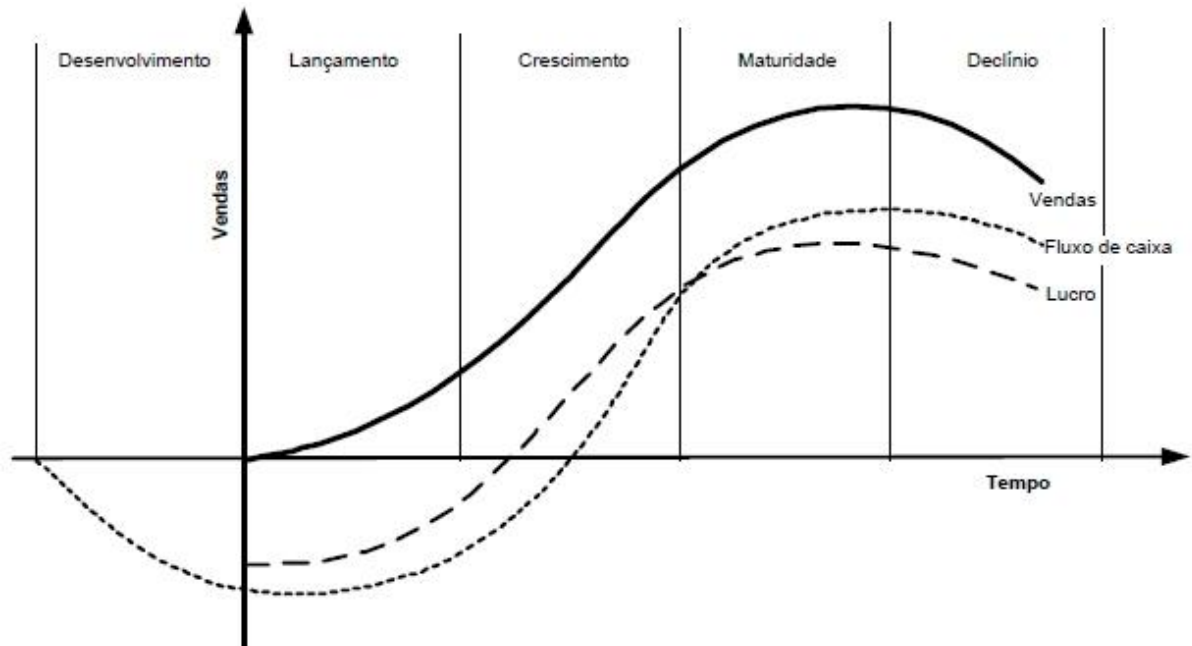
Um produto que é desenvolvido, introduzido em um mercado e que nunca foi fabricado por uma empresa é considerado como novo produto. Da mesma forma, o desenvolvimento de modificações e melhorias, novo tamanho e forma, de um produto já existente o caracterizará como novo produto, bem como a sua introdução em um novo mercado. (FORCELLINI,2002)

Segundo Forcellini (2002), os novos produtos podem ser classificados como:

- Variantes de produtos existente: são os produtos inclusos nas extensões de linha, modificações de uso e mercado, novas formas, versões modificadas e nova embalagem destes;
- Inovativos: são os produtos que resultam de modificações feitas em produtos existentes, possuindo um alto valor agregado. O grau de inovação deste produto é associado um tempo mais longo de desenvolvimento e maior custo de pesquisa;
- Criativos: são os produtos com existência nova, ou seja, que nunca foram vistos anteriormente. Estes produtos estão associados a um tempo de desenvolvimento longo, altos custos de pesquisa e desenvolvimento. Os riscos deste produto não ser bem sucedido no mercado são altos, entretanto, se a sua introdução no mercado for bem sucedida, imitadores produzirão o mesmo produto, mas com vantagem de não ter custos altos com pesquisa e desenvolvimento.

Todo produto possui um ciclo de vida, no qual associa os custos deste a partir do seu desenvolvimento o desaparecimento no mercado, como mostrado na Figura 2.

Figura 2: Ciclo de vida de um produto



Fonte: Forcellini (2002)

Nas fases de desenvolvimento e lançamento, os altos custos com pesquisa, desenvolvimento e introdução do produto no mercado resultam em lucros baixos ou negativos, por isso que esta fase caracteriza-se por ser de investimentos e de alto risco. Na fase de crescimento há um aumento nos lucros e, na fase de maturidade, uma estabilidade seguida de uma obtenção maior destes. Na fase de declínio, há uma diminuição nas vendas resultante de fatores, em sua maioria, de concorrência, como: aumento da concorrência com novos produtos, inovações tecnológicas que levam o produto a ficar obsoleto e mudança de hábito dos consumidores. Após esta fase, as empresas costumam abandonar estes produtos e produzir outros. (FORCELLINI,2002)

O ciclo de vida de um produto também pode ser representado com relação às atividades dos estágios na qual passa, mostrado na Figura 3.

Figura 3: Ciclo de vida de um produto com relação às atividades que o produto passa



Fonte: Adaptado de Forcellini (2002)

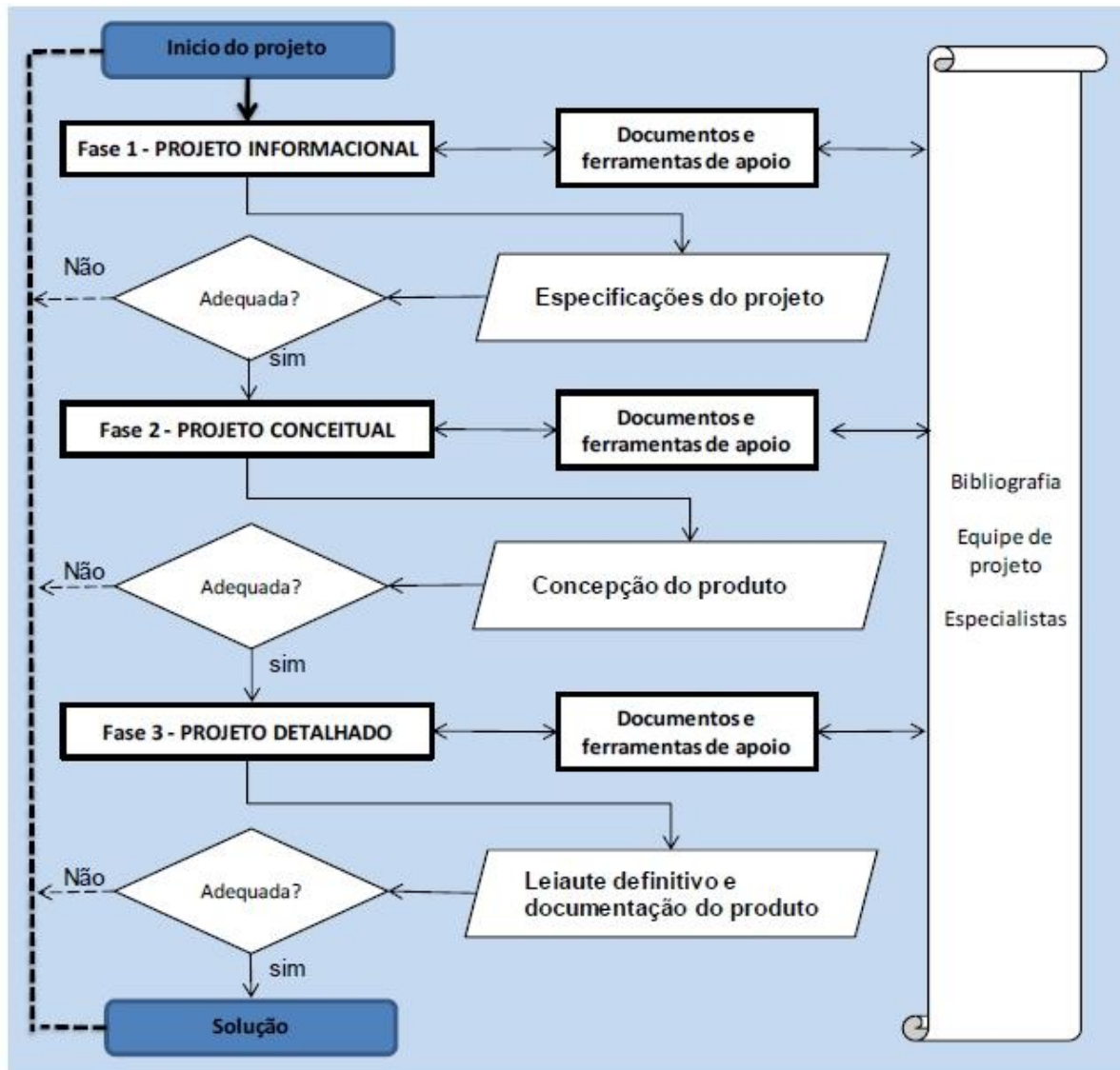
3.3 METODOLOGIA DE PROJETO DE PRODUTO

Segundo Norton (2013), a metodologia de projeto consiste essencialmente em uma aplicação da criatividade com o intuito de achar uma solução para um determinado problema. Para ajudar a organizar um “problema não estruturado”, ou seja, problemas que possuem definição vaga e com muitas soluções, foram criadas várias metodologias de projeto. Estas metodologias possuem desde algumas etapas até uma lista detalhadas com 25 etapas. Dessa forma, cabe ao projetista escolher qual oferece melhor solução ao seu projeto.

Dentre os modelos de metodologias, há um modelo que se destaca, conforme afirmado por Ferreira (1997) e Ogliari (1999), este é o modelo consensual que pode ser dividido em

etapas de projeto informacional, projeto conceitual e projeto detalhado, como mostrado na Figura 4 abaixo.

Figura 4: Fases de desenvolvimento de projeto



Fonte: Reis (2003, apud MICHELS, 2012)

No projeto informacional, fase um, são definidas as especificações do produto, que irão guiar as etapas posteriores, e os problemas envolvidos. Para tais, são feitas pesquisas sobre o assunto, buscando informações que serão utilizadas no desenvolvimento do projeto, que incluem análises de mercado e de leis vigentes. (MICHELS, 2012)

As especificações definidas no projeto informacional são de fundamental importância para a etapa posterior, o projeto conceitual, que consiste na fase no qual gera, a partir de uma

necessidade detectada e esclarecida, uma concepção para o produto que atenda, da melhor forma possível, esta necessidade. (FORCELLINI,2002)

A concepção gerada no projeto conceitual permite dar início a terceira fase do desenvolvimento de um produto, o projeto detalhado. Nesta etapa, o produto passa por uma evolução, passando de concepção para leiautes definitivos, onde as dimensões, formas, e tolerâncias de todos os componentes devem ser finalmente fixadas. (REIS, 2003)

3.3.1 Projeto Informacional

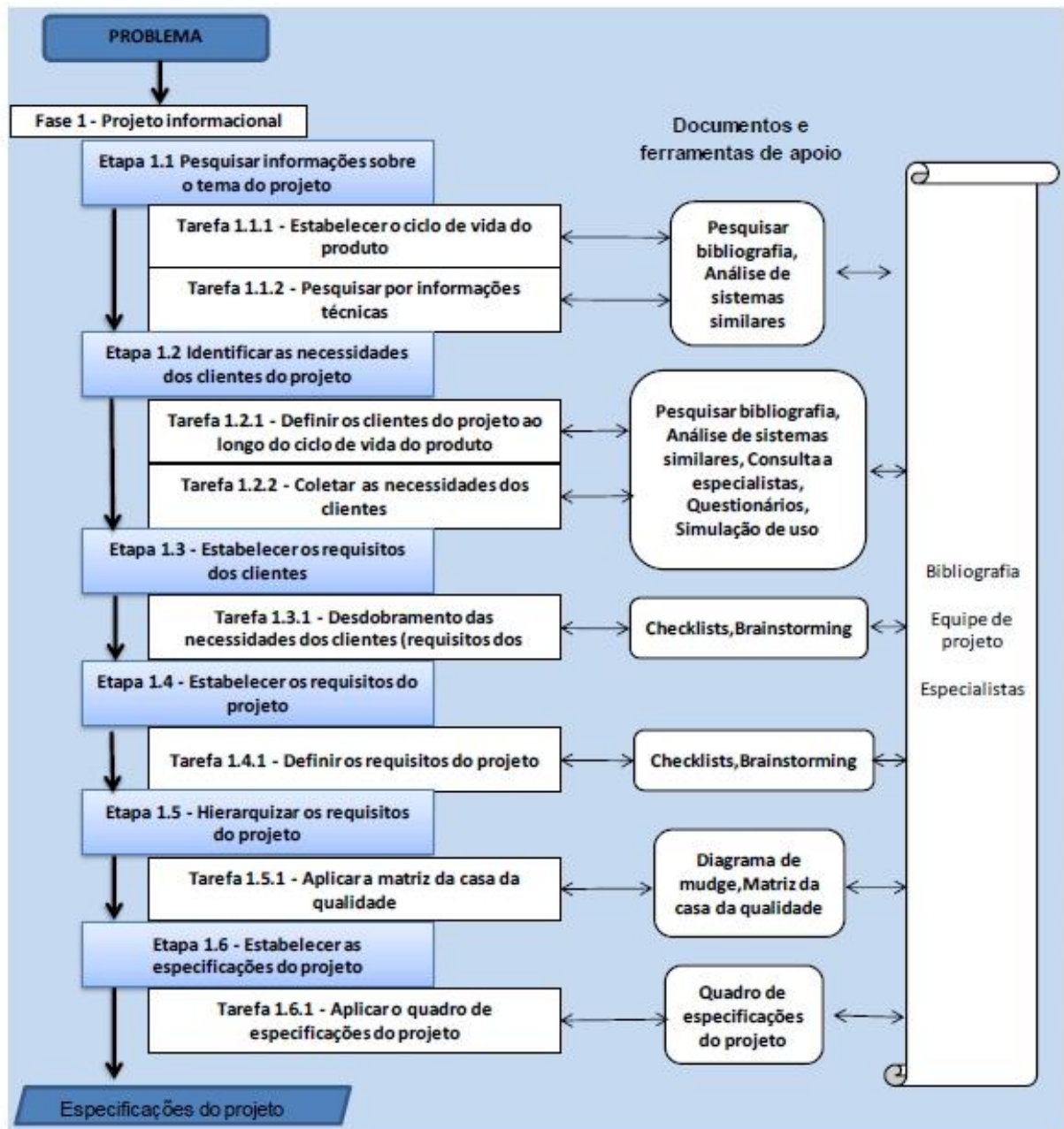
Conforme afirmado por Forcellini (2002) e Reis (2003), o primeiro passo nesta etapa de projeto é a análise detalhada do problema que deu origem a necessidade do desenvolvimento de um novo produto. Esta análise é feita a partir da busca de informações necessárias para o entendimento do problema.

As informações levantadas no planejamento, e em outras fontes, são reunidas e desenvolvidas para que se tornem o mais completa possível, servindo de base para montar os critérios de avaliação e de tomada de decisão, que serão utilizados nas etapas posteriores. (ROZENFELD et al., 2006)

Após o desenvolvimento das informações, um conjunto de objetivos no qual o produto deverá atender é definido, este chamado de especificação de projeto, no qual serve de base para definir as funções, propriedades requeridas do produto e possíveis restrições com relação a ele e ao próprio processo de projeto. (ROOZENBURG & EEKELS)

As etapas do projeto informacional são mostradas na Figura 5.

Figura 5: Etapas do projeto informacional



Fonte: Reis (2003, apud MICHELS, 2012)

3.3.1.1 Pesquisar informações sobre o tema do projeto

Os produtos são, em sua maioria, sistemas técnicos caracterizados pelo uso de subsistemas e componentes mecânicos. Dessa forma, é possível utilizar o ciclo de vida de produtos semelhantes para estudos e pesquisas do produto a ser projetado. (REIS, 2003)

3.3.1.2 Identificar as necessidades dos clientes do projeto

Esta etapa é de grande importância, pois nela são definidos os clientes que irão ter interesse pelo produto. (MICHELS, 2012)

Logo após, conforme afirmado por Reis (2013), nesta etapa as necessidades dos clientes devem ser levantadas para cada fase do ciclo de vida do produto, podendo ser auxiliada por pesquisa bibliográfica, análise de sistemas técnicos similares, consulta a especialistas, simulações de uso e questionário aos clientes do produto. A este último deve-se dar uma atenção especial, pois mesmo que os desejos dos clientes sejam redundantes, estes representam as características do produto, conforme citado por Rozenfeld et al. (2006).

3.3.1.3 Estabelecer os requisitos dos clientes

Após análise adequada dos dados obtidos das necessidades dos clientes, estas são listadas e tratadas para serem convertidas em dados técnicos, ou seja, em requisitos do projeto. Esta conversão não pode deixar de ser feita, pois os dados obtidos, se não tratados adequadamente, são subjetivos, impossibilitando a sua aplicação no projeto. (ROMANO, 2003; ROZENFELD et al., 2006)

3.3.1.4 Estabelecer os requisitos do projeto

Segundo Rozenfeld et al. (2006), os requisitos de projeto são definidos a partir dos requisitos dos clientes, sendo assim a primeira decisão física a ser tomada sobre o produto projetado. Dessa forma, passam a existir parâmetros mensuráveis das características do produto.

De forma complementar, Back (2008) define requisitos de projeto como propriedades dos produtos ao qual podem ser modificadas para satisfazer os clientes. Estes requisitos, conforme citado por Fonseca (2000), podem ser classificadas em gerais e específicas, onde nos requisitos gerais estão os parâmetros básicos e de ciclo de vida e nos específicos, estão os parâmetros relacionados ao sistema técnico do produto, como materiais, de energia e controle.

3.3.1.5 Hierarquizar as exigências do projeto

Nesta etapa, inicialmente, é necessário valorizar os requisitos dos clientes. Isto é feito com a aplicação do diagrama de Mudge, com o objetivo de classificar os requisitos mais importantes. Esta classificação é imprescindível para aplicação posterior da matriz de qualidade ou primeira matriz do QFD (*Quality Function Deployment* – Desdobramento da função qualidade). (ROMANO, 2003)

A ferramenta QFD tem a função de relacionar as exigências dos clientes com requisitos de projeto com o objetivo de mensurar estes, onde, quando aplicados no projeto, se tornam características de qualidade. (ROZENFELD et al., 2006)

3.3.1.6 Estabelecer as especificações do projeto

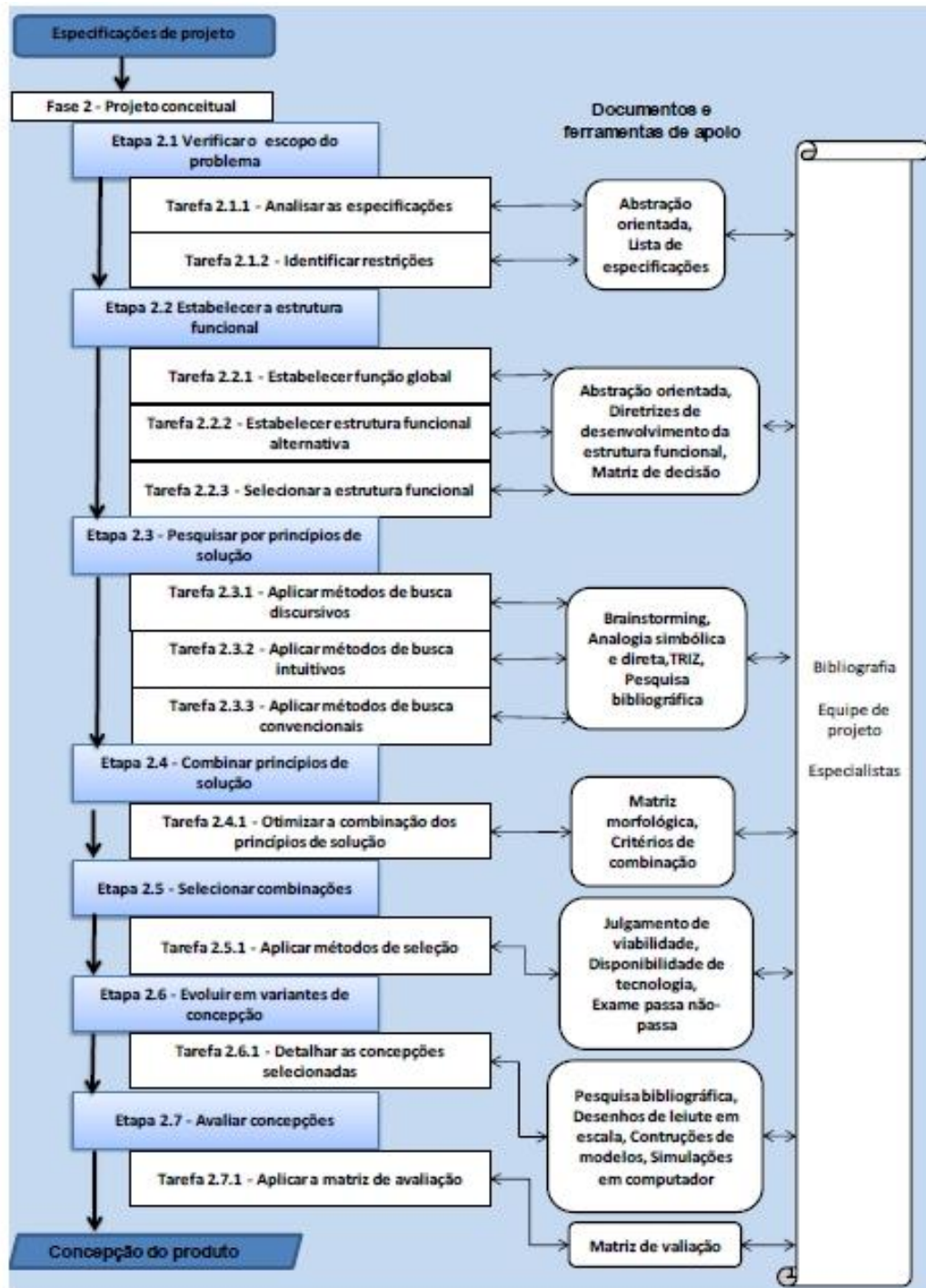
Segundo Forcellini (2002), apenas os requisitos obtidos com o QFD não são suficientes para determinar os objetivos a serem alcançados no projeto. Assim, cada um destes deverá ser associado a um grau de meta, formando o quadro de especificações. Neste quadro, conforme citado por Fonseca (2000), cada requisito deverá estar associado à mais três informações: que são: as metas a serem atingidas pelos requisitos, expressa de forma quantitativa; forma de avaliação da meta, para determinar o seu cumprimento; e os processos que devem ser evitados durante a evolução dos requisitos.

3.3.2 Projeto Conceitual

Conforme afirmado por Ferreira (1997), a etapa denominada de projeto conceitual é a fase do projeto no qual gera, a partir de uma necessidade bem esclarecida anteriormente, uma concepção para um produto que atenda, da melhor maneira possível, esta necessidade. Esta concepção pode estar sujeita às limitações de recursos e restrições de projetos.

A Figura 6 mostra as etapas que constituem o projeto conceitual.

Figura 6: Etapas do projeto conceitual



Fonte: Reis (2003, apud MICHELS, 2012)

As diversas tarefas realizadas nesta etapa buscam estabelecer a estrutura funcional do produto, que envolve a definição da função global a ser executada pelo produto e suas sub-funções. (ROMANO, 2003)

3.3.2.1 Verificar o escopo do problema

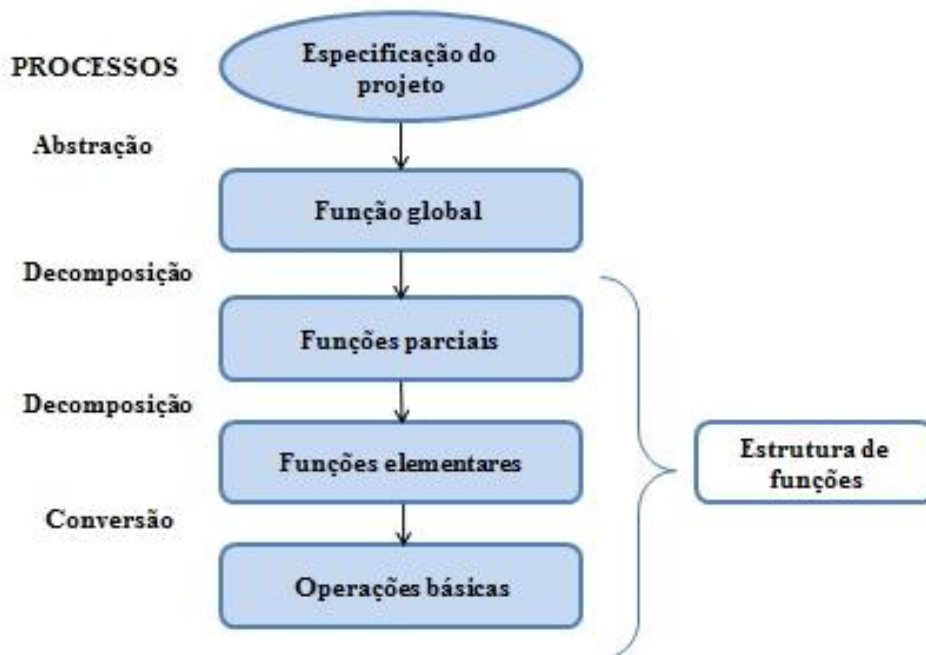
Segundo Forcellini (2002), é necessário fazer um estudo compreensivo do problema no campo abstrato para que melhores soluções sejam encontradas para o mesmo. Nesse sentido, Pahl e Beitz (1996, apud FORCELLINI, 2002) afirmam que o abstrato tem o sentido de não se concentrar no particular ou casual, mas no que é geral e essencial.

O resultado desse estudo conduzirá a uma melhor solução do problema, e proporcionará um melhor entendimento da tarefa de projeto, sendo assim, imprescindível para o êxito nas etapas posteriores do projeto. (FORCELLINI, 2002)

3.3.2.2 Estabelecer a estrutura funcional

A partir do estabelecimento da função global na etapa anterior, será possível obter a estrutura das funções elementares ou básicas, no caso de se trabalhar com funções de baixa complexidade ou padronizadas. O processo de obtenção das funções elementares é mostrado na Figura 7 abaixo. (FORCELLINI, 2002)

Figura 7: Tarefas e processos envolvidos na análise funcional



Fonte: Forcellini (2002)

Os principais termos técnicos utilizados nesta etapa do projeto são mostrados e definidos no Quadro 1. Utilizando estes conceitos corretamente serão evitados erros de interpretação entre eles. (FORCELLINI, 2002)

Quadro 1: Principais conceitos na etapa de análise funcional

TERMO	SIGNIFICADO
Função	Relação entre as entradas e saídas (em termos de energia, material e sinal) de um sistema que tem o propósito de desempenhar uma tarefa.
Função global	Expressa a relação entre as entradas e saídas de todas as quantidades envolvidas, assim como suas propriedades. É a função última do sistema técnico.
Função parcial	Ou subfunção, divisão da função global com menor grau de complexidade.
Função auxiliar	Contribui para a função global de uma forma indireta. Tem caráter complementar ou de apoio.
Função elementar	Último nível de desdobramento da função global, não admitindo subdivisão.
Estrutura funcional	Combinação de funções parciais representativas da função global do sistema.

Fonte: Adaptado de Forcellini (2002)

A subdivisão da função global tem como objetivo facilitar a busca por princípios de solução. Se o projeto do produto em andamento corresponder a uma variação de um já existente, pode ser criada uma estrutura funcional com referência no produto que já existe. Essa abordagem é útil para desenvolvimentos onde, ao menos, uma solução com a estrutura funcional é conhecida e o problema principal consiste na descoberta de soluções melhores. É recomendado também a criação de estruturas funcionais alternativas que trazem sempre uma solução diferente para o problema. (FORCELLINI, 2002)

3.3.2.3 Pesquisa por princípio de solução

Segundo Reis (2003) e Forcellini (2002), nesta etapa do projeto, passa-se do abstrato ao concreto, da função à forma, no qual é atribuído um princípio de solução a cada uma das subfunções da etapa anterior. Para buscar estas soluções existem três métodos, conforme cita Forcellini (2002), convencionais, intuitivos e discursivos, como mostra a Quadro 2.

Quadro 2: Métodos utilizados na busca por princípios de solução

CLASSIFICAÇÃO	MÉTODO
Convencionais	Pesquisa bibliográfica; Análise de sistemas naturais; Análise de sistemas técnicos existentes; Analogias; Medições e testes em modelos.
Intuitivos	<i>Brainstorming</i> ; Método 635; Método Delphi; Sinergia; Analogia direta; Analogia simbólica; Combinação de métodos.
Discursivos	Estudo sistemático de sistemas técnicos; Estudo sistemático com o uso de esquemas de classificação; Uso de catálogo de projeto; TRIZ – teoria da solução de problemas inventivos; Método da matriz morfológica.

Fonte: Adaptado de Forcellini (2002)

3.3.2.4 Combinar princípios de solução

Nesta etapa, após a obtenção dos princípios de solução para cada função da estrutura funcional, estes são combinados com o objetivo de atender a função global do sistema.

Segundo Pahl et al. (2005, apud MICHELS, 2012), a aplicação de uma matriz morfológica estabelece combinações de princípios de solução entre as subfunções da estrutura funcional. A matriz é feita contendo as funções que devem ser satisfeitas na primeira coluna, nas linhas correspondentes, devem conter os inícios de solução proposto.

3.3.2.5 Selecionar combinações

Reis (2003) indica o uso de métodos sistemáticos de seleção de princípios com o objetivo de diminuir os riscos de eliminação de uma proposta promissora. O autor também

aconselha a utilização de métodos que se adaptem às poucas informações contidas na etapa anterior.

3.3.2.6 Evoluir em variantes de concepção

French (apud MICHELS, 2012) cita que, nesta etapa as concepções devem estar detalhadas de forma a possibilitar a continuidade do projeto. Dessa forma, a concepção deve ser desenvolvida a fim de ter fixado cada meio de desempenhar cada uma das principais funções, bem como relações espaciais e estruturais dos principais componentes. Adicionalmente, a concepção deve ser detalhada de tal forma a permitir o cálculo aproximado de dimensões gerais e peso, para que a exequibilidade possa ser garantida.

3.3.2.7 Avaliar concepções

O principal objetivo desta etapa é, dentre as concepções geradas pelas atividades anteriores, selecionar o melhor dos conceitos e qual será transformado em produto final. Para que isso seja feito, é necessário o uso de métodos ou procedimentos sistemáticos que se adequem à limitação de informações e auxiliem a escolha da concepção. (ROZENFELD, 2006)

De acordo com Pahl et al. (2005, apud MICHELS, 2012), um método de seleção mais utilizado é o de matriz de decisão, no qual utiliza critérios de avaliação que são os requisitos dos clientes ou especificações.

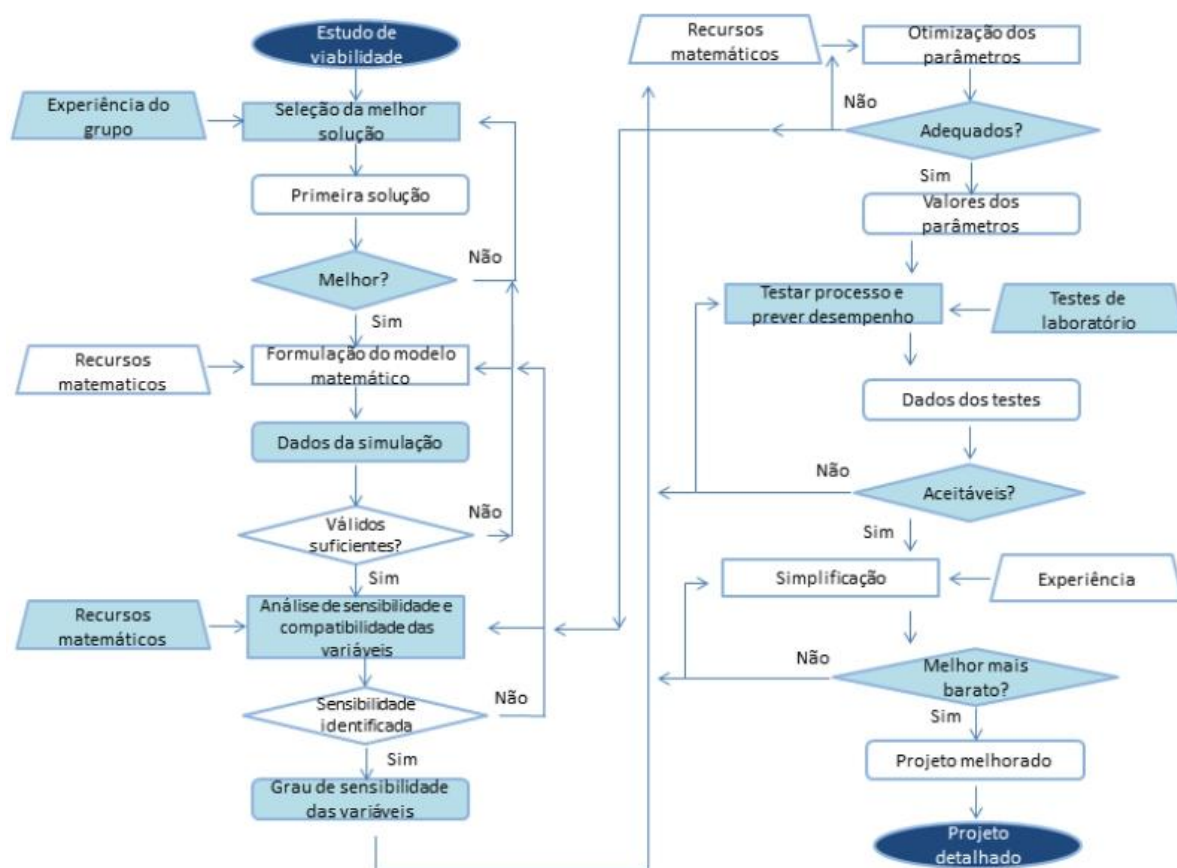
3.3.3 Projeto Preliminar

A fase de projeto preliminar tem como objetivo obter o detalhamento inicial das concepções do projeto. São desenvolvidas no projeto preliminar as atividades que objetivam elaborar leiautes preliminares e detalhados, além dos desenhos de formas do projeto. (ROMANO, 2003)

Segundo Machado (1997), antes do início do projeto detalhado, os engenheiros capacitados devem realizar estudos detalhados de viabilidade, com o objetivo de comprovar

que o projeto é fisicamente viável e funcional. As etapas do projeto preliminar são mostradas, com detalhes, na Figura 8.

Figura 8: Etapas do projeto preliminar



Fonte: Machado (1997, apud AZEVEDO, 2014, p 29)

É recomendada a produção de vários leiautes, para que depois sejam analisadas as qualidades de cada leiaute, bem como seus defeitos, podendo se fazer observações de sugestões que possa ser adicionada ao projeto.

3.3.4 Projeto Detalhado

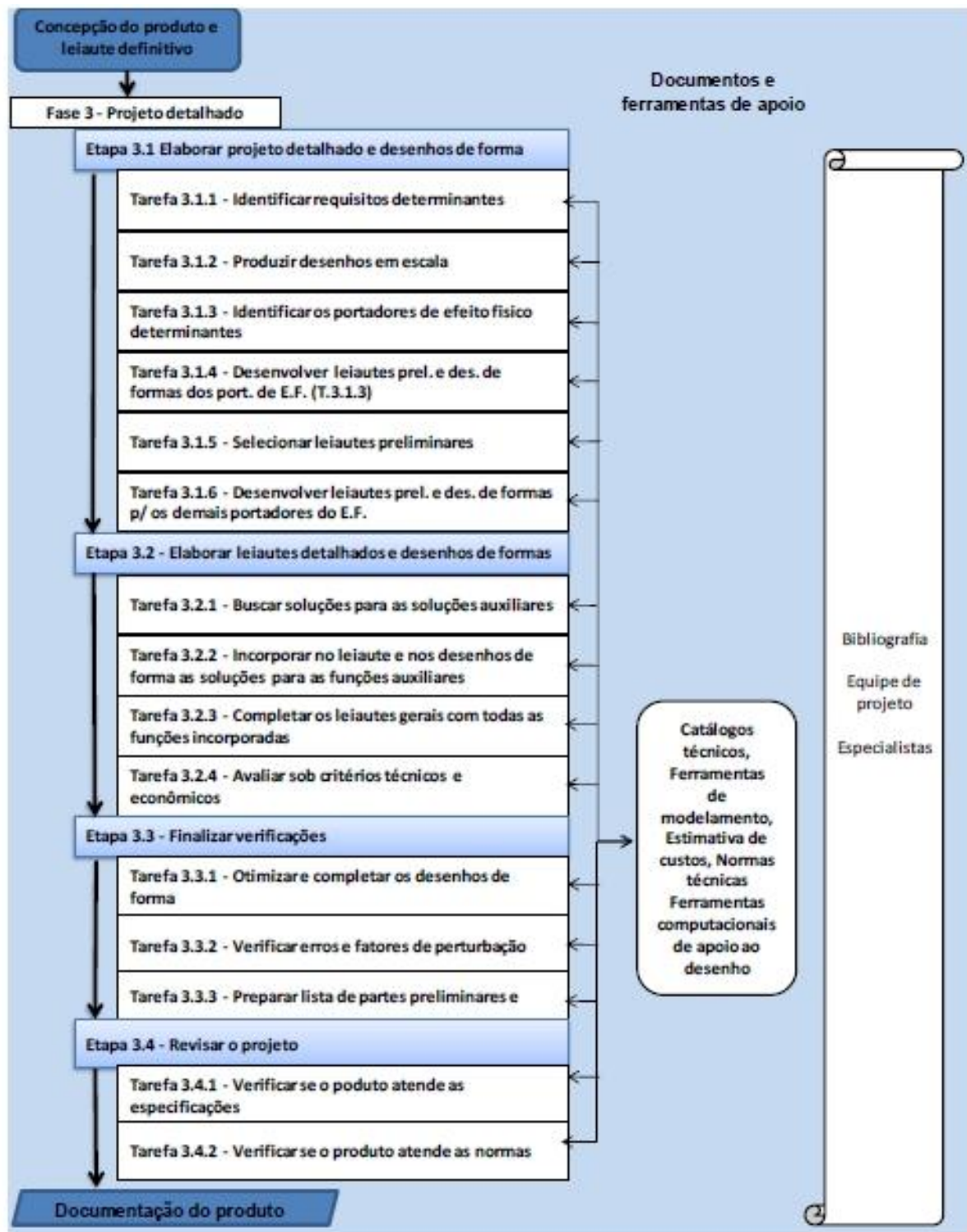
Partindo da concepção do produto, esta é a etapa em que o desenvolvimento do projeto é guiado a partir de critérios técnicos, econômicos e informações adicionais até sua conclusão e encaminhamento à produção. É no projeto detalhado que o modelo do produto desenvolve-se de concepção a leiaute definitivo, no qual possa ser feita uma verificação clara da função,

durabilidade, produção, montagem, operação e custos. Além disso, com toda a documentação necessária para a produção do produto também é feita. (PAHL E BEITZ, 1996 apud FORCELLINI; BACK, 2002)

O nível de detalhamento deve incluir o estabelecimento do leiaute definitivo (arranjo geral e compatibilidade espacial), projeto preliminar das formas (formas dos componentes e matérias), procedimentos de produção e estabelecimento de soluções para qualquer função auxiliar. (PAHL E BEITZ, 1996 apud FORCELLINI; BACK, 2002)

Back et al. (2008) e Machado (1997) afirmam que, nesta fase se estabelece um programa do projeto, no qual, seguindo este, o projeto detalhado ou especificações são efetuadas. As capacidades são determinadas, as dimensões são calculadas, o desgaste é considerado, componentes são detalhados e dentre outros. Logo, todos os componentes são bem definidos, testados e modificados de acordo com as exigências, tornando a máquina ou sistema inteiramente desenvolvido, ou seja, chega-se a um produto fabricável. As etapas do projeto detalhado são mostradas na Figura 9.

Figura 9: Etapas do projeto detalhado



Fonte: Reis (2003, apud MICHELS, 2012)

3.3.4.1 Elaborar leiautes preliminares e desenhos de forma

Conforme citado por Reis (2003, apud MICHELS, 2012), esta etapa é decomposta em quatro tarefas, são elas:

- Identificação de requisitos determinantes;
- Produção de desenhos em escala;
- Identificação dos portadores de efeito físico determinantes;
- Desenvolver leiautes preliminares e desenhos de forma.

3.3.4.2 Elaborar leiautes detalhados e desenhos de forma

Nesta etapa, a atenção às normas referentes à área de domínio do produto e normas gerais de produção e produção é imprescindível, além disso, os parâmetros envolvidos devem ser calculados. (REIS, apud MICHELS, 2012)

No início desta etapa, deve-se, antes de tudo, definir quais funções auxiliares essenciais serão necessárias de acordo com a proposta em uso. Estas funções são solucionadas, de preferência, com peças padronizadas ou encontradas em catálogos. (BACK et al., 2008)

Posteriormente, o passo seguinte é integrar as soluções das funções auxiliares no leiaute e nos desenhos de forma de acordo com as regras básicas (clareza, simplicidade e segurança) e todas as diretrizes de projeto. (PAHL et al., 2005 apud MICHELS, 2012)

3.3.4.3 Finalizar as verificações

As principais tarefas nesta etapa citada por Reis (2003, apud MICHELS, 2012) são:

- Aperfeiçoar e completar os desenhos de forma;
- Verificar erros e fatores de perturbação;
- Preparar lista de partes preliminares e documentos iniciais para a produção.

3.3.4.4 Revisar o projeto

Sendo a ultima etapa do projeto detalhado, nesta é feita uma verificação do produto para garantir que este atende às especificações e as normas estabelecidas para que possa cumprir a função primordial do projeto. (MICHELS, 2012)

3.4 METODOLOGIAS SEGUNDO ALGUNS AUTORES

Existem na literatura diversas metodologias de projeto, estas são caracterizadas conforme a definição de cada autor, nas quais possuem diferentes estruturas de processo do produto, desde o seu inicio até o final. Algumas das metodologias existentes na literatura propostas por diferentes autores são:

- Metodologia segundo Asimow;
- Metodologia segundo Ertas e Jones;
- Metodologia segundo Coryell;
- Metodologia segundo Pahl & Beitz;
- Metodologia segundo Clausing;
- Metodologia segundo VDI 222.

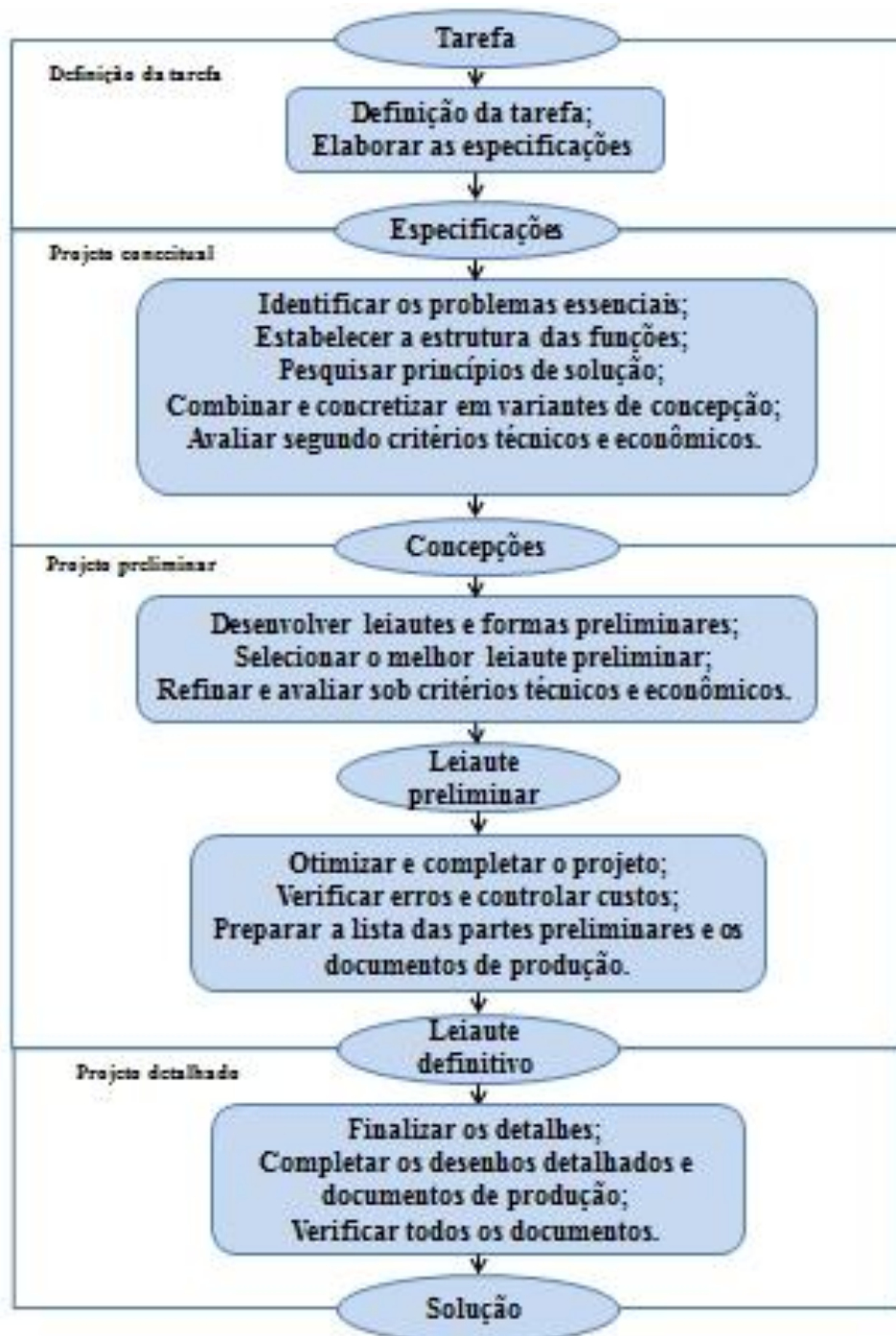
3.4.1 Metodologia segundo Pahl & Beitz

A metodologia proposta por Pahl & Beitz é baseada em anos de estudo e aplicação dos procedimentos sistemáticos no desenvolvimento de produtos. Esta metodologia é considerada como clássica para o projeto de produtos e reflete a linha de pesquisa básica alemã na área de projeto de produtos. (FORCELLINI; BACK, 2002)

A metodologia proposta por tais autores realiza a percepção e modelagem do problema do projeto. Ainda em relação à metodologia, o objetivo do projeto é tratado como um sistema técnico que transforma energia, material e informação, onde seu comportamento funcional é totalmente regido por princípios físicos que podem ser explicados a partir de leis físicas. (FORCELLINI; BACK, 2002)

O processo de projeto dessa metodologia é dividido em quatro fases principais: definição de tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado, como mostrado na Figura 10.

Figura 10: Modelo da metodologia de Pahl & Beitz



Fonte: Adaptado de Forcellini (2002)

Conforme citado por Forcellini e Back (2002), o estudo do problema na etapa de definição da tarefa (primeira fase) resulta na criação de uma lista de requisitos, com o objetivo de focar a função requerida, as grandezas de entrada e saída, e as perturbações externas ao problema. Esta lista pode conter requisitos de importância obrigatória e desejáveis, sempre atendendo, primeiramente, aos obrigatórios e aos desejáveis de acordo com fatores econômicos. A conclusão da etapa de definição de tarefa dar-se através do comum acordo entre os diversos setores (gerentes, financeiro, técnicos, consumidores e etc.) sobre a lista elaborada. Dessa forma, tem-se a base para as etapas seguintes.

A segunda fase desta metodologia, segundo Forcellini (2002), é o projeto conceitual, que pode ser subdividido em:

- Identificação dos problemas essenciais;
- Estabelecimento da estrutura da função;
- Busca pelos princípios de solução;
- Combinação destes princípios, concretizando-os em variantes de concepção;
- Avaliação baseada nos critérios técnicos e econômicos.

Com a definição do problema central, é estabelecida uma função global que se baseia em uma série de fatores, como fluxo de energia, material, expressando a relação entre as entradas e saídas. Esta função global se subdivide em subfunções menos complexas, estabelecendo, ao final, uma estrutura de funções. (FORCELLINI, 2002)

Deve ser realizada uma pesquisa por princípios de soluções para que as subfunções sejam satisfeitas. Para concretizar este passo, é necessária uma pesquisa bibliográfica, análise de sistemas existentes e etc. Além disso, métodos intuitivos também são utilizados, como o brainstorming, método 365, além de métodos discursivos. (FORCELLINI, 2002)

De acordo com Forcellini (2002), após a busca pelos princípios de solução, é feita uma combinação destes com o objetivo de satisfazer a função global. Pode-se utilizar de esquemas de classificação conhecidos, como matriz morfológica, que associa as funções à suas possíveis soluções correspondentes.

Após isso, é feita uma seleção de combinações, eliminando as combinações que são impraticáveis. As praticáveis restantes são ordenadas de acordo com os seguintes critérios: compatibilidade com a tarefa global, satisfação dos requisitos obrigatórios, desempenho, custos, ergonomia, segurança e preferencia de pessoal. (FORCELLINI, 2002)

A concretização em variantes de concepção tem como objetivo coletar mais informações a respeito das possíveis combinações, mas considerando um maior número de critérios. (FORCELLINI, 2002)

Por último, é feita a avaliação das variantes de concepção, que tem como objetivo comparar as soluções apresentadas, a fim de estabelecer as melhores. Geralmente a análise utilizada é a de valor, onde é estabelecido o valor de uso de uma solução a partir de orientações. (FORCELLINI, 2002)

O projeto preliminar é iniciado com uma concepção avaliada de forma técnica e econômica. O objetivo desta etapa é satisfazer uma certa função com forma dos componentes e materiais adequados. O projeto da forma deve ser iniciado em escala, tomando como base os requisitos espaciais, critérios de segurança, ergonomia, produção, montagem, operação, manutenção e custos. (FORCELLINI, 2002)

O projeto detalhado é o complemento do projeto preliminar, onde, nessa fase, são estabelecidas as decisões quanto a forma, medidas, acabamento, matérias. Além disso é feita uma reavaliação do projeto e dos custos de fabricação. (FORCELLINI, 2002)

3.5 TENSÃO E RESISTÊNCIA

Segundo Shigley, Mischke e Budynas (2005), muitas máquinas e equipamentos dependem da capacidade o engenheiro projetista em ajustar o valor da tensão em pontos específicos, com o objetivo de alcançar níveis menores do que o material pode resistir. Assim, o projetista deve garantir que o valor da tensão aplicada nesses pontos fique longe do valor limite, para que as falhas ocorram com menor frequência possível. As condições para a análise dos parâmetros de tensão-resistência em determinados produtos são a geometria e as condições de uso.

Resistência pode ser definida como uma propriedade de um material ou de um elemento mecânico que depende da escolha, do tratamento e do processamento do material. Adicionalmente, pode ser considerada como o valor de tensão onde ocorre algo de interesse que interfere na vida do produto, como escoamento, limite de proporcionalidade, deformação, fratura ou perdas de função. (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005)

Ainda segundo os autores citados anteriormente, tensão é definida como uma propriedade de estado de um corpo, que é função da carga, geometria, temperatura e do processo de manufatura. A sua relação com a resistência é um dos principais objetos de

estudo nos projetos de máquinas, onde os projetistas devem fazer esta relação com o objetivo de alcançar um projeto seguro, econômico e eficiente. (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005)

Shigley, Mischke e Budynas (2005), apresentam a Tabela 1 com resistências mínimas ao escoamento (S_y) e à tração (S_u) para alguns aços da ASTM (*American Society for Testing and Materials*), como dado nas especificações do AISC (*American Institute of Steel Construction*).

Tabela 1: Resistências mínimas especificadas de alguns aços ASTM

TIPO DE AÇO	ASTM N°	S_y (MPa)	S_u (MPa)	TAMANHO ATÉ (mm)
Carbono	A36	250	400	203,2
Carbono	A529	290	414	12,7
Baixa liga	A572	290	414	152,4
Baixa liga	A572	345	448	50,8
Inoxidável	A588	345	483	101,6
Liga Q&T*	A514	690	758	63,5

*Q&T (Quenching & Tempering) significa aço submetido aos tratamentos térmicos de têmpera e revenido.

Fonte: Adaptado de Shigley, Mischke e Budynas (2005)

Ainda de acordo com a AISC, σ_{all} e τ_{all} significam tensão normal admissível e tensão de cisalhamento admissível, respectivamente. A relação entre estas e as resistências mínimas especificadas na tabela acima pode ser definida de acordo com o tipo de esforço, como mostra a Tabela 2:

Tabela 2: Relações das tensões admissíveis e das resistências mínimas ao escoamento de acordo com o tipo de esforço

TIPO DE ESFORÇO	RELAÇÃO COM S_y
Tração	$0,45S_y \leq \sigma_{all} \leq 0,60S_y$
Cisalhamento	$\tau_{all} = 0,40S_y$
Flexão	$0,60S_y \leq \sigma_{all} \leq 0,75S_y$
Suporte	$\tau_{all} = 0,90S_y$

Fonte: Adaptado de Shigley, Mischke e Budynas (2005)

Dimensionando um componente a partir das tensões de projeto (σ e τ) calculadas com o auxílio de forças, tem-se que:

$$\bullet \quad \sigma \leq \sigma_{all} \quad \text{e} \quad \tau \leq \tau_{all}.$$

3.6 DOBRAMENTO EM TUBOS

Com o objetivo de minimizar aplicações de soldas ou qualquer outro tipo de união em tubos, uma boa opção é utilizar o dobramento, pois descontinuidades são evitadas e são reduzidas o numero de imperfeições.

Para a realização desse processo, é utilizada a máquina de dobramento ou dobradeira, na qual exerce uma tensão maior que a resistência ao escoamento do material, fazendo com que o mesmo seja deformado plasticamente.

Dentre os vários tipos de dobradeira estão as manuais, com motor elétrico, e hidráulico. As mais usuais de dobradeira são as manuais (que será objeto de estudo deste trabalho) mostrada na Figura 11, pois através de mecanismos simples utilizam a força do próprio operador para realizar a deformação.

Figura 11: Dobradeira de tubos manual



Fonte: Azevedo (2014)

Os componentes enumerados na Figura acima são: (1) punho fixador, (2) gancho fixador, (3) polia matriz, (4) sapata de conformação e (5) punho pivotante.

Esta máquina é utilizada principalmente em tubos com pequenas dimensões, pois a força necessária para a deformação deve ser igual ou inferior a capacidade física do operador. Segundo Dias (2008), a média de esforço braçal máximo alcançado por um homem adulto é de 400N. Esta força aplicada deve ser maior que o momento plástico (M_p), força necessária para a deformação plástica do tubo, que pode ser encontrado fazendo-se uma analogia com a resistência a flexão, para que o sistema manual funcione com boas condições.

4 METODOLOGIA

Para que o estudo obtenha o maior êxito possível, antes do desenvolvimento da dobradeira manual, foi feito um levantamento criterioso sobre os tipos de máquinas existentes no mercado. Com este levantamento foi possível idealizar a máquina resultante deste estudo.

Com isso, para o auxílio no desenvolvimento do equipamento, é seguido o modelo de metodologia de Pahl & Beitz, por ser adequada ao requerido neste trabalho, bem como por esta metodologia ser bastante utilizada nos projetos de máquina, o que dá segurança para sua aplicação.

A dobradeira manual deverá ser capaz de deformar tubos de aço AISI 1020 laminado a frio ($\sigma_y=350\text{MP}$) com diâmetro de 48,3mm com espessura de parede de 3,68mm até um limite de 180°, sem que o componente do equipamento sujeito ao maior esforço sofra alguma deterioração devido aos esforços. Além disso, os componentes sujeitos a desgaste e manutenção deverão ser fixados de modo a possibilitar eventual troca, bem como a matriz, no caso de variar o raio de curvatura.

Dessa forma, os componentes da máquina foram dimensionados baseados nos levantamentos de dobradeiras já existentes no mercado e no critério de deformar o tubo sem que o ponto crítico sofra alguma deformação.

Fora utilizada um software de modelagem 3D para a otimização e obtenção de melhores resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

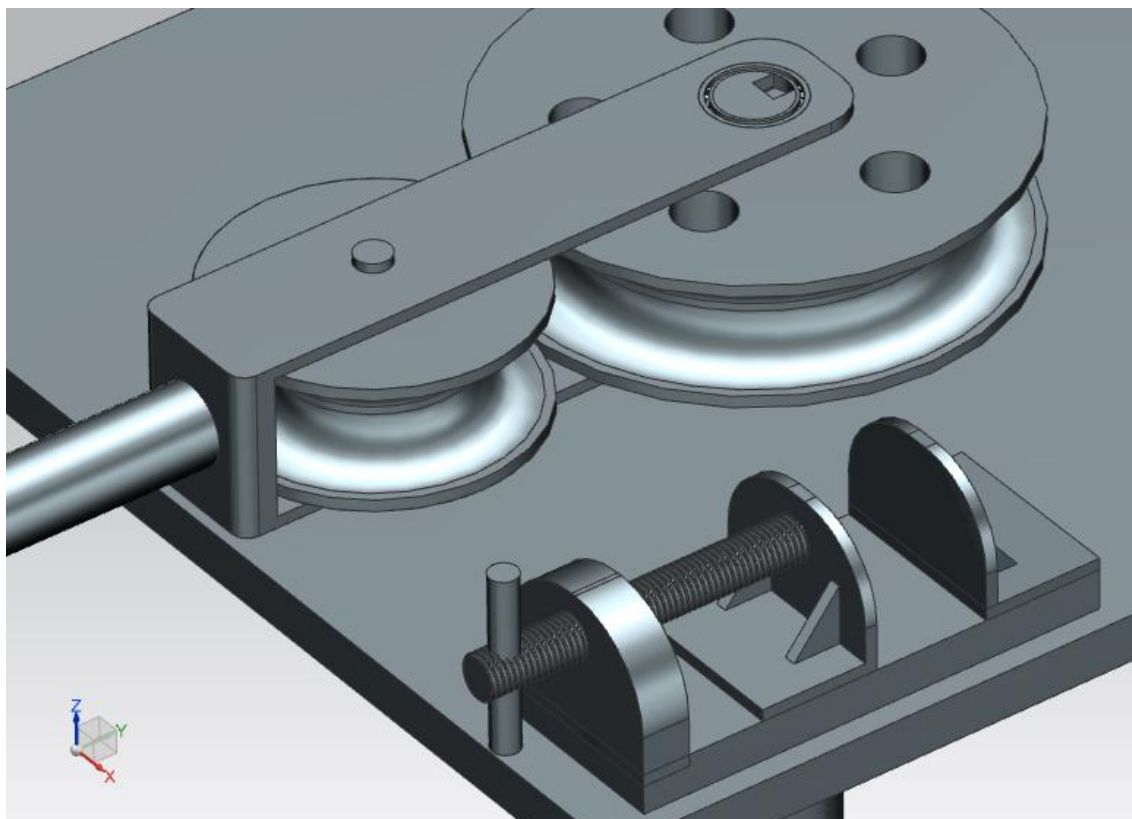
Seguindo o modelo de metodologia de Pahl & Beitz e obedecendo aos requisitos para a dobradeira manual, esta resultou no leiaute final mostrado na Figura 12, onde todos os componentes estão devidamente montados. Na Figura 13 pode-se observar o detalhe do espaço de onde o tubo será inserido para a deformação, além dos componentes montados.

Figura 12: Leiaute final da dobradeira manual



Fonte: Autoria Própria (2018)

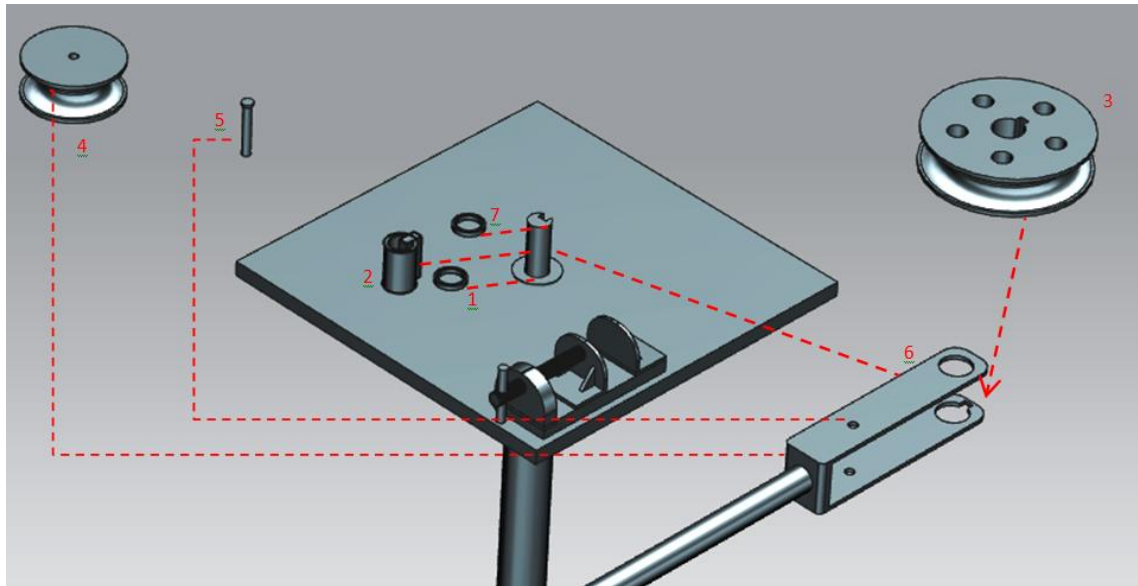
Figura 13: Detalhe do espaço onde será inserido o tubo e componentes montados



Fonte: Autoria Própria (2018)

A Figura 14 mostra uma vista explodida dos componentes que constituem a dobradeira com o tracejado que indica suas respectivas ordens de montagens. A descrição de cada componente ocorre logo depois.

Figura 14: Vista explodida da dobradeira com tracejado que indica a montagem de cada componente



Fonte: Autoria Própria (2018)

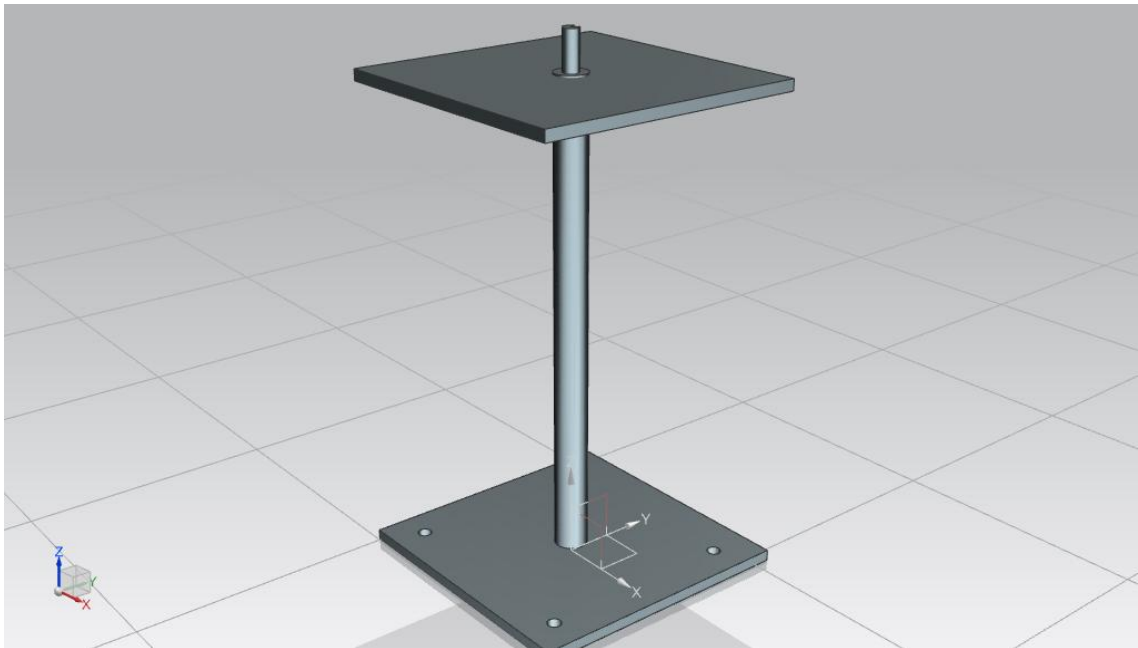
- Bancada

A bancada da dobradeira é o componente que tem como objetivo suportar o peso de todos os outros componentes, além de garantir suas fixações.

O material selecionado para este componente é o ferro fundido cinzento, devido ser um material de grande aplicabilidade na indústria, possui boa resistência, absorve bem as vibrações, possui elevada usinabilidade, baixo custo e muito acessível.

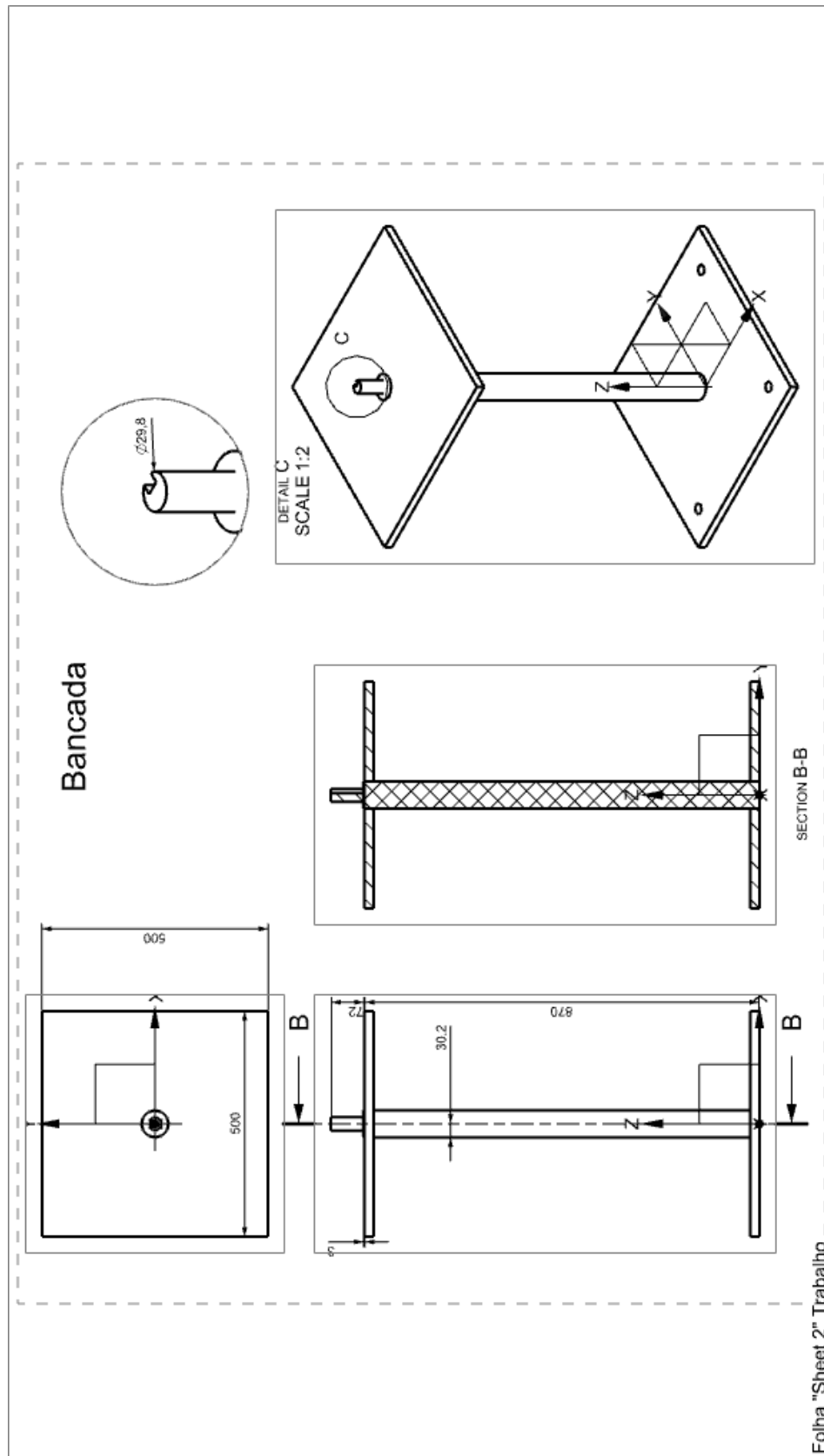
Na figura 15 é mostrada uma vista da bancada feita no software 3D. Na Figura 16, são mostradas suas dimensões.

Figura 15: Bancada da dobradeira manual



Fonte: Autoria Própria (2018)

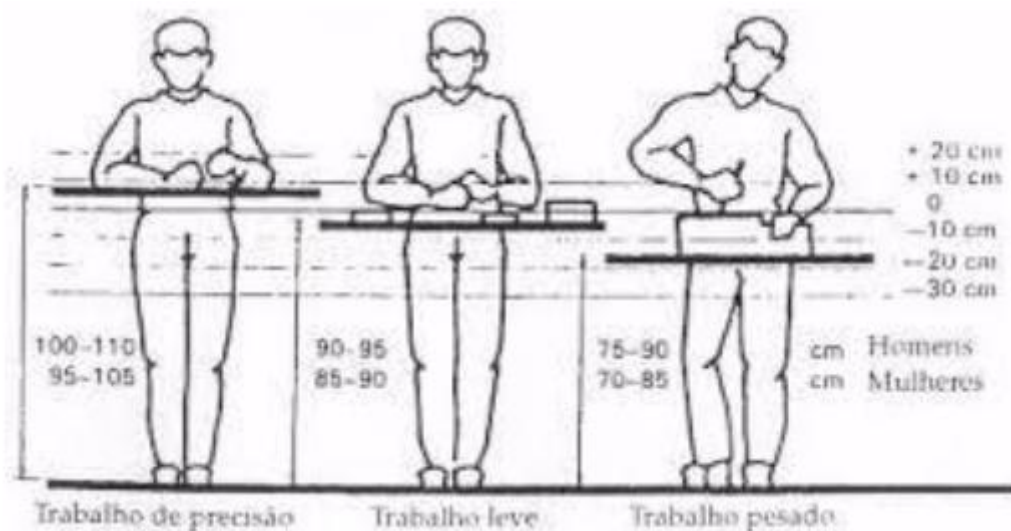
Figura 16: Vistas e dimensões da bancada da dobradeira manual



Fonte: Autoria Própria (2018)

Pode observar na Figura 16 as dimensões do tubo, considerando que ele é o mesmo, garantindo assim que ele suporte o peso dos componentes. A altura da bancada foi definida baseada no manual de ergonomia de Grangjean (1998), mostrado na Figura 17, no qual se optou por 870mm.

Figura 17: Altura para operações manuais em cima de bancadas



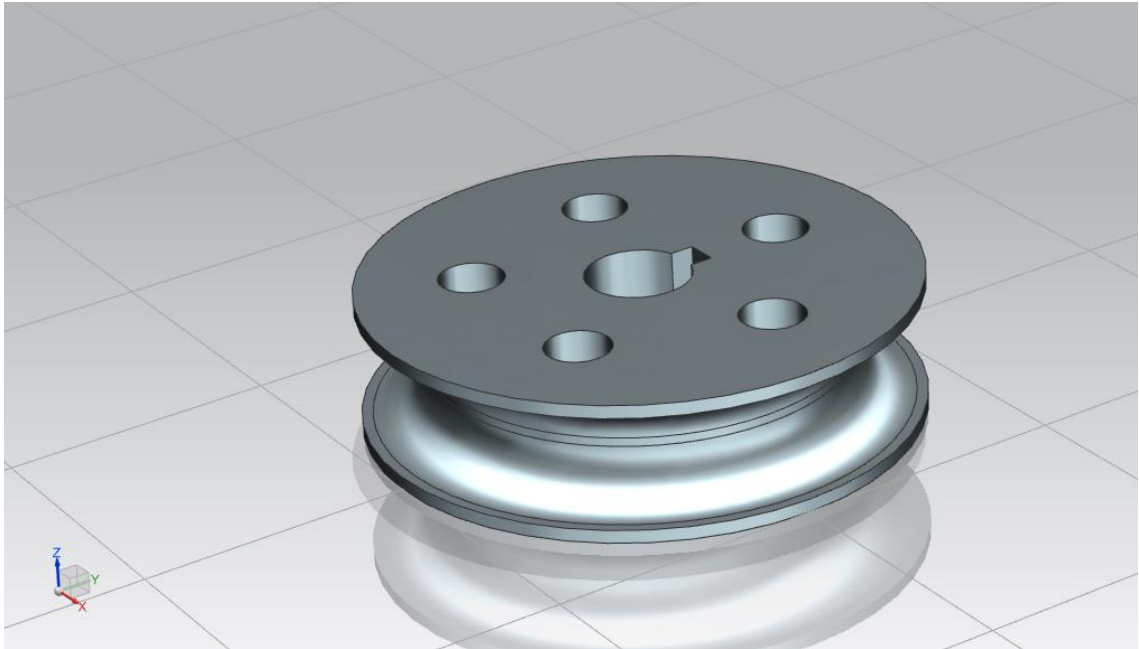
Fonte: Grangjean (1998)

- Polia Matriz

A polia matriz corresponde ao local em que o tubo será deformado, logo fora projetada para suportar as tensões resultantes da deformação. Entretanto não é considerado como o ponto mais crítico do projeto. Será feita de aço AISI 1020.

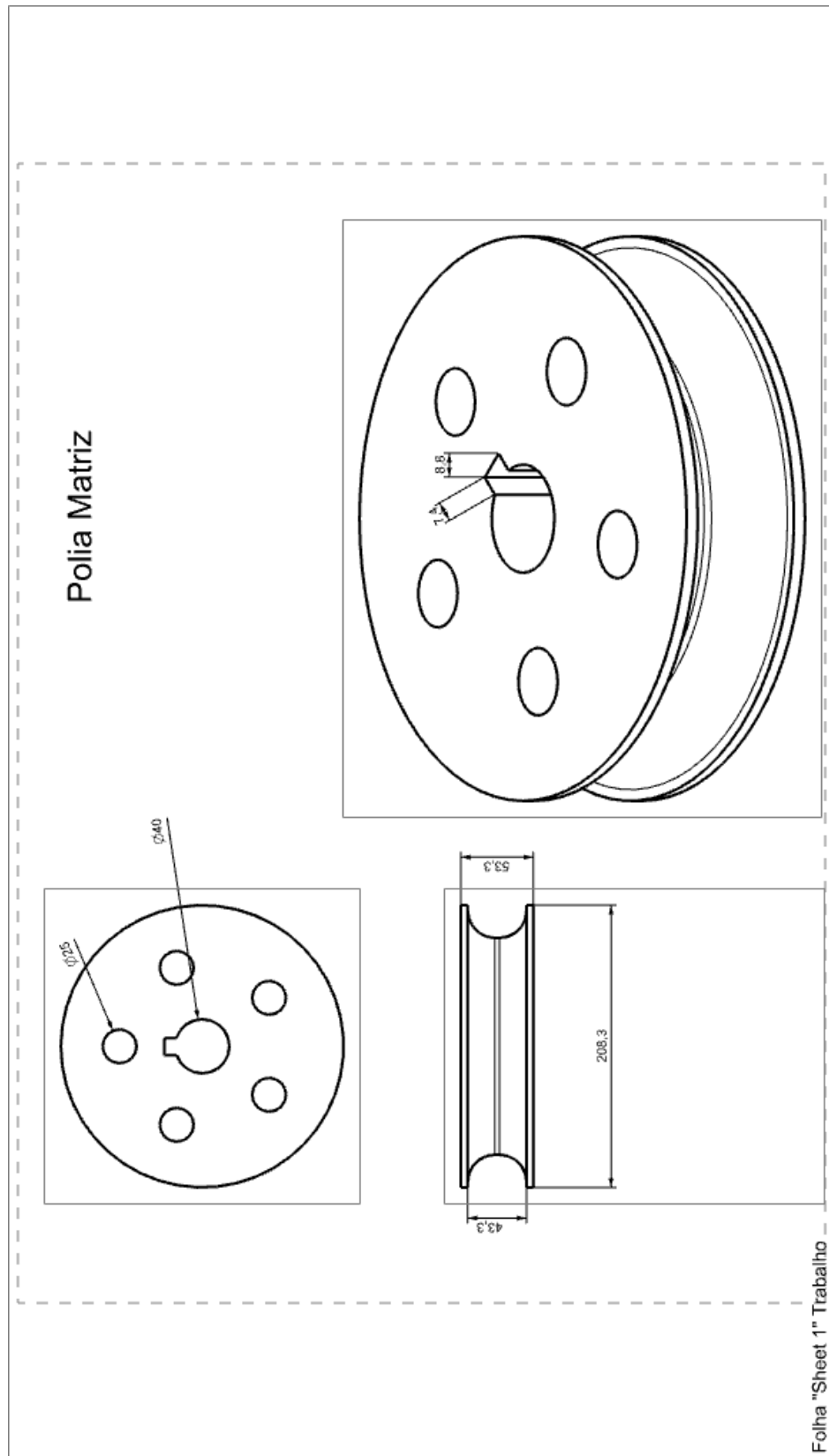
As Figuras 18 e 19 mostram a polia matriz.

Figura 18: Polia matriz



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 19: Dimensões e vistas da polia matriz



Fonte: Autoria Própria (2018)

- Polia guia

A polia guia (Figuras 20 e 21) será o componente que exercerá esforços para deformar o tubo. Dessa forma é necessário que o momento plástico exercido por ela seja maior que a tensão de escoamento do material. Assim, de acordo com Dias (2008) o M_p (momento plástico, considerado como momento fletor) no tubo é definido como:

$$M_p = \sigma_y \cdot A(\bar{y}_1 + \bar{y}_2) / 2 \quad (1)$$

Onde:

σ_y = limite de escoamento do material;

A = área da seção transversal do tubo;

$\bar{y}$ = distancia da linha neutra até o controle ;

$$\bar{y}_1 = \bar{y}_2 = ((D-E)/2) \cdot \sin \beta / \beta \quad (2)$$

Onde:

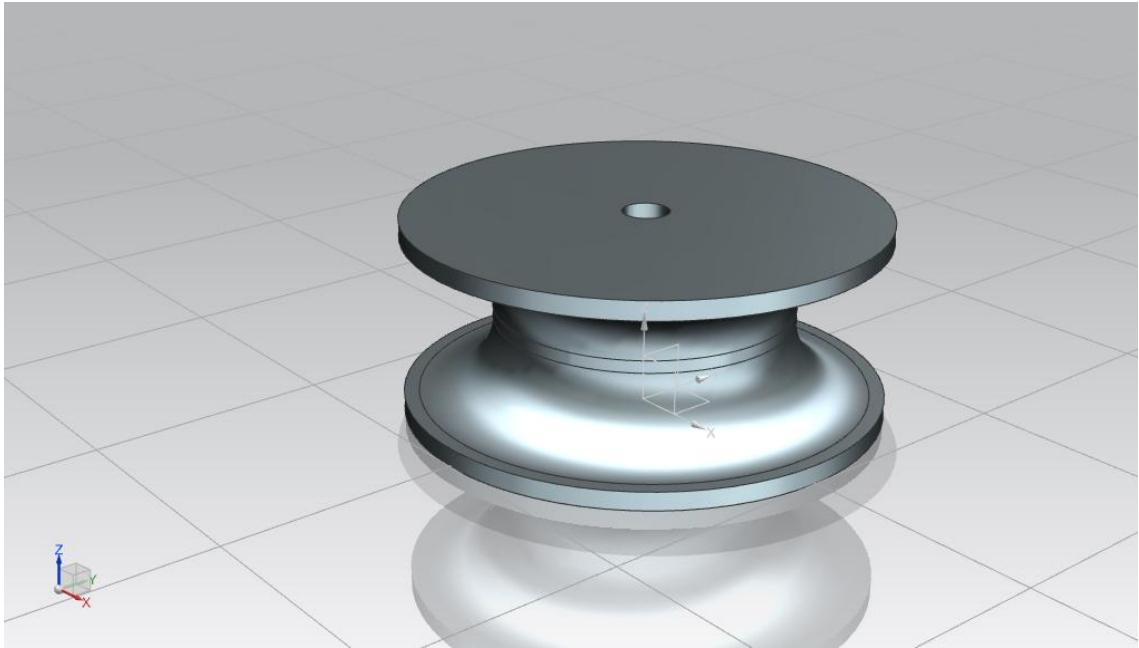
D = diâmetro externo do tubo;

E = espessura da parede do tubo;

$\beta = \pi/2$ já que se trata de um semicírculo;

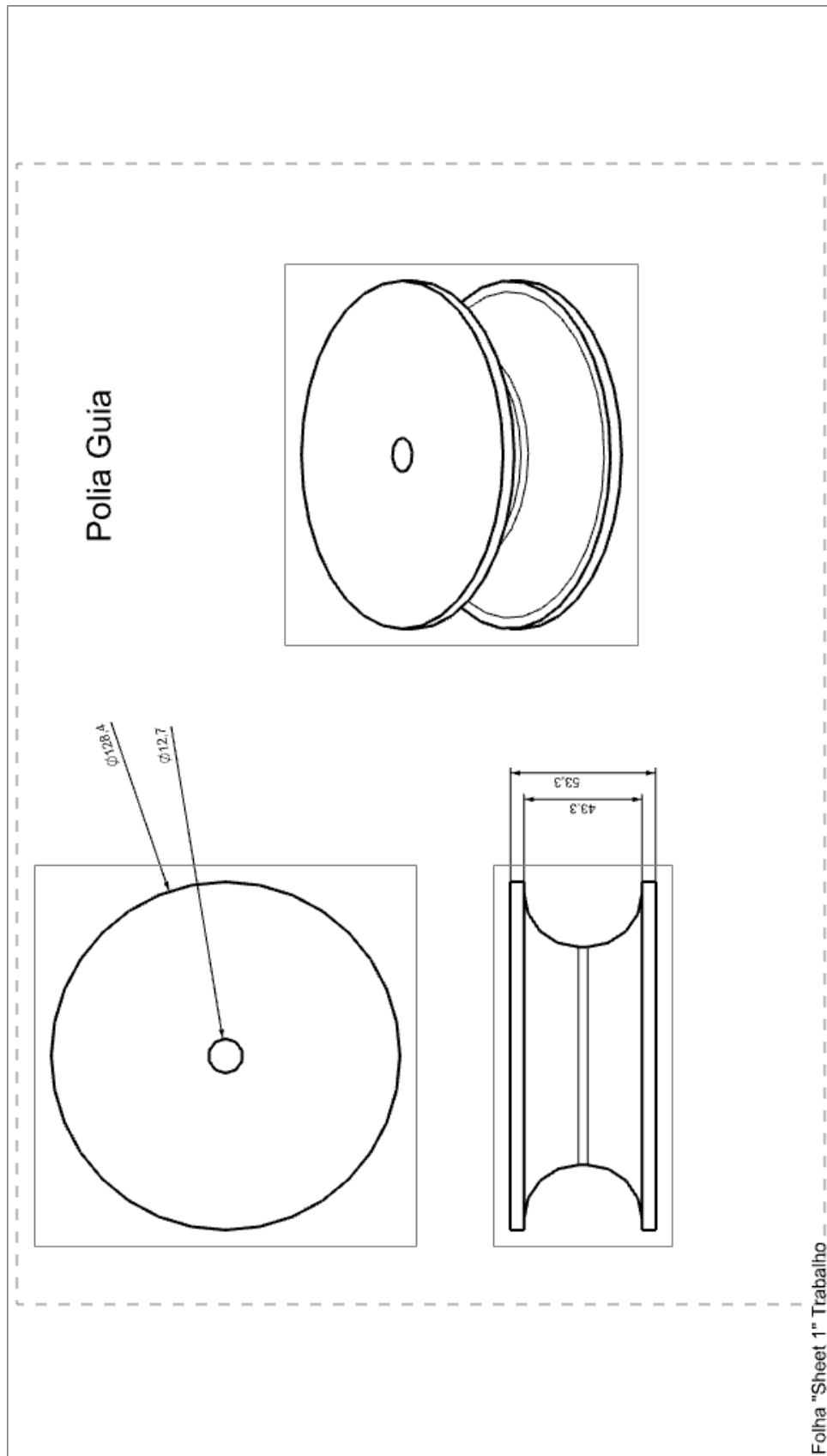
Dessa forma, fazendo os cálculos pertinentes, chegou-se ao valor de $\bar{y} = 0,389\text{mm}$ e $M_p = 70233,59 \text{ N.mm}$.

Figura 20: Polia guia



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 21: Dimensões da polia guia



Fonte: Autoria Própria (2018)

- Alavanca

A alavanca é o componente da máquina ao qual será aplicada a força humana para dobrar o tubo. Para isto, ela deve estar fixada no eixo da bancada, juntamente com rolamentos de esfera para um melhor deslizamento ao fazer o giro para deformar o tubo, e na polia guia através de um pino. Esta fixação com o pino será o ponto crítico da máquina devido a maior quantidade de esforços ao qual é submetido. Assim, a distância entre o ponto de aplicação da força humana (extremidade da alavanca) e o pino (d) pode ser determinada.

A força humana máxima, definida por Dias (2008) como 400N (F_1), é a força que será aplicada na extremidade da alavanca. Utilizando um fator de segurança (FS) como um dado de entrada, aplica-se ao momento plástico determinado anteriormente. Um valor de FS = 3 foi utilizado pois, de acordo com Norton (2013, p 19), este fator pode ser usado quando o equipamento é utilizado em ambientes considerados moderadamente desafiador, que é o caso da empresa de caldeiraria. Assim:

$$M_p \cdot FS = 210.700,77 \text{ N.mm}$$

Como o momento é definido como força aplicada multiplicado pela distancia entre a aplicação da força e o ponto fixo, então:

$$F_1 = M_p / d \quad (4)$$

Assim,

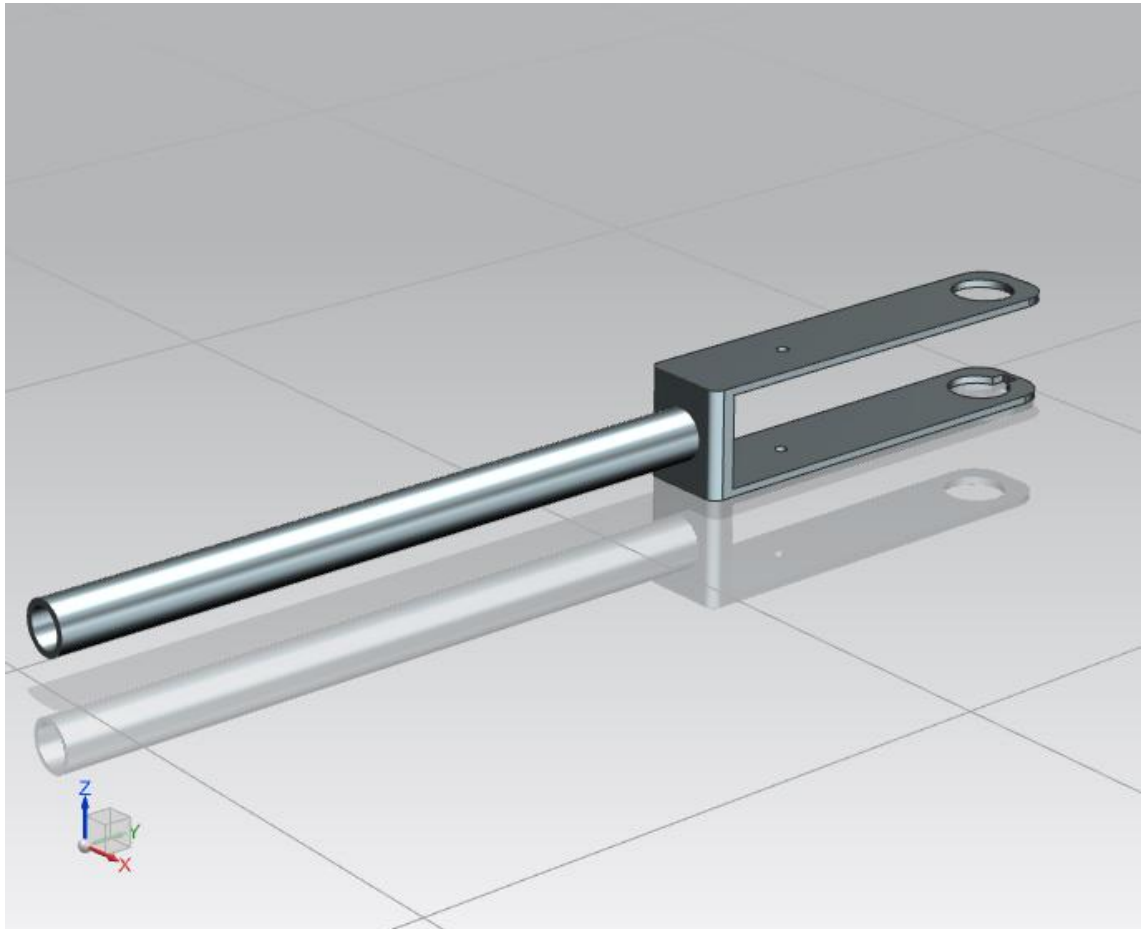
$$d = 526,75 \text{ mm}$$

Logo,

$$d = 527 \text{ mm}$$

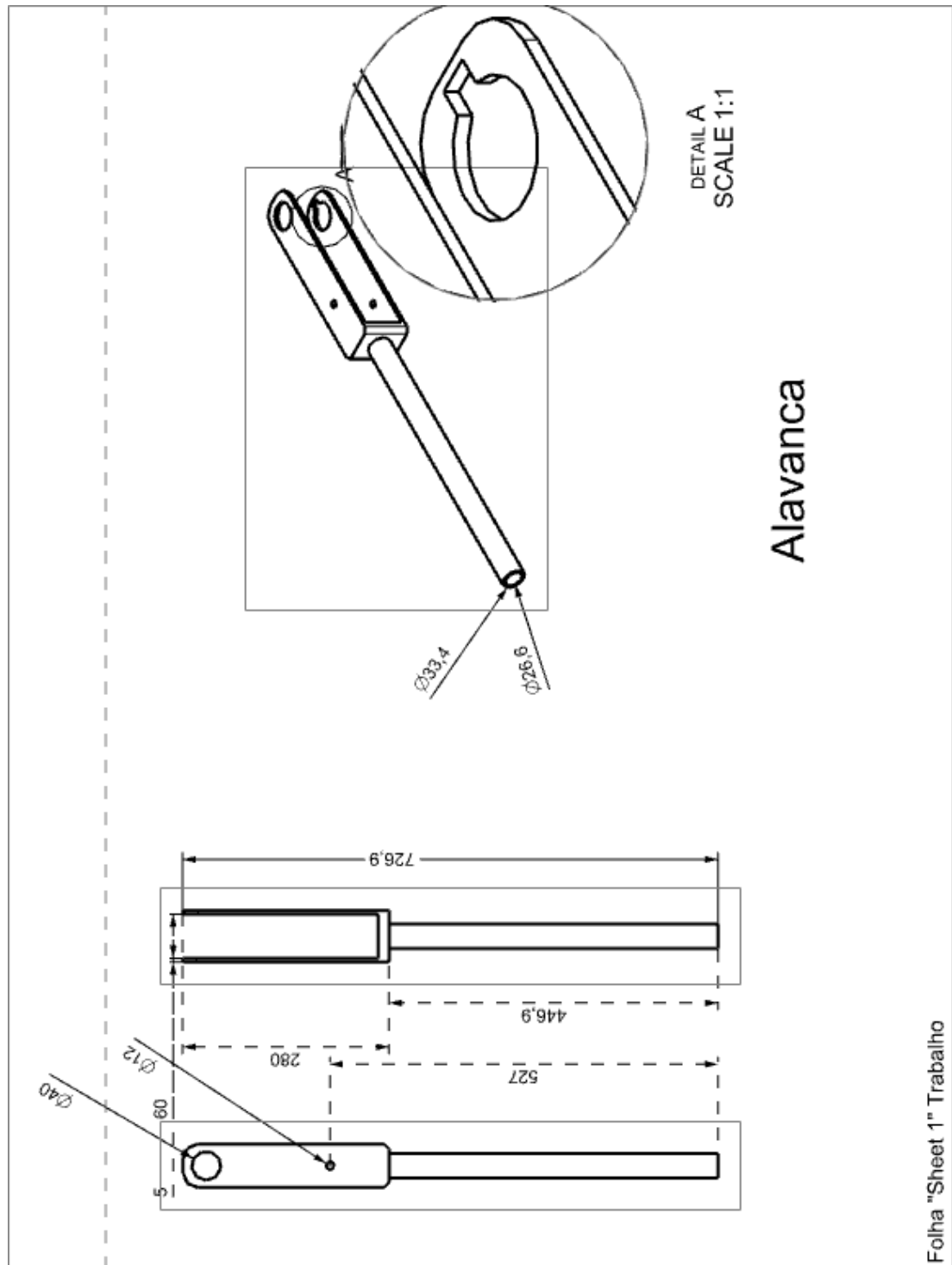
Dessa forma, a alavanca pode ser vista na Figura 22 e suas dimensões na Figura 23.

Figura 22: Alavanca



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 23: Dimensões da alavanca



Fonte: Autoria Própria (2018)

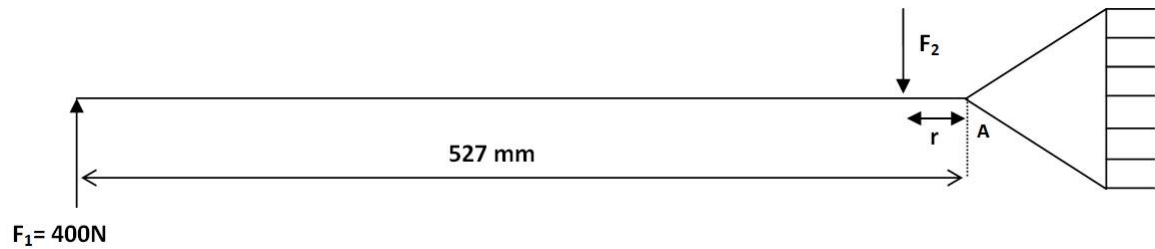
- Pino guia

O pino guia, que é utilizado para fixar a polia guia na alavanca, é o principal ponto crítico do projeto, pois é o componente que deve suportar a maior quantidade de esforços

durante a deformação do tubo. assim será utilizado um aço com maior resistência que os outros componentes, AISI 1045 ($\sigma_e = 430 \text{ N/mm}^2$).

Fazendo uma análise dos esforços neste componente, é possível obter o diagrama de corpo livre da Figura 24.

Figura 24: Diagrama de corpo livre do pino acoplado à polia no mento da aplicação da força



Fonte: Autoria Própria (2018)

Onde a força F_1 é a aplicada na alavanca, F_2 a força resultante no pino, o ponto A é o centro do pino e o raio do pino é representado por r . A distância de 527mm entre o ponto de aplicação de F_1 e o ponto A é equivalente a distancia da extremidade da alavanca até o centro do pino. F_2 então é calculado.

Por equilibrio de momentos temos que:

$$\sum M_a = 0 \quad (5)$$

$$F_1 \cdot d - F_2 \cdot r = 0$$

$$F_2 \cdot r = F_1 \cdot d$$

Isolando F_2 , tem-se que:

$$F_2 = F_1 \cdot d / r \quad (6)$$

A tensão de cisalhamento na secção solicitada será:

$$\tau = F_2 / A_p$$

Onde A_p é a área da seção transversal do pino.

Considerando que o esforço de cisalhamento ocorrerá nas duas áreas correspondentes à fixação da alavanca e que o limite ao cisalhamento do material (τ_e), deve ser considerado, então:

$$\tau_e = F_2 / 2 \cdot A_p \quad (7)$$

A relação entre o limite ao cisalhamento e o limite ao escoamento (σ_e) pode ser feita como:

$$\begin{aligned} \tau_e &= 0,4 \cdot \sigma_e \\ \tau_e &= 172 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (7)$$

Isolando F_2 na equação 7, tem-se que:

$$\begin{aligned} F_2 &= \tau_e \cdot 2 \cdot A_p \\ F_2 &= \tau_e \cdot 2 \cdot \pi \cdot r^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Igualando as equações 6 e 8:

$$F_1 \cdot d / r = \tau_e \cdot 2 \cdot \pi \cdot r^2$$

Isolando o raio do pino r :

$$r^3 = F_1 \cdot d / \tau_e \cdot 2 \cdot \pi$$

Substituindo os valores pertinentes, tem se:

$$r = 5,8 \text{ mm}$$

Logo:

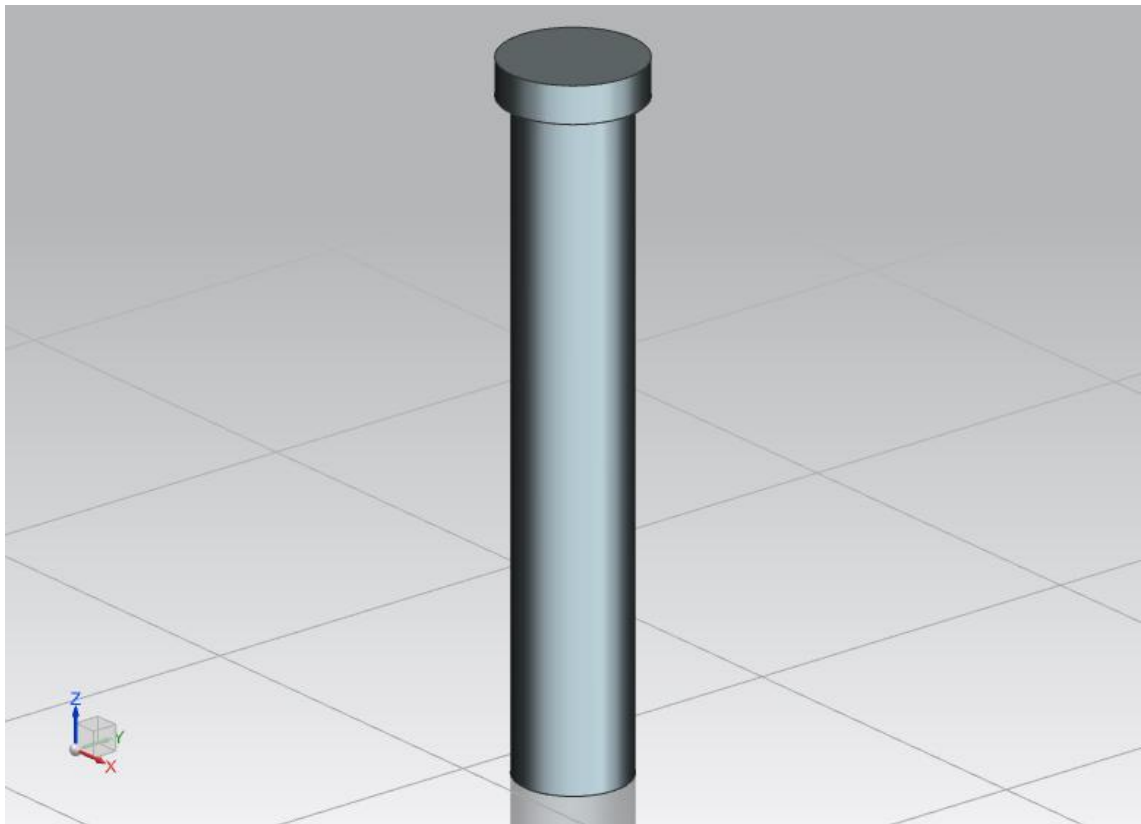
$$D = 11,6 \text{ mm}$$

$$D = 12\text{mm}$$

Este diâmetro de 12mm do pino guia suportará aos esforços gerados nele com a aplicação da força humana no momento da deformação do tubo.

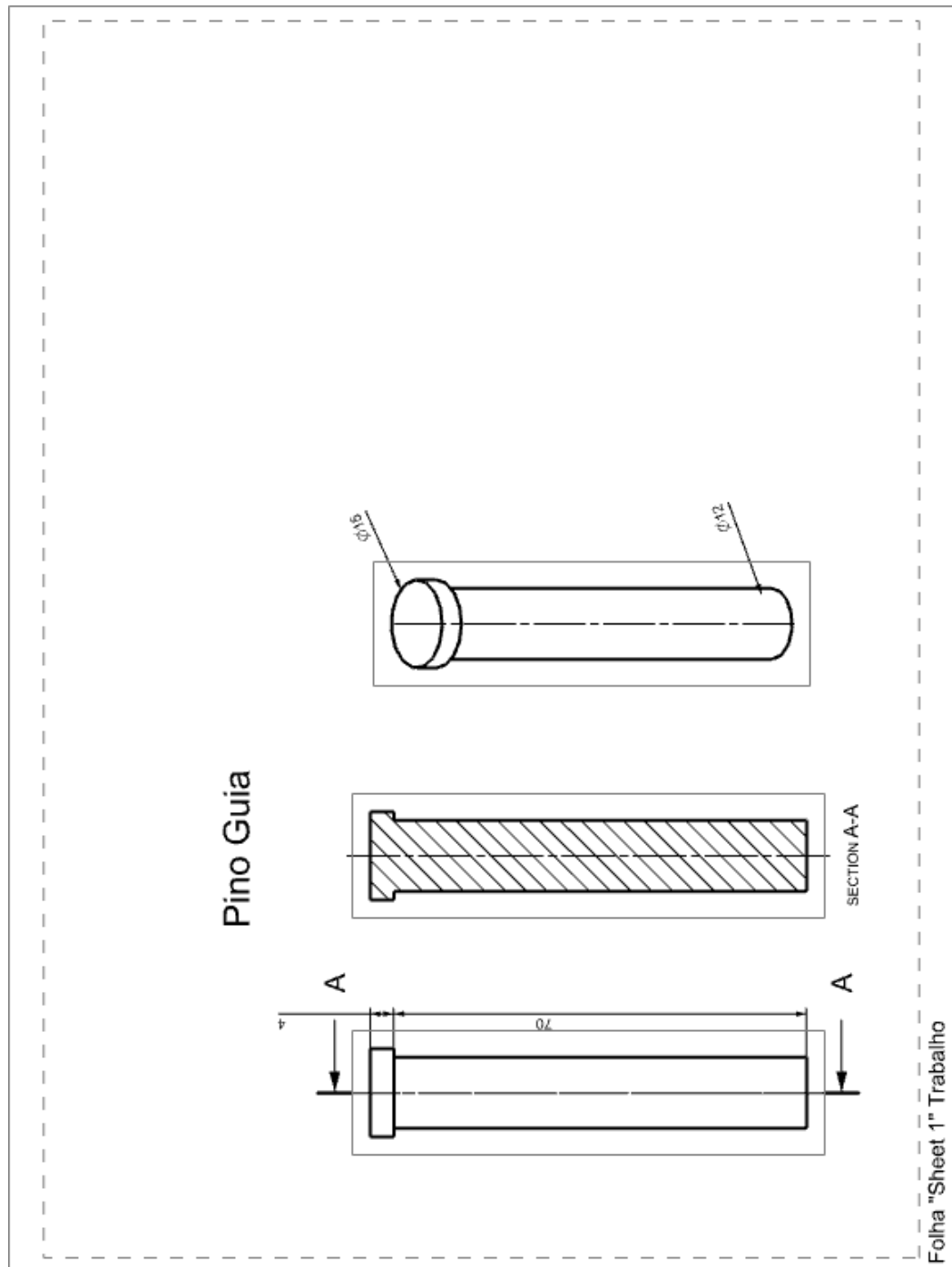
As Figuras 25 e 26 mostram o pino e suas dimensões, respectivamente.

Figura 25: Pino guia



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 26: Dimensões do pino guia

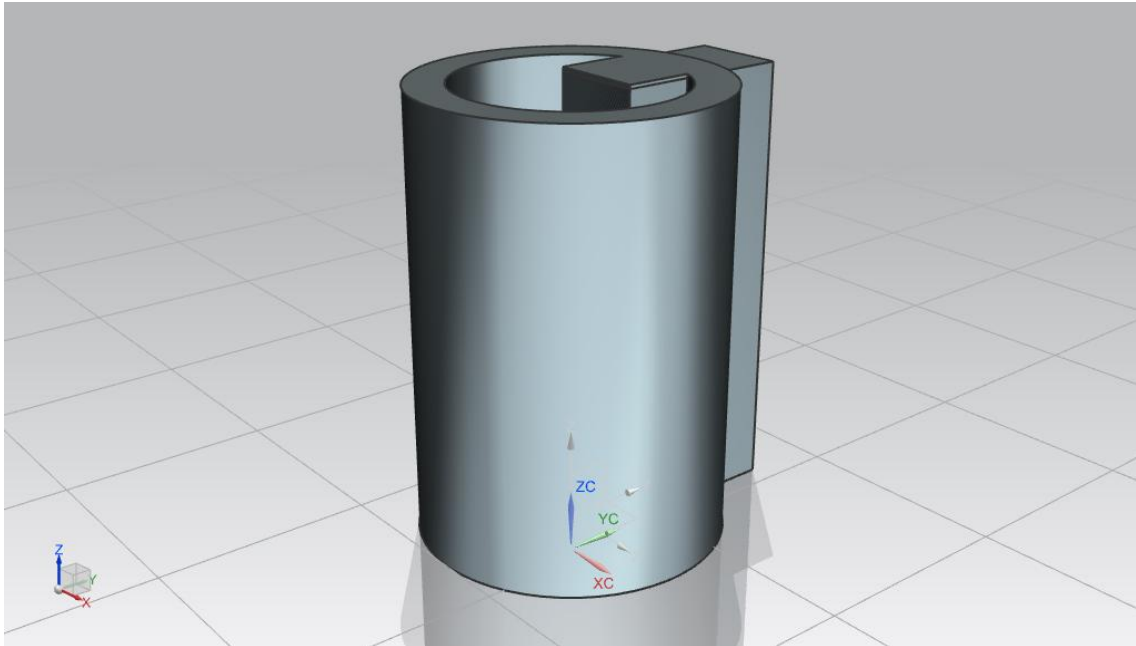


Fonte: Autoria Própria (2018)

- Bucha e chaveta

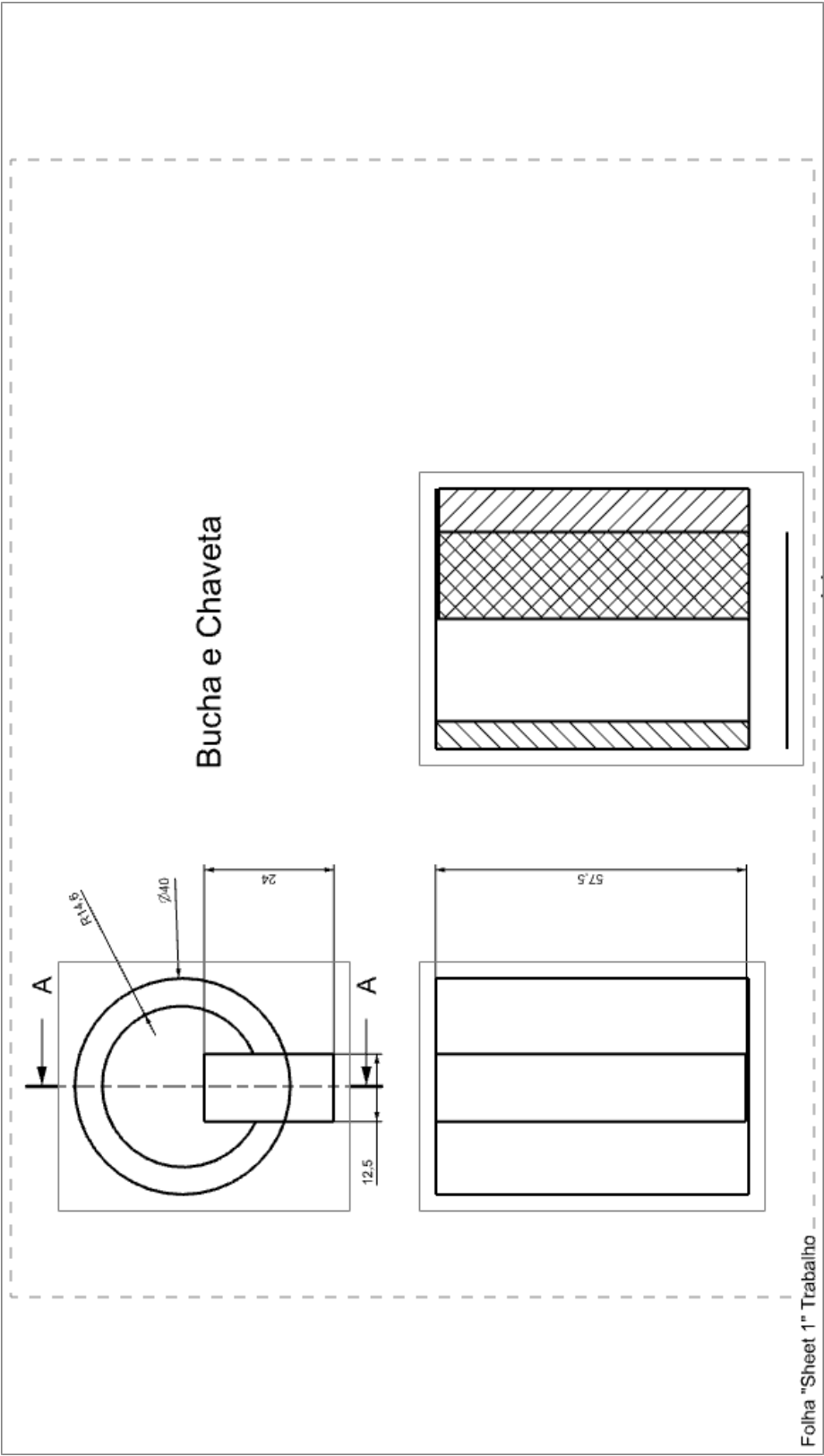
A bucha e chaveta, das Figuras 27 e 28, foram feitas para o travamento da polia matriz, fazendo com que ela fique fixa.

Figura 27: Bucha e chaveta



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 28: Dimensões da bucha e chaveta

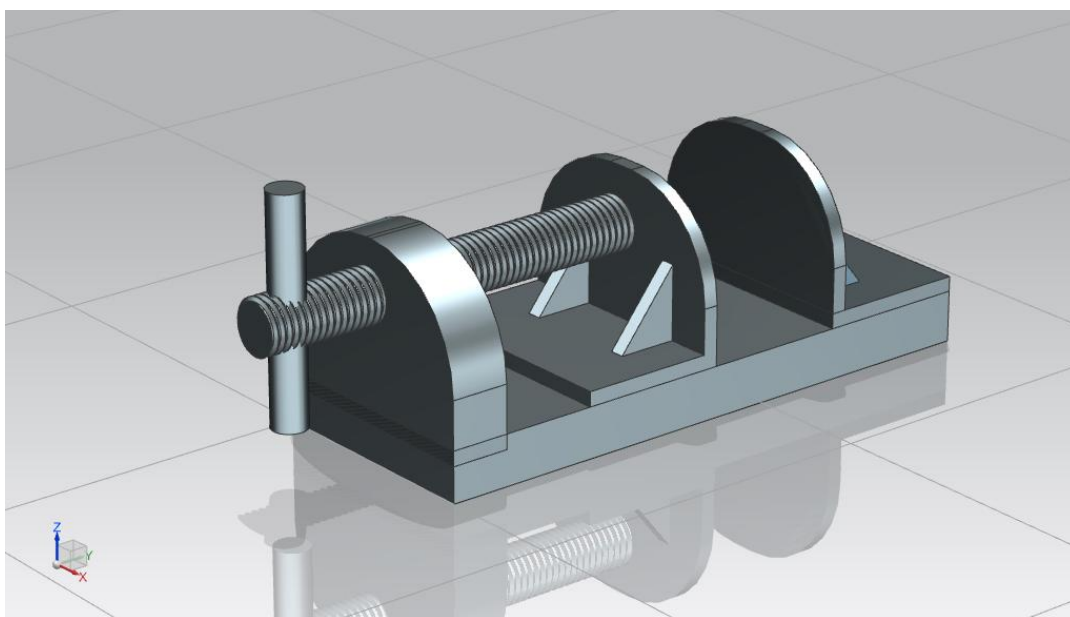


Fonte: Autoria Própria (2018)

- Morsa

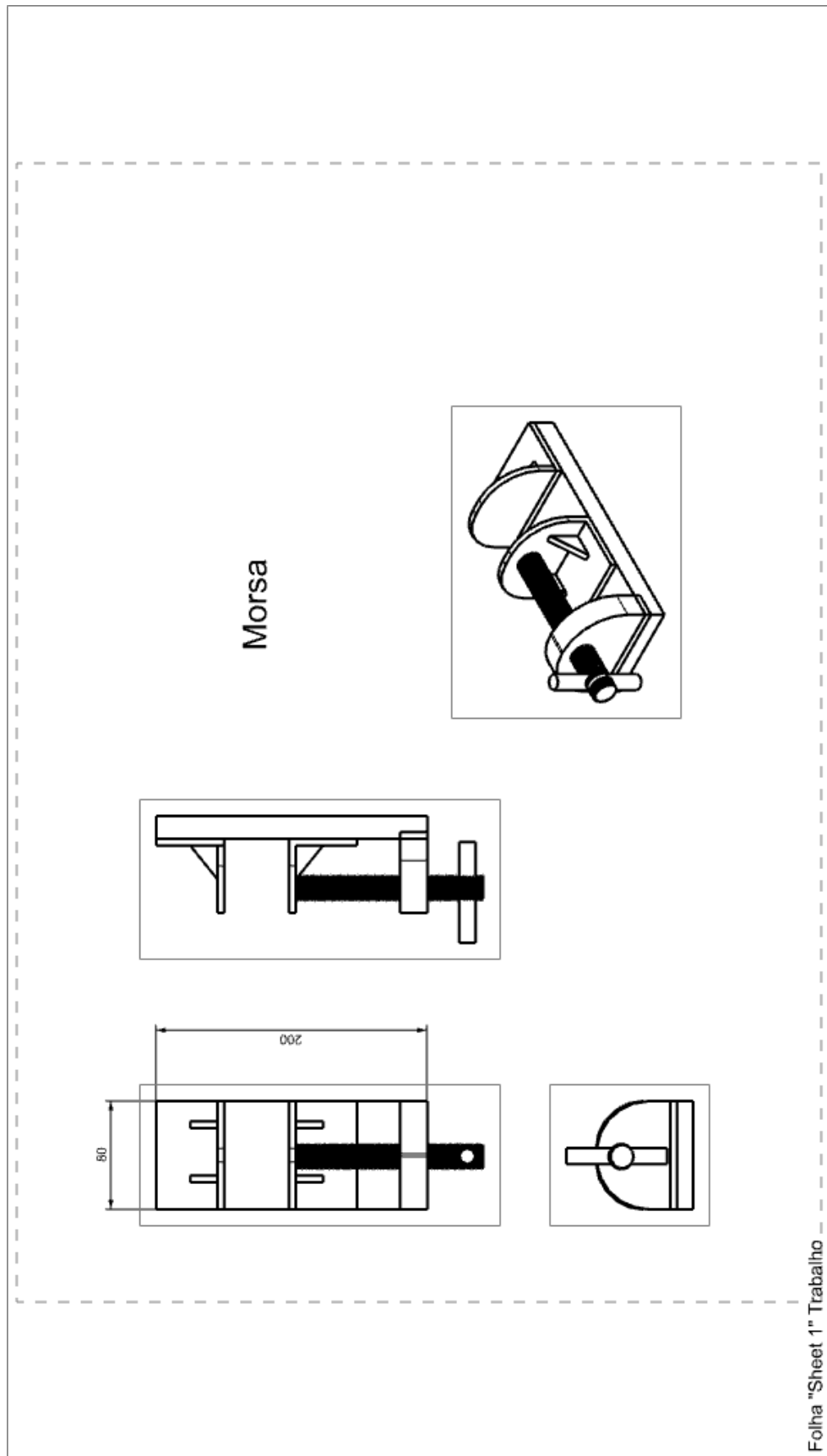
A morsa utilizada será uma existente no mercado, como mostrada nas figuras 29 e 30. Esta tem como objetivo fixação do tubo, para que este não seja desalinhado no momento da deformação. E os rolamentos das figuras 28 e 29 para o melhor giro da alavanca.

Figura 29: Morsa



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 30: Dimensões da morsa

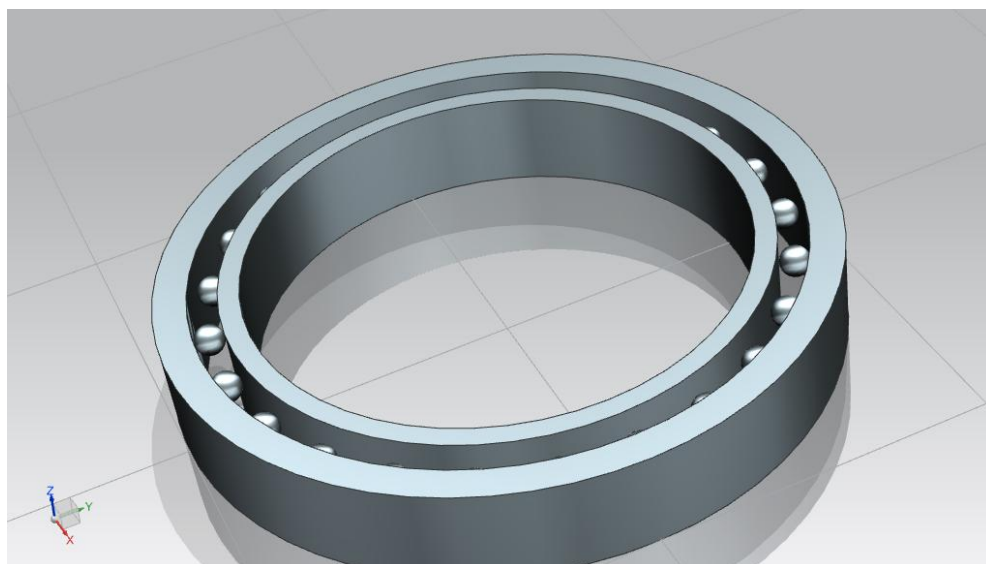


Fonte: Autoria Própria (2018)

- Rolamentos

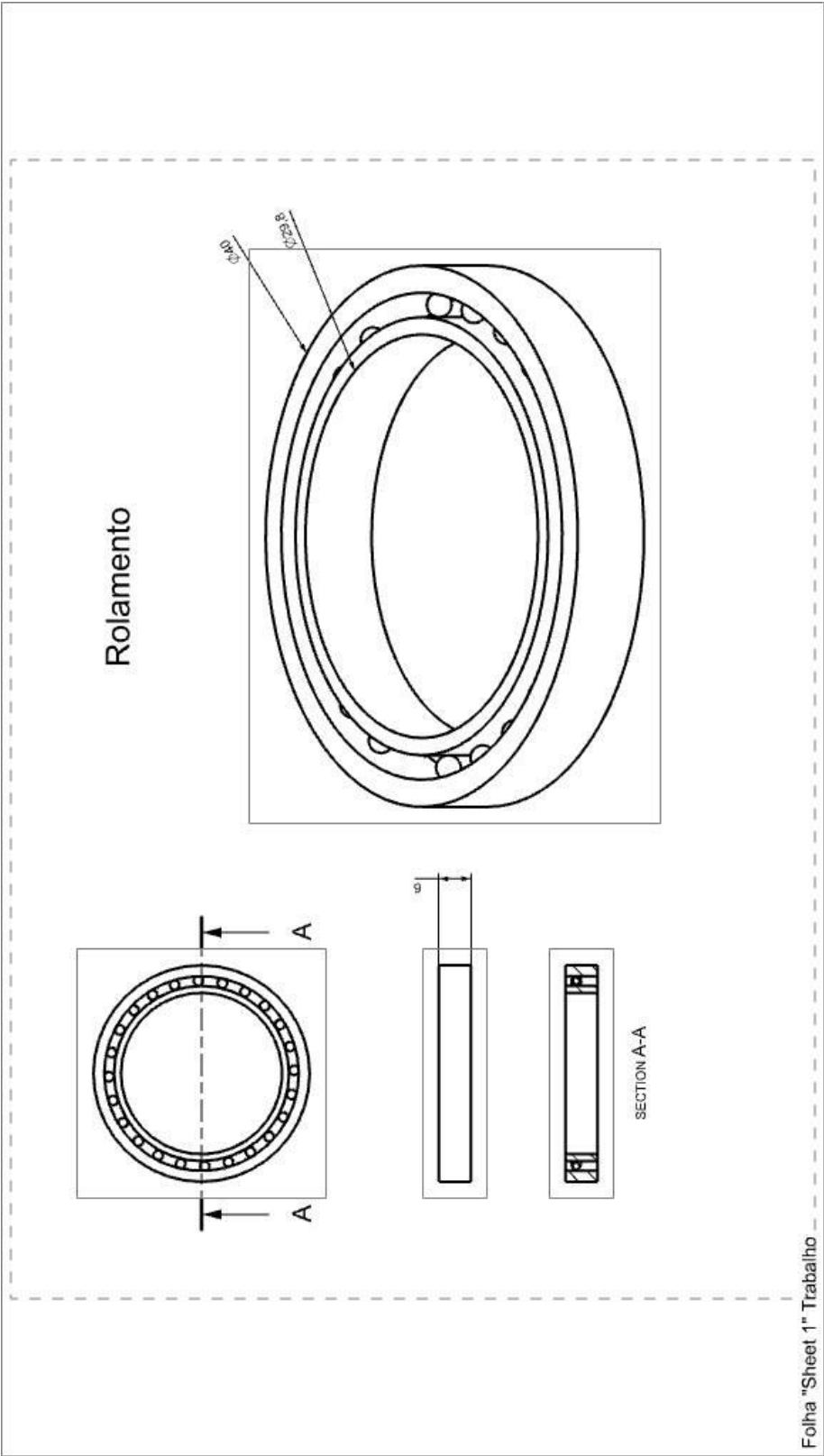
Dois rolamentos de esfera existentes no mercado serão utilizados para melhorar o giro da alavanca. Assim, um dos rolamentos é montado entre os furos da alavanca e da polia matriz, e o outro rolamento é montado entre o furo da alavanca e da polia matriz. O rolamento utilizado é mostrado na Figura 31 e 32.

Figura 31: Rolamento de esfera



Fonte: Autoria Própria (2018)

Figura 32: Dimensões dos Rolamentos



Fonte: Autoria Própria (2018)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma concepção de uma dobradeira de tubos manual para uma empresa de caldeiraria, no qual os componentes obtidos são baseados em máquinas já existentes. No estudo, foi necessário analisar e aplicar uma metodologia de projeto que melhor fosse adequada ao trabalho. Após uma breve análise, a aplicação da metodologia de projeto de Pahl & Beitz foi empregada e seguida durante o desenvolvimento do equipamento.

Fazendo a análise dos componentes concebidos no estudo, observou-se que o ponto crítico da máquina, ou seja, o pino guia não deformará no momento do dobramento do tubo de diâmetro e espessura especificados, fazendo com que o equipamento cumpra com a função requerida.

Finalmente, a concepção da dobradeira de tubos desenvolvida nesse estudo pode, com o passar do tempo, ser otimizada e aprimorada a fim de obter-se modelos desse equipamento cada vez melhores.

REFERÊNCIAS

BACK, Nelson et al. **Projeto integrado de produtos: planejamento, concepção e modelagem**. Barueri: Manole, 2008.

DIAS, Ricardo C. **Projeto e fabricação de um equipamento de conformar tubos para a equipe poli de baja**. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/pme2600/2008/Artigos/Art_TCC_051_2008.pdf>. Acessado em: 18 de Abril de 2018.

FERREIRA, Marcelo G.G. **Utilização de modelos para representação de produtos no projeto conceitual**. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FORCELLINI, Fernando A. **Desenvolvimento de produtos e sua importância para a competitividade**. Apostila. – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2002.

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

MACHADO, Cristiano dos S. **Contribuição ao estudo da metodologia e morfologia do projeto mecânico**. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

MICHELS, Edin. **Projeto detalhado de uma máquina de elevação e transporte para empresa metalúrgica de pequeno porte**. Faculdade Horizontina. Horizontina, 2012.

NORTON, Robert L.. **Projeto de Máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. Tradução: Konstantinos Dimitriou Stavropoulos, João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar, Renato Machnievscz e Jéssica Fraga de Castro.

OGLIARI, André. **Sistematização da concepção de produtos auxiliada por computador com aplicações no domínio de componentes de plásticos injetados**. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

REIS, A. V. **Desenvolvimento de concepção para a dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas**. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROOZEMBUR, N.F.M.; EEKELS.J. **Product Design:** fundamentals and methods. Chichester: John Wiley & Sons, 1995.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos:** Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Saraiva, 2006.

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G.. **Projeto de engenharia mecânica.** 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. Tradução: João Batista de Aguiar, José Manoel de Aguiar.