

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**PME – DEPARTAMENTO DE MECÂNICA**

**PROJETO DE UMA ARREMESSADORA DE BOLAS DE BEISEBOL**

<b>Autores:</b>	Rodolfo Ferreira Luz	No. USP: 3745984
	Rodrigo Augusto Frey Sabato	No. USP: 3728309
<b>Orientadora:</b>	Izabel Fernanda Machado	

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Luz, Rodolfo Ferreira**

**Projeto de uma arremessadora de bolas de beisebol / R.F.  
Luz, R.A.F. Sabato. -- São Paulo, 2006.  
p. 51**

**Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade  
de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1.Arremessos 2.Máquinas e equipamentos 3.Beisebol I.Sabato,  
Rodrigo Augusto Frey II.Universidade de São Paulo. Escola  
Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica III.t.**

**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**PME – DEPARTAMENTO DE MECÂNICA**

**PROJETO DE UMA ARREMESSADORA DE BOLAS DE BEISEBOL**

<b>Autores:</b>	Rodolfo Ferreira Luz	No. USP: 3745984
	Rodrigo Augusto Frey Sabato	No. USP: 3728309
<b>Orientadora:</b>	Izabel Fernanda Machado	

## SUMÁRIO

1.	Introdução .....	7
2.	Justificativa e Motivação .....	8
3.	Objetivos.....	9
4.	Estudo de viabilidade.....	10
4.1	Definição da Necessidade .....	10
4.2	Especificação Técnica.....	10
5.	Formulação técnica – requisitos.....	14
5.1.	Características da Máquina Arremessadora A Ser Desenvolvida.....	15
6.	Estruturação do desenvolvimento de alternativas .....	16
7.	Matriz de decisão .....	17
7.1.	Análise da solução escolhida .....	17
8.	Projeto da Arremessadora.....	19
8.1.	Características do arremesso e da bola .....	19
8.2.	Seleção do motor .....	19
8.3.	Características e dimensionamento da roda .....	20
8.4.	Dimensionamento da base de sustentação .....	21
9.	Resultados: Desenhos do Produto.....	25
10.	Problemas iniciais na Fabricação do Protótipo .....	27
11.	Fabricação do Protótipo .....	28
11.1.	Buchas da roda.....	28
11.2.	Chaveta do eixo .....	28
11.3.	Base do motor .....	29
11.4.	Barras de Apoio .....	29
11.5.	Ajustes das Barras.....	30
11.6.	Guia para Alimentação .....	30
11.7.	Guia para Lançamento .....	31
11.8.	Tubo Central .....	31
11.9.	Tripé.....	31
12.	Montagem do protótipo .....	41
13.	Estimativa de Custos.....	44
13.1.	Listagem dos Componentes .....	44
13.2.	Listagem dos Processos .....	44
14.	Metodologia de Testes.....	45
14.1.	Determinação do local de teste .....	45
14.2.	Definição das especificações mais relevantes e respectivos testes quantificadores.....	45
15.	Conclusão .....	48
16.	Sugestão para Trabalhos Futuros .....	49
17.	Referências Bibliográficas.....	51

### Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer, em conjunto, a todos que nos acompanharam nesse período longo, porém alegre, de vivência na Escola Politécnica que culmina agora no momento de nossa formatura. Colegas, amigos, familiares e professores todos serão certamente lembrados quando, no futuro, pensarmos em nossos tempos vividos nessa época memorável.

Agradecimentos em especial à professora Izabel, por confiar em nosso potencial, aceitando-nos como seus orientados e acreditando que seríamos capazes de levar o projeto até o fim; ao engenheiro José Augusto Sabato (e, por extensão, à OSRAM do Brasil Ltda.) por toda a ajuda e assistência prestadas, fora a disponibilização de certos recursos; e a Deus, por nos dar força e capacidade necessária para concluir essa importante etapa de nossas vidas.

Rodrigo Augusto Frey Sabato

Rodolfo Ferreira Luz

## Lista de Símbolos

$A$  - representa a área da seção transversal do tubo

$AISC$  - American Institute of Steel Construction

$d1$  - é o diâmetro interno do tubo.

$d2$  - é o diâmetro externo do tubo.

$Dext$  - representa o diâmetro externo das barras;

$Dim$  - representa as dimensões do material;

$E$  - representa a espessura do material;

$E$  - representa o Módulo de Elasticidade;

$k$  - representa a característica do carregamento;

$L$  - representa o comprimento do tubo;

$n$  - representa o coeficiente de segurança;

$P$  - representa a pressão aplicada sobre o tubo;

$r$  - é o raio da roda utilizada;

$V_1$  - é a velocidade da parte superior da bola, em contato com a chapa;

$V_2$  - é a velocidade da parte inferior da bola, em contato com a roda;

$V_f$  - é a velocidade final de arremesso, média das duas velocidades 1 e 2;

$w$  - é a velocidade angular da roda, determinada pela rotação do motor;

$\sigma_{m\acute{a}x}$  - representa a Tensão Máxima;

## 1. Introdução

Um breve histórico de beisebol, disponível na página eletrônica da Confederação Brasileira de Beisebol e Softbol [1] nos informa de que o jogo de beisebol (versão brasileira do termo original, em inglês, *baseball*), esporte tipicamente americano que conquistou adeptos pelo mundo inteiro, já se tornou inclusive o esporte mais popular em alguns países como o Japão, Cuba, e em muitos do Caribe e da América Central. Teve sua origem no Estado de Nova Iorque, na cidade de *Cooperstown*, e começou a ser difundido largamente pelos Estados Unidos após a Guerra Civil, na década de 1860. Soldados praticavam o esporte das bases nos acampamentos militares, no intervalo entre as batalhas, e ao retornarem para suas cidades de origem, levaram o novo esporte como forma de lazer. Assim, o beisebol foi rapidamente difundido em todo o país.

No resto do mundo, o beisebol foi difundido majoritariamente por funcionários de empresas americanas multinacionais e pelos soldados americanos espalhados pelas bases militares pelo mundo; e atualmente encontra-se entre os três primeiros esportes preferidos em países como EUA, Japão, Coreia, México, Países do Caribe, e países Centro Americanos. Na América do Sul os países com maior tradição no beisebol são a Venezuela e a Colômbia, devido à influência da cultura e economia americanas naqueles países. Já no Brasil, o jogo foi introduzido pelos americanos no início do século, através de empregados de companhias americanas instaladas no país. No entanto, o seu impulso mais forte se deu com a chegada dos imigrantes japoneses, que já haviam adotado o beisebol como esporte nacional. Por esse motivo, o beisebol brasileiro tradicionalmente tem sido ligado à comunidade japonesa.

Com o êxodo dos descendentes de japoneses de volta ao Japão através do fenômeno dos "Dekasseguis", comunidades inteiras onde o beisebol tradicionalmente era forte perderam força (Bastos, Presidente Venceslau, Adamantina, Tupã, Andradina, Pereira Barreto, e muitas outras, inclusive São Paulo e adjacências). Por outro lado, o enfraquecimento do beisebol na comunidade japonesa abriu espaço no esporte para os brasileiros não descendentes de japoneses. Atualmente já vemos um importante percentual de brasileiros praticando o esporte, tirando assim o estigma de "esporte de japoneses". O beisebol brasileiro é muito forte até a categoria Júnior (15 e 16 anos), tendo conquistado importantes resultados internacionais, inclusive um campeonato e um vice-campeonato mundial, nessa mesma categoria, em 1993 e 1995. Depois desta idade, há um forte desinteresse dos jovens, causado provavelmente pela necessidade de estudar, arranjar emprego, ou sustento desde tão jovem, e principalmente pela falta de perspectiva profissional no Brasil. Mesmo assim, o esporte vem ganhando cada vez mais adeptos, e requer um investimento muito maior em infra-estrutura e tecnologia caso se deseje expandí-lo ainda mais.

## 2. Justificativa e Motivação

A etapa inicial deste trabalho consistiu em avaliar a viabilidade de equipamentos que desenvolvam e ajudem a exercitar e melhorar habilidades requeridas no jogo de beisebol, e não explicar suas regras. No entanto, uma rápida discussão sobre o assunto é indispensável para que se compreenda a necessidade de tais investimentos.

Durante uma partida, os times se revezam em turnos onde cada um representa, de uma vez, o ataque e a defesa. O primeiro se utiliza do bastão para tentar rebater a bola e anotar o maior número de pontos possível, enquanto o segundo, utilizando luvas para segurar a bola, tenta evitar que isso aconteça. Boa parte da estratégia e dos momentos decisivos de um jogo se encontra no duelo entre rebatedor e arremessador, onde o primeiro é o representante do time do ataque, cuja função resumidamente é tentar rebater a bola o mais longe possível; e o segundo representa a defesa e deve arremessar a bola de modo a enganar ou atrapalhar o trabalho do time atacante.

Em jogos das ligas profissionais americanas, onde se encontram os melhores jogadores do mundo, são utilizadas as mais diversas estratégias por parte dos arremessadores, visando dificultar as rebatidas adversárias. Essas técnicas vão desde o lançamento de bolas com os mais diversos tipos de efeitos tentando “enganar” os rebatedores quanto à trajetória da bola (os americanos utilizam diferentes nomes para os diversos tipos de “bolas curvas” que existem), até o simples arremesso buscando a maior potência que o jogador consegue produzir, onde a idéia é impedir uma boa rebatida através da velocidade elevada alcançada pela bola durante o lançamento (arremesso, nesse caso, chamado de fastball, ou “bola rápida”). De acordo com a liga americana de beisebol [2], velocidades superiores a 100mph (160km/h) já foram registradas em partidas oficiais.

Devido a essa vasta gama de variedades no arremesso, é imprescindível que os rebatedores pratiquem à exaustão suas rebatidas para as mais diversas situações que possam ocorrer durante uma partida. No entanto, é difícil reproduzir humanamente em treinos a mesma qualidade de arremessos encontrada nos jogos, uma vez que os arremessadores de um time devem descansar o braço para as partidas ao invés de conduzirem treinos de rebatidas para seus colegas.

Apenas para efeitos comparativos, vale citar que arremessadores cuja função é arremessar durante a partida inteira jogam, em média, uma partida a cada quatro dias (descansando o braço nos dias de “folga”); enquanto que os jogadores que atuam nas outras posições jogam praticamente todos os dias durante a temporada. Seria o equivalente no futebol a não poder utilizar o atacante do time para treinar seu goleiro. Como forma de contornar esse problema, surgiram as máquinas arremessadoras, cuja função é reproduzir, com o máximo de fidelidade possível, os arremessos efetuados por um arremessador, auxiliando assim no treino dos rebatedores. Apesar de serem muito comuns e acessíveis em países desenvolvidos no beisebol (principalmente Estados Unidos e Japão) tais equipamentos não são produzidos, e raramente são encontrados em território nacional, prejudicando bastante o desenvolvimento dos times brasileiros.

A Associação Atlética Acadêmica Politécnica (nome formal da Atlética da Escola Politécnica da USP) conta com uma equipe de beisebol que participa de diversas competições em nível amador e universitário. Após conversas com integrantes do time, verificou-se que eles não contam com nenhum equipamento capaz de realizar o lançamento automático de bolas, e que quando desejam praticar de maneira mais adequada, tem de se deslocar até a cidade de Cotia, onde existem máquinas ultrapassadas e que muitas vezes não funcionam. Além do transtorno da locomoção, muitas vezes a viagem é inútil devido à idade dos aparelhos e sua intensa utilização (provavelmente uns dos poucos existentes no estado). Destes fatos vem a motivação para o presente trabalho.

### 3. Objetivos

Os objetivos deste trabalho foram divididos em duas partes distintas, porém relacionadas e complementares:

- I. Estudar aparelhos existentes de modo a projetar uma máquina arremessadora de bolas de beisebol capaz de auxiliar atletas de nível universitário a praticar e exercitar habilidades requeridas no esporte (fundamento das rebatidas) sem a necessidade de desgastar o arremessador do time.
- II. Construir um protótipo de tal aparelho, que arremesse as bolas com velocidade e precisão próximas das determinadas na fase de projeto, e testá-lo para a verificação de cumprimento de tais objetivos.

#### 4. Estudo de viabilidade

##### 4.1 Definição da Necessidade

De acordo com a página eletrônica da Confederação Brasileira de Beisebol e Softbol [1], há mais de duas décadas a entidade é a responsável pela organização, controle e administração dessas duas modalidades olímpicas no Brasil. Com o apoio de diversos parceiros, entre eles do Comitê Olímpico Brasileiro (COB), que repassa anualmente uma verba procedente da Lei Piva, vital para o desenvolvimento do esporte amador no país, o beisebol cada vez mais consegue se disseminar no país do futebol. Segundo dados da própria CBBS, já são mais de 30.000 praticantes, 120 times espalhados pelo Brasil inteiro e algo em torno de 55 campeonatos nacionais e internacionais por ano.

Conforme verificado na página eletrônica do “preço-mania” [3], não há fabricantes nacionais do produto em questão, e a alternativa que resta aos clubes e associações nacionais é a importação de máquinas Arremessadoras de bolas de beisebol, principalmente dos Estados Unidos. Uma vez que lá o esporte é bem difundido, existe a presença de diversos fabricantes acarretando, portanto, em melhores preços. Os principais fabricantes são: ATEC, Louisville Slugger, Jugs, Easton e Wilson. Ainda assim, os custos referentes à importação encarecem demasiadamente o produto dificultando, portanto, o acesso deste. Os preços destas máquinas arremessadora variam bastante, pois há grandes diferenças entre cada um dos produtos, como tipo, potência e precisão dos lançamentos principalmente.

O objetivo deste trabalho é projetar e construir um protótipo para ser testado e avaliado por uma instituição universitária de modo a propiciar, no futuro, o acesso a um equipamento de qualidade, mas barato, visando o desenvolvimento técnico de jogadores, algo imprescindível hoje para as associações tanto amadoras quanto profissionais do Brasil.

##### 4.2 Especificação Técnica

Uma vez definido o mercado onde o produto se insere, torna-se necessário estabelecer as especificações técnicas da máquina arremessadora. Estas devem ser as mais objetivas e precisas possível, e têm a finalidade de definir um modelo no qual o produto deve se encaixar.

Para tanto, efetuou-se uma pesquisa de mercado, através da página eletrônica do preço-mania [3], de modo a avaliar os equipamentos existentes. Foram analisados seis tipos diferentes de lançadores de bolas de beisebol, onde os dois últimos não são lançadores, mas estão aqui indicados, pois treinam aspectos importantes do jogo. Os mesmos são apresentados nas figuras de 4.2.1 a 4.2.6:

A máquina arremessadora apresentada na figura 4.2.1 tem as seguintes características:

1. Alimentação superior por sistema de afunilamento.
2. Base da máquina constituída por um tripé.
3. Sistema de lançamento por rolos.
4. Lança projéteis do tamanho de bolas golfe com intuito de treinar coordenação do giro do bastão otimizando o tempo de reação.
5. Capacidade de armazenamento de 50 bolas.
6. Campo de Velocidades entre 30 e 90 km/h.
7. Preço médio de R\$400,00



Figura 4.2.1: Fotos da Máquina Arremessadora 1, superior (esquerda) e frontal (direita)

A máquina arremessadora apresentada na figura 4.2.2 tem as seguintes características:

1. Alimentação manual.
2. Base da máquina constituída por um tripé.
3. Sistema de lançamento por rolos.
4. Lança projéteis do tamanho de bolas de beisebol. Seu diferencial é o lançamento de bolas curvas, mas apenas em uma direção.
5. Sem capacidade de armazenamento.
6. Campo de Velocidades entre 20 e 130 km/h.
7. Preço médio de R\$3500,00

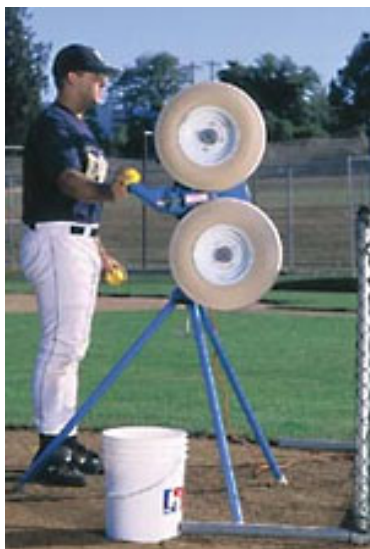


Figura 4.2.2: Fotos da Máquina Arremessadora 2, lateral (esquerda) e frontal (direita)

A máquina arremessadora apresentada na figura 4.2.3 tem as seguintes características:

1. Alimentação superior por sistema de canaleta.
2. Base da máquina constituída por um tripé.
3. Sistema de lançamento por rolos.
4. Lança projéteis do tamanho de bolas de beisebol com intuito de treinar coordenação do giro do bastão otimizando o tempo de reação. Possui ajuste de altura e velocidade.
5. Capacidade de armazenamento de 20 bolas de beisebol.
6. Lança projétil, com precisão, até 20m de distância com velocidade de 100 km/h.
7. Preço médio de R\$1800,00



*Figura 4.2.3: Foto frontal da Máquina Arremessadora 3*

A máquina arremessadora apresentada na figura 4.2.4 tem as seguintes características:

1. Alimentação superior.
2. Base da máquina constituída por um tripé.
3. Sistema de lançamento por rolos.
4. Lança projéteis do tamanho de bolas golfe com diferentes ângulos de saída possibilitando, além de bolas rápidas, treinamento para defesa.
5. Capacidade de armazenamento de 10 bolas.
6. Lança projétil com velocidade até de 100 km/h.
7. Preço médio de R\$1800,00



*Figura 4.2.4: Foto lateral da Máquina Arremessadora 4*

A máquina arremessadora apresentada na figura 4.2.5 tem as seguintes características:

1. Alimentação superior por sistema de canaleta.
2. Base da máquina constituída por um tripé.
3. Sem sistema de lançamento. Funciona por gravidade.
4. Treina coordenação do giro do bastão em diferentes posições (rebatida com bola ao lado do corpo, um pouco à frente ou um pouco atrás) de maneira a encontrar a melhor posição para efetuar a rebatida.

5. Preço médio de R\$200,00



*Figura 4.2.5: Foto da Máquina Arremessadora 5*

A máquina arremessadora apresentada na figura 4.2.6 tem as seguintes características:

1. Sem sistema de alimentação.
2. Base da máquina constituída por um tripé.
3. Sem sistema de lançamento. A bola fica parada.
4. Treina giro do bastão em diferentes posições com o intuito de melhorar o giro através de repetidas rebatidas.
5. Preço médio de R\$300,00.



*Figura 4.2.6: Fotos da Máquina Arremessadora 6*

## 5. Formulação técnica – requisitos

Uma vez que a máquina Arremessadora será utilizada por uma instituição universitária, é de vital importância que o protótipo seja leve e compacto de modo a facilitar o transporte, pois o local de treinamento normalmente não é o mesmo local onde o protótipo será guardado. Deste modo, é interessante que o protótipo caiba em um porta-malas ou em um banco traseiro de um carro popular. Assim sendo, levantaram-se as dimensões destes compartimentos. A tabela abaixo mostra detalhadamente o levantamento dos dados obtidos.

*Tabela 5.1: Dimensões de compartimentos.*

CARROS						
	Banco traseiro			porta-malas		
	profundidade	largura	altura	profundidade	largura	Altura
Clio	58	120	85	58	100	48
Corsa	58	123	83	52	95	43
Fiesta	49	120	81	57	87	41
Palio	51	122	75	48	93	46
Celta	58	122	84	53	96	43

Após breve análise dos equipamentos existentes no mercado, surge a necessidade de se especificar o produto a ser desenvolvido. Para tanto, alguns requisitos são necessários.

- **Funcionais:**
  - a) Desempenho: espera-se que a máquina possa lançar o projétil a grandes velocidades e com precisão (parâmetros definidos em tópicos posteriores).
  - b) Segurança: espera-se estabilidade do sistema de sustentação de modo a evitar tombamento da máquina.
  - c) Transporte: o equipamento precisa ser compacto e leve de modo a facilitar sua locomoção. É necessário que o mesmo caiba em um porta-malas de carro.
  
- **Operacionais:**
  - a) Energia: funcionamento por energia elétrica.
  - b) Durabilidade (vida útil): no mínimo 3 (três) anos de durabilidade dos principais componentes.
  - c) Confiabilidade: nenhuma falha que interrompa o funcionamento normal do produto, como travamentos, falhas por esforços ou fadiga por no mínimo 3 (três) anos, sendo portanto esse o período de garantia do produto.
  
- **Construtivos:**
  - a) Peso da estrutura: no máximo 25kgf.
  - b) Dimensões máximas: altura 95cm, largura 60cm, profundidade 55cm.

### 5.1. Características da Máquina Arremessadora A Ser Desenvolvida

As principais características da máquina a ser desenvolvida, considerando os critérios apresentados nos itens anteriores, são:

- Estabilidade, sistema de sustentação resistente;
- Manutenção, fácil acesso ao motor e ao sistema de lançamento;
- Seguro, com isolamento do sistema de alimentação;
- Boa aparência;
- Facilidade de transporte;
- Confiabilidade – garantia do produto e atendimento pós-venda;

6. Estruturação do desenvolvimento de alternativas

Após a definição da especificação do produto, foram desenvolvidas alternativas de modo a serem obtidos os principais parâmetros do produto em questão que são apresentados na tabela 6.1. Segue uma síntese das soluções obtidas que são apresentadas na tabela 6.2.

Tabela 6.1: Alternativas de projeto

<b>FUNÇÕES</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>I - Sistema de Alimentação</b>	Alimentação Superior por Canaleta	Alimentação Superior por Afunilamento	AUSENTE
<b>II - Sistema de Sustentação</b>	Tripé Rígido	Tripé Articulado	Tripé Apoiado
<b>III - Sistema de Lançamento</b>	Rolos Verticais	Rolos Horizontais	Compressor
<b>IV - Transporte manual</b>	Alças	Rodas	AUSENTE

Tabela 6.2: Caracterização das soluções.

<b>FUNÇÕES</b>	<b>ALTERNATIVAS DE SOLUÇÃO</b>			
	<b>Arremessadora de Bolas Rápidas</b>	<b>Arremessadora de Bolas curvas "Side Spin"</b>	<b>Arremessadora de Bolas Curvas "Top or Back Spin"</b>	<b>Arremessadora de Bolas Curvas Mistas</b>
<b>I - Sistema de Alimentação</b>	A, B ou C	A ou C	A ou C	A ou C
<b>II - Sistema de Sustentação</b>	A, B ou C	A, B ou C	A, B ou C	A, B ou C
<b>III - Sistema de Lançamento</b>	C	A	B	A e B
<b>IV - Transporte manual</b>	A ou B	B ou C	B ou C	B ou C

7. Matriz de decisão

De posse das soluções, as mesmas foram analisadas segundo um conjunto de atributos. A matriz de decisão é apresentada na tabela 7.1.

Tabela 7.1: Matriz de Decisão

ATRIBUTO	PESO	Arremessadora de Bolas Rápidas		Arremessadora de Bolas curvas "Side Spin"		Arremessadora de Bolas Curvas "Top or Back Spin"		Arremessadora de Bolas Curvas Mistas	
		nota	nxp	nota	nxp	nota	nxp	nota	nxp
Peso da Arremessadora	0,12	4	0,48	6	0,72	6	0,72	4	0,48
Precisão nos arremessos	0,15	7	1,05	6	0,90	6	0,90	6	0,90
Velocidade atingida	0,12	5	0,60	4	0,48	4	0,48	4	0,48
Rigidez Estrutural	0,12	7	0,84	5	0,60	6	0,72	3	0,36
Confiabilidade	0,18	2	0,36	6	1,08	6	1,08	5	0,90
Durabilidade	0,09	4	0,36	4	0,36	7	0,63	6	0,54
Custo de fabricação	0,09	7	0,63	5	0,45	5	0,45	5	0,45
Investimento necessário	0,07	4	0,28	5	0,35	5	0,35	4	0,28
Utilização de componentes padrão	0,06	7	0,42	6	0,36	6	0,36	5	0,30
Soma	1		5,02		5,30		5,69		4,69

Portanto, a solução escolhida foi uma Máquina Arremessadora de Bolas Curvas “Top or Back Spin” com base de sustentação na forma de tripé com rodas, com sistema de lançamento por rolos verticais e sistema de alimentação superior por canaleta.

7.1. Análise da solução escolhida

Inicialmente, foi adotada como solução uma máquina que arremessaria a bola com dois rolos verticais (baseada na Figura 4.2.2) e foi dado início ao projeto e dimensionamento da mesma. O desenho da figura 7.1.1 mostra as considerações iniciais dessa etapa.

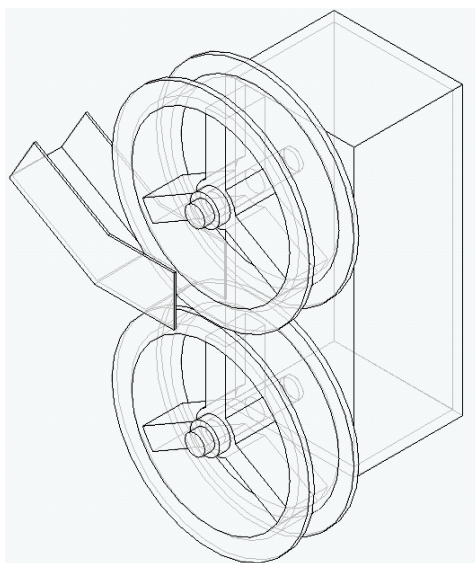


Figura 7.1.1: Ilustração do projeto inicial da máquina

No entanto, ao realizar a análise do número e utilização dos motores que controlariam tais rolos, duas propostas foram apresentadas: (i) utilizar dois motores, sendo que cada um controlaria um rolo independentemente, ou (ii) utilizar apenas um motor com um redutor que transmitisse rotações iguais a ambos os rolos.

No primeiro caso, poderiam ser encontrados problemas, uma vez que seria difícil garantir que ambos os motores operassem à mesma rotação podendo levar a efeitos indesejados no arremesso. Além disso, o projeto seria encarecido sobremaneira, uma vez que nessa alternativa seria necessária a aquisição do dobro de motores. Já no segundo caso, o problema encontrado referia-se à complexidade de construir um redutor capaz de operar os rolos em velocidades diferentes. A utilização de um redutor mais simples tornaria o projeto viável, mas faria com que os rolos mantivessem sempre a mesma rotação, impossibilitando criar “efeitos” diversos no arremesso.

Como nenhuma das alternativas atendeu aos requisitos estipulados integralmente, o projeto foi modificado baseado na observação de uma máquina desativada durante visita ao campo do time beisebol São Paulo Gigantes (centro de treinamento de beisebol e softbol, próximo ao PlayCenter). O novo conceito consiste em utilizar uma placa oposta ao rolo inferior, fazendo o papel do rolo superior, comprimindo a bola e efetuando o arremesso. Além disso, foi feita a substituição do rolo por uma roda comum de carrinho de mão, mais fácil de ser adquirida e sem prejuízo aos resultados finais do projeto. Toda a influência de tais modificações será examinada no tópico 8 referente ao projeto e dimensionamento.

## 8. Projeto da Arremessadora

O primeiro passo do projeto consistiu na seleção da roda adequada e de um motor capaz de desenvolver a potência necessária para se efetuar o arremesso à velocidade especificada. A seleção do motor foi feita com base nas características da bola e da rola selecionadas, no mesmo modo descrito por CHU e CANASHIRO, 1998 [4]. Esse processo de seleção de motor foi iterativo e quando houve modificações nas características desses elementos, essas foram devidamente contabilizadas. As características da bola, motor e roda são apresentadas nos próximos tópicos.

### 8.1. Características do arremesso e da bola

Antes de se iniciar os cálculos, foram coletadas algumas informações sobre a bola. A bola oficial utilizada pela liga profissional americana (vide figura 8.1.1), de acordo com a Major League Baseball [2], apresenta as seguintes características:

- Diâmetro =  $3,25'' = 82,55 \text{ mm}$
- Massa = 150 g



*Figura 8.1.1: Foto de bola oficial*

Como requisitos de projeto, têm-se:

- Massa da bola de beisebol: 0,150 Kg
- Intervalo de velocidades aceitáveis para o arremesso: entre 20 m/s e 30 m/s (intervalo aceitável para o nível universitário)
- Distância do Arremessador até a base: 20 m

### 8.2. Seleção do motor

De maneira a se reduzir os custos, foi selecionado inicialmente um motor de liquidificador comum. Além de atingir os requisitos de projeto tais como potência e rotação, trata-se de um motor extremamente leve, contribuindo, portanto, para o objetivo de facilidade de transporte da Máquina Arremessadora. De posse dos resultados anteriores, foi selecionado o motor Arno, do modelo de liquidificador Performa Magic Clean, que opera com frequência de 60 Hz, voltagem 110/220V, potência de 450 W, rotação 1750 rpm e consumo de energia de 0,15 kW/h; apresentado na figura 8.2.1.



Figura 8.2.1: Liquidificador ARNO Performa Magic Clean

### 8.3. Características e dimensionamento da roda

Utilizando o critério de projeto com apenas uma roda para se imprimir velocidade ao projétil, é apresentada na figura 8.3.1 o esquema de cálculo das velocidades da bola e da roda durante o arremesso.

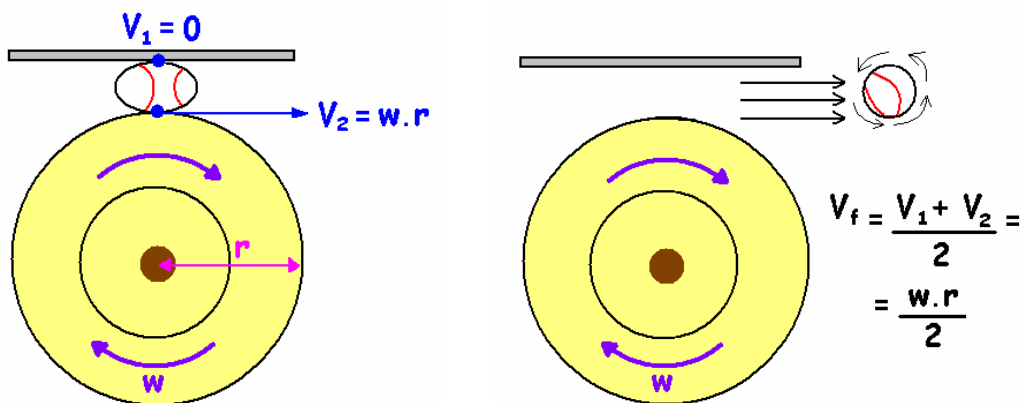


Figura 8.3.1: Velocidade Periférica da Roda e da Bola.

$V_1$  é a velocidade da parte superior da bola, em contato com a chapa.

$V_2$  é a velocidade da parte inferior da bola, em contato com a roda.

$V_f$  é a velocidade final de arremesso, média das duas velocidades 1 e 2.

$w$  é a velocidade angular da roda, determinada pela rotação do motor.

$r$  é o raio da roda utilizada.

A partir deste esquema, nota-se que a velocidade periférica da roda deve ser o dobro da requisitada para a bola. Além disso, para se imprimir a velocidade desejada à bola, o impulso sobre a mesma durante o arremesso deve ser igual ao impulso que a roda é capaz de gerar. Assim, como requisitos de projeto, têm-se:

- Velocidade periférica mínima da roda:  $v_p = 2 \cdot v = 40 \text{ m/s}$
- Rotação do motor: 1750 RPM

Deste modo, obteve-se a potência necessária para o arremesso:

- Raio da roda:

$$v = \omega \cdot r \rightarrow r = \frac{v}{\omega} \quad (m)$$

Os resultados obtidos estão dispostos na tabela 8.3.1.

Tabela 8.3.1: Potência Necessária no Arremesso

Parâmetro	Valor médio
Rotação ( $\omega$ )	1750 rpm = 185 rad/s
Velocidade esperada ( $V_f$ )	70 km/h = 19,4 m/s
Dimensionamento do Raio da Roda ( $r$ )	209,7 mm
Raio da roda utilizada ( $r$ )	$r' = 203,2$ mm

Pode-se notar, pela análise da tabela, que o raio necessário para a roda ser capaz de arremessar a bola na velocidade mínima do intervalo determinado (70km/h , próximo a 20 m/s) seria de 207mm, descontados os efeitos de compressão, que tendem a aumentar a velocidade do arremesso.

Por motivos de praticidade e redução de custos, foi adquirida uma roda de carrinho de mão comum, com diâmetro padrão de 16 polegadas (raio de aproximadamente 203,2 mm) e massa de 2,4 kg. Como o raio utilizado era ligeiramente inferior ao projetado (97%), era de se esperar que a velocidade do arremesso ficasse muito próxima à esperada (o que seria comprovado depois na parte de testes).

Foi definida, então, a folga entre a placa e a roda após ser realizada uma medição que constatou que as bolas a serem utilizadas possuíam diâmetro médio igual a 80 mm (ligeiramente menor que o diâmetro nominal mencionado anteriormente). Deste modo, definiu-se o seguinte:

- Intervalo aceitável para o diâmetro das bolas: entre 78 e 83 mm
- Distância entre a placa e a roda: 70 mm, com o arremesso sendo feito com a compressão do pneu da roda, uma vez que a bola é muito pouco comprimida.

#### 8.4. Dimensionamento da base de sustentação

O material selecionado para a base de sustentação da máquina foram tubos e chapas de aço SAE 1020. Segundo formulação presente na página eletrônica da empresa aço tubo [5], a tensão admissível em uma coluna é obtida dividindo-se a tensão máxima por um fator de segurança apropriado. O termo “tensão máxima” quer dizer a tensão obtida tomando-se o carregamento máximo (ou carregamento último) que a coluna pode suportar e dividindo-o pela área da seção transversal. Uma vez que a razão de esbeltez ( $L/r$ ) é grande, a tensão máxima pode ser baseada no carregamento de Euler:

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{\pi^2 \cdot E}{(K \cdot L / r)^2}$$

Onde:  $\sigma_{m\acute{a}x}$  representa a Tensão Máxima;

$E$  representa o Módulo de Elasticidade;

$k$  representa a característica do carregamento;

$L$  representa o comprimento do tubo;

$r$  representa o raio do tubo.

O tripé da máquina arremessadora pode ser modelado como um tubo sob ação de uma tensão axial (vide modelo abaixo apresentado na figura 8.4.1):

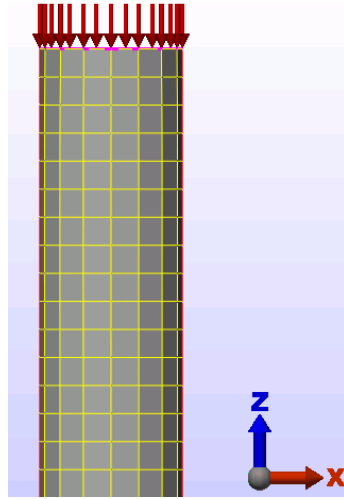


Figura 8.4.1: Modelo do tubo da base de sustentação

De acordo com GERE, 1988 [6], para se determinar a menor razão de esbeltez, fixa-se  $\sigma_{m\acute{a}x} = 0,5 \cdot \sigma_Y$ , uma vez que em seções de grande esbeltez, pode haver tensões residuais significativas que fazem com que o limite de proporcionalidade do aço seja menor. Deste modo, obtém-se a razão de esbeltez crítica:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{\sigma_Y}}$$

Onde:  $\sigma_Y$  representa a tensão de escoamento;

$\left(\frac{KL}{r}\right)_c$  representa a razão de esbeltez crítica.

Se a razão de esbeltez real for maior que a crítica, a tensão máxima pode ser calculada pela Fórmula de Euler apresentada anteriormente. Esta equação pode ser expressa de forma adimensional dividindo-se pela tensão de escoamento:

$$\frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_Y} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\sigma_Y \cdot (K \cdot L/r)^2} = \frac{(K \cdot L/r)_c^2}{2(K \cdot L/r)^2}, \text{ quando } \frac{KL}{r} \geq \left(\frac{KL}{r}\right)_c$$

Para se obter as tensões admissíveis a partir das tensões máximas quando  $\left(\frac{KL}{r}\right) \geq \left(\frac{KL}{r}\right)_c$ , adota-se

o seguinte valor para o coeficiente de segurança, de acordo com GERE [6]:

$$n = \frac{23}{12} \approx 1,92$$

Onde:  $n$  representa o coeficiente de segurança.

Portanto, obtém-se a seguinte relação de razões de esbeltez:

$$n = \frac{(K \cdot L/r)_c^2}{2(K \cdot L/r)^2}, \text{ quando } \frac{KL}{r} \geq \left(\frac{KL}{r}\right)_c$$

No caso da máquina arremessadora, a tensão admissível será a tensão referente à carga da máquina aplicada integralmente como tensão axial sobre a área transversal do tubo (vide figura 8.4.2 abaixo).

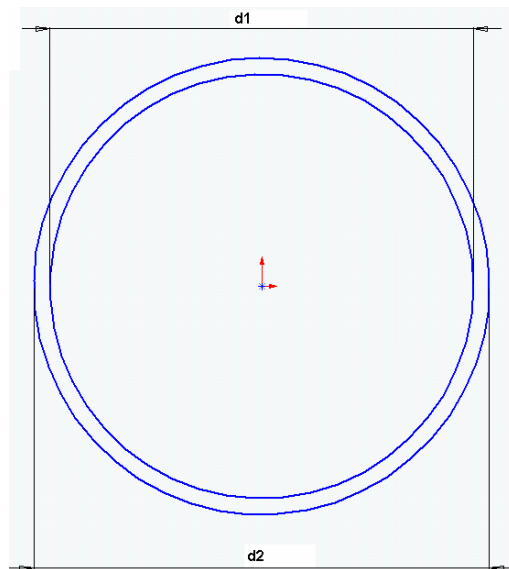


Figura 8.4.2: Área transversal do tubo da base de sustentação  
*d1* é o diâmetro interno do tubo.  
*d2* é o diâmetro externo do tubo.

Além disso, o  $k$  deste tipo de carregamento tem valor numérico de um. Deste modo, obtém-se uma razão de esbeltez suficiente para que o tubo resista à carga a que será submetido.

Uma vez que a tensão máxima, descrita em GERE [6], é dada por:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi/4 \cdot (d_2^2 - d_1^2)}$$

Onde:  $P$  representa a pressão aplicada sobre o tubo;

$A$  representa a área da seção transversal do tubo.

A razão de esbeltez real é, portanto:

$$\frac{KL}{r} = \frac{KL}{(d_2 + d_1)/2}$$

Definida a mínima razão de esbeltez do tubo, pôde-se enfim selecionar o mesmo. Os resultados estão expressos na tabela 8.4.1.

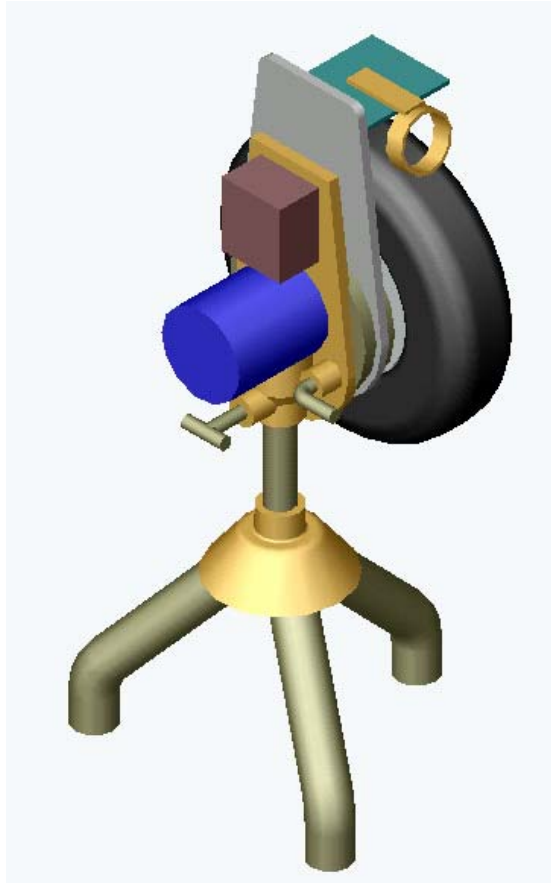
Tabela 8.4.1 Área transversal do tubo da base de sustentação

DIMENSIONAMENTO DO TUBO	
Dados do Tubo	
Módulo de Elasticidade	210 GPa
Tensão de Escoamento	150 MPa
Peso Total	196 N
Comprimento do tubo	0,5 m
Cálculos de Esbeltez	
Razão de esbeltez crítica	166,24
Razão real	43,29
Tubo selecionado	
tubo 1"-0,9mm	1599,33

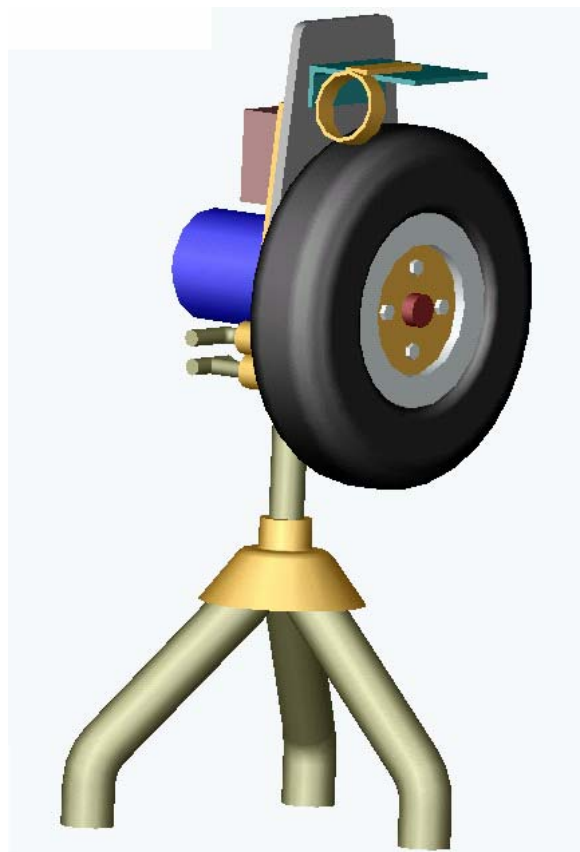
Embora o dimensionamento permitisse a utilização de tudo com dimensões menores que a especificada, optou-se por um tubo de aço SAE 1020 de diâmetro 1'' com 0,9 mm de espessura pelo seu baixo custo e fácil aquisição no mercado, como constatado na página eletrônica da empresa aço-tubo [5].

9. Resultados: Desenhos do Produto

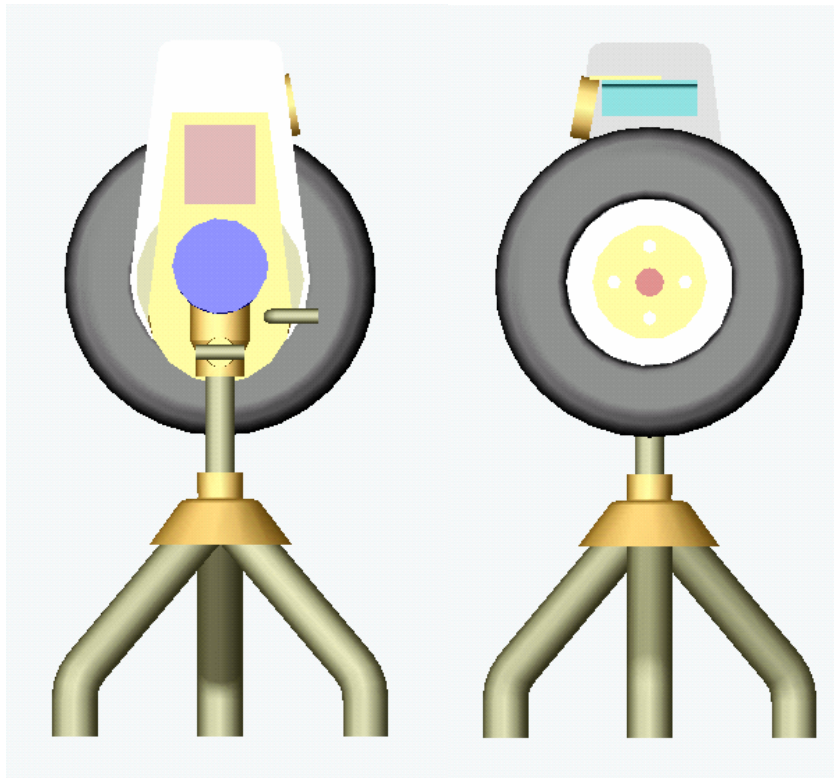
As figuras de 9.1 a 9.4 ilustram várias vistas do projeto desenvolvido para a máquina arremessadora.



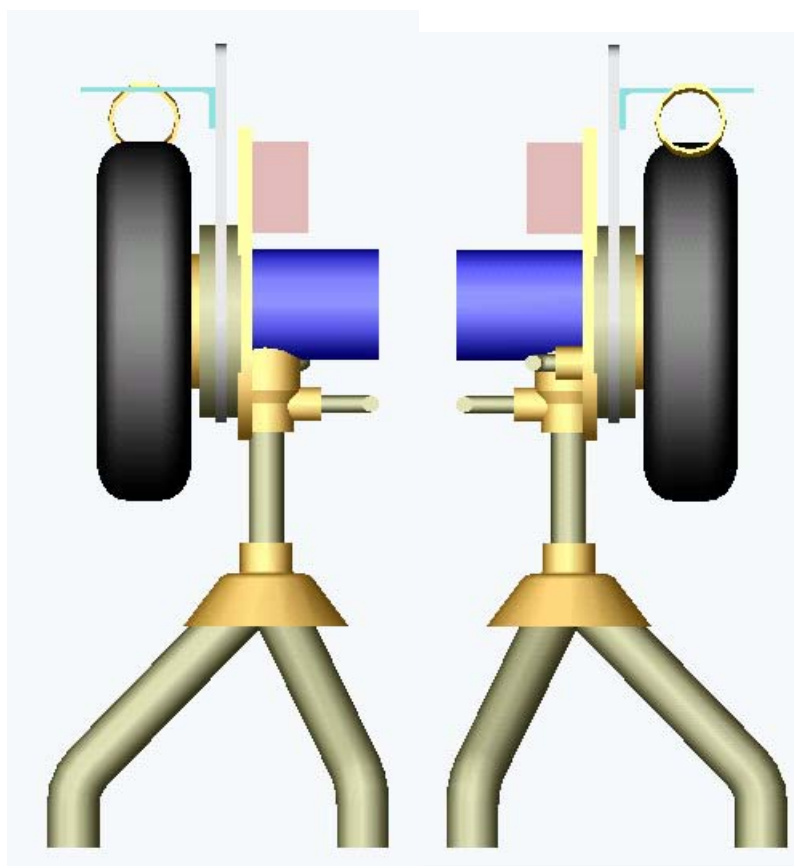
*Figura 9.1: Vista Isométrica Esquerda da Máquina Arremessadora*



*Figura 9.2: Vista Isométrica Direita da Máquina Arremessadora*



*Figura 9.3: Vista frontal e traseira da Máquina Arremessadora*



*Figura 9.4: Vistas Laterais, direita e esquerda, da Máquina Arremessadora*

## 10. Problemas iniciais na Fabricação do Protótipo

Terminada a etapa de projeto, com a máquina completamente descrita, suas peças detalhadas, e sistemas constituintes especificados, foi possível dar início à etapa seguinte, de construção do protótipo. Seguindo as determinações do projeto, foi adquirido um motor de liquidificador para realizar o trabalho de rotação da roda arremessadora. Foi constatado que o motor da marca ARNO adquirido, com as especificações citadas anteriormente, era capaz de movimentar a roda satisfatoriamente (rotação adequada e potência suficiente). No entanto, o eixo do motor (com apenas 10 mm de diâmetro) não foi capaz de sustentar o peso da roda.

Após desmontá-lo para verificar que a substituição de seu eixo não era uma solução viável, novas soluções tiveram de ser encontradas para corrigir essa falha. Inicialmente pensou-se na utilização de 2 mancais com rolamentos para apoiar o eixo motor da roda, cuja função seria suportar o peso da mesma, cabendo ao motor apenas girar o eixo da roda. No entanto tal solução trouxe novos problemas complexos, como o de alinhamento de eixos (do motor e da roda) e da fixação dos rolamentos, que levariam a um difícil processo de usinagem do eixo, para fixá-lo na roda e acoplá-lo ao motor.

Diante de tais problemas, e evitando alterar radicalmente o projeto já formulado, optou-se por substituir o motor adquirido por outro com eixo mais robusto, capaz de suportar esforços maiores. Foi escolhido um motor de indução trifásico usado, de 220V com características semelhantes ao anterior (potência de 0,75HP e 1720 rpm), porém com um eixo muito mais resistente, apresentado na figura 10.1. Com sua utilização foi possível voltar ao projeto inicial de roda acoplada ao motor, em balanço.

Vale ressaltar que como a potência desse novo motor é consideravelmente maior que a mínima necessária (calculada no projeto), seria possível utilizar-se de motores menos potentes, tornando o protótipo mais leve e barato (conforme discutido em item posterior). No entanto, como o motor foi fruto de um empréstimo, não acarretando custo extra algum à construção do protótipo, e como o super dimensionamento do mesmo em nada afetou as características funcionais da máquina (com exceção de torná-la mais pesada), foi decidido utilizá-lo sem restrições.



*Figura 10.1: Motor utilizado.*

## 11. Fabricação do Protótipo

De maneira a simplificar o processo de fabricação, sua exemplificação foi dividida em etapas. Cada etapa representou a fabricação de determinada peça, seguindo os conceitos descritos por NORTON, 1994 [7]. As vistas de cada uma das peças fabricadas são indicadas pelos desenhos de fabricação que estão dispostos no final deste capítulo. A seqüência de montagem das peças será exemplificada no capítulo 12.

### 11.1. Buchas da roda

#### 11.1.1. Materiais Utilizados

- Barra de aço SAE1020
  - Diâmetro: 2" (50,8 mm)
  - Comprimento: 100 mm

#### 11.1.2. Maquinário Utilizado

- Cortadeira
- Torno
- Furadeira de Bancada

#### 11.1.3. Folha de Processo

##### 11.1.3.1. Bucha Interna

- Cortar um eixo de 50 mm;
- Tornear externamente um eixo até o diâmetro de 42,8 mm;
- Usar furadeira de bancada para criar um furo de 35 mm por um comprimento de 45 mm;
- Tornear internamente o eixo até o diâmetro de 36,8 mm;
- Criar rasgo de chaveta passante na parte interna do tubo com 5 mm de largura.

##### 11.1.3.2. Bucha Externa

- Cortar um eixo de 50 mm;
- Tornear externamente um eixo até o diâmetro de 42,8 mm;
- Usar furadeira de bancada para criar um furo de 35 mm por um comprimento de 45 mm;
- Tornear internamente o eixo até o diâmetro de 36,8 mm;
- Usar furadeira de bancada para criar um furo de 6 mm na tampa externa.

### 11.2. Chaveta do eixo

#### 11.2.1. Materiais Utilizados

- Chapa de aço SAE1020
  - Espessura: 1/4" (6,35 mm)
  - Dimensões: 50 x 50 mm

#### 11.2.2. Maquinário Utilizado

- Guilhotina
- Fresadora de Topo
- Esmeril

### 11.2.3. Folha de Processo

- a) Cortar chapa de 55 x 10 mm;
- b) Fresar chapa para largura e espessura de 5 mm;
- c) Usar esmeril para arredondar os cantos vivos para raio de 5 mm.

## 11.3. Base do motor

### 11.3.1. Materiais Utilizados

- Chapa de aço SAE1020
  - Espessura: 1/4" (6,35 mm)
  - Dimensões: 600 x 600 mm

### 11.3.2. Maquinário Utilizado

- Guilhotina
- Solda MIG
- Furadeira de bancada

### 11.3.3. Folha de Processo

- a) Cortar duas chapas de 300 x 250 mm;
- b) Criar abas de 25 mm em todos os lados da chapa;
- c) Soldar lateralmente as abas umas nas outras;
- d) Usar furadeira de bancada para criar quatro furos M8 nas posições especificadas pelo desenho de fabricação.
- e) Marcar com punção o lado que será soldado com as barras de apoio.

## 11.4. Barras de Apoio

### 11.4.1. Materiais Utilizados

- Barras em "L" de aço SAE1020
  - Espessura: 2 mm
  - Largura: 25 x 25 mm
  - Comprimento: 1000 mm

### 11.4.2. Maquinário Utilizado

- Cortadeira
- Esmeril
- Fresadora de Topo

### 11.4.3. Folha de Processo

- a) Cortar duas barras de 300 mm e uma barra de 200 mm de comprimento;
- b) Serrar a barra de 200 mm no meio do "L" conforme desenho;
- c) Fresar um rasgo de 40 mm de comprimento com raio de 8 mm nas pontas conforme desenho e nas posições especificadas.
- d) Soldar cada uma das barras de apoio à base do motor.

## 11.5. Ajustes das Barras

### 11.5.1. Materiais Utilizados

- Barra retangular de aço SAE1020
  - Largura: 30 x 25 mm
  - Comprimento: 100 mm

### 11.5.2. Maquinário Utilizado

- Cortadeira
- Furadeira de Bancada
- Macho M8

### 11.5.3. Folha de Processo

#### 11.5.3.1. Ajuste da Barra Direita

- a) Cortar uma barra de 45 mm;
- b) Criar dois furos de 8 mm nas posições especificadas pelo desenho;
- c) Fazer duas roscas M8 passantes.

#### 11.5.3.2. Ajuste da Barra Esquerda

- a) Cortar uma barra de 45 mm;
- b) Criar um furo de 8 mm nas posição especificada pelo desenho;
- c) Fazer uma rosca M8 passante.

## 11.6. Guia para Alimentação

### 11.6.1. Materiais Utilizados

- Barra em “U” de aço SAE1020
  - Espessura: 2 mm
  - Largura: 40 x 75 mm
  - Comprimento: 200 mm

### 11.6.2. Maquinário Utilizado

- Cortadeira
- Solda MIG
- Furadeira de Bancada

### 11.6.3. Folha de Processo

- a) Cortar uma barra em “U” de 175 mm;
- b) Cortar na cota de 50 mm deixando apenas a uma aba de 50 mm na barra conforme desenho;
- c) Dobrar a aba sob um ângulo de 10 graus;
- d) Cortar duas chapas de 15 x 15 mm e soldá-las na posição especificada pelo desenho;
- e) Criar dois furos M6 nas chapas soldadas.

## 11.7. Guia para Lançamento

### 11.7.1. Materiais Utilizados

- Barra em “U” de aço SAE1020
  - Espessura: 2 mm
  - Largura: 40 x 75 mm
  - Comprimento: 300 mm

### 11.7.2. Maquinário Utilizado

- Cortadeira
- Solda MIG
- Furadeira de Bancada

### 11.7.3. Folha de Processo

- a) Cortar uma barra em “U” de 250 mm;
- b) Cortar uma chapa de 40 x 15 mm e soldá-las na posição especificada pelo desenho;
- c) Criar um furo M6 na chapa soldada.

## 11.8. Tubo Central

### 11.8.1. Materiais Utilizados

- Tubo de aço SAE1020
  - Diâmetro: 65 mm
  - Espessura: 2 mm
  - Comprimento: 150 mm
- Tubo de aço SAE1020
  - Diâmetro: 60 mm
  - Espessura: 2 mm
  - Comprimento: 400 mm

### 11.8.2. Maquinário Utilizado

- Furadeira de Bancada

### 11.8.3. Folha de Processo

- a) Criar um furo M8 no tubo menor na posição especificada pelo desenho.

## 11.9. Tripé

### 11.9.1. Materiais Utilizados

- Tubo de aço SAE1020
  - Diâmetro: 35 mm
  - Espessura: 2 mm
  - Comprimento: 2000 mm
- Barra de aço SAE1020
  - Diâmetro: 35 mm
  - Comprimento: 150 mm

### 11.9.2. Maquinário Utilizado

- Cortadeira
- Solda Mig

### 11.9.3. Folha de Processo

Cortar três barras de 45 mm de comprimento;

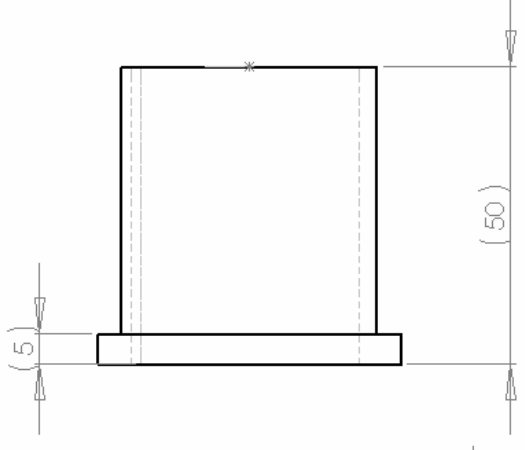
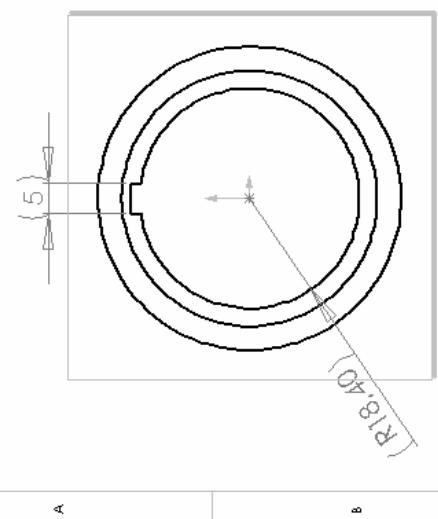
Cortar três tubos de 500 mm de comprimento

Soldar cada um dos tubos à base das barras sob um ângulo de 75 graus;

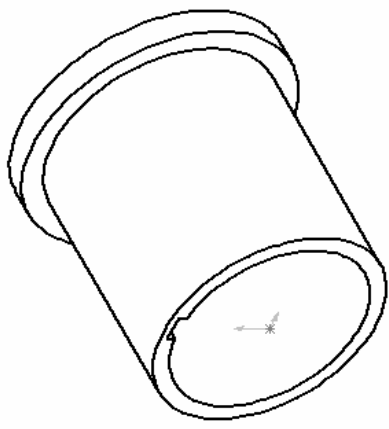
A seguir seguem os respectivos desenhos de fabricação para cada uma das peças apresentadas anteriormente.

1 2 3 4 5 6

A B C D

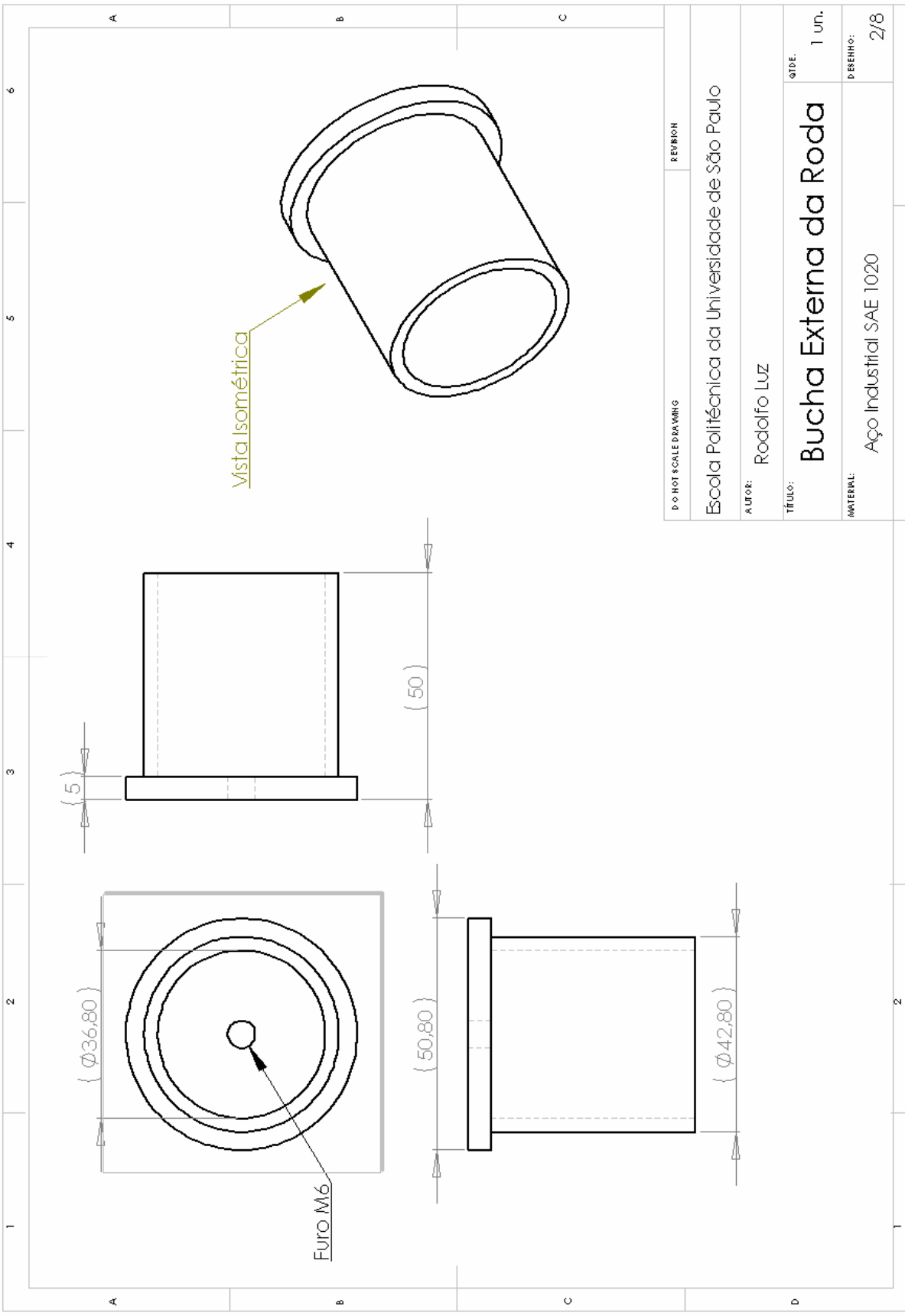


Vista Isométrica

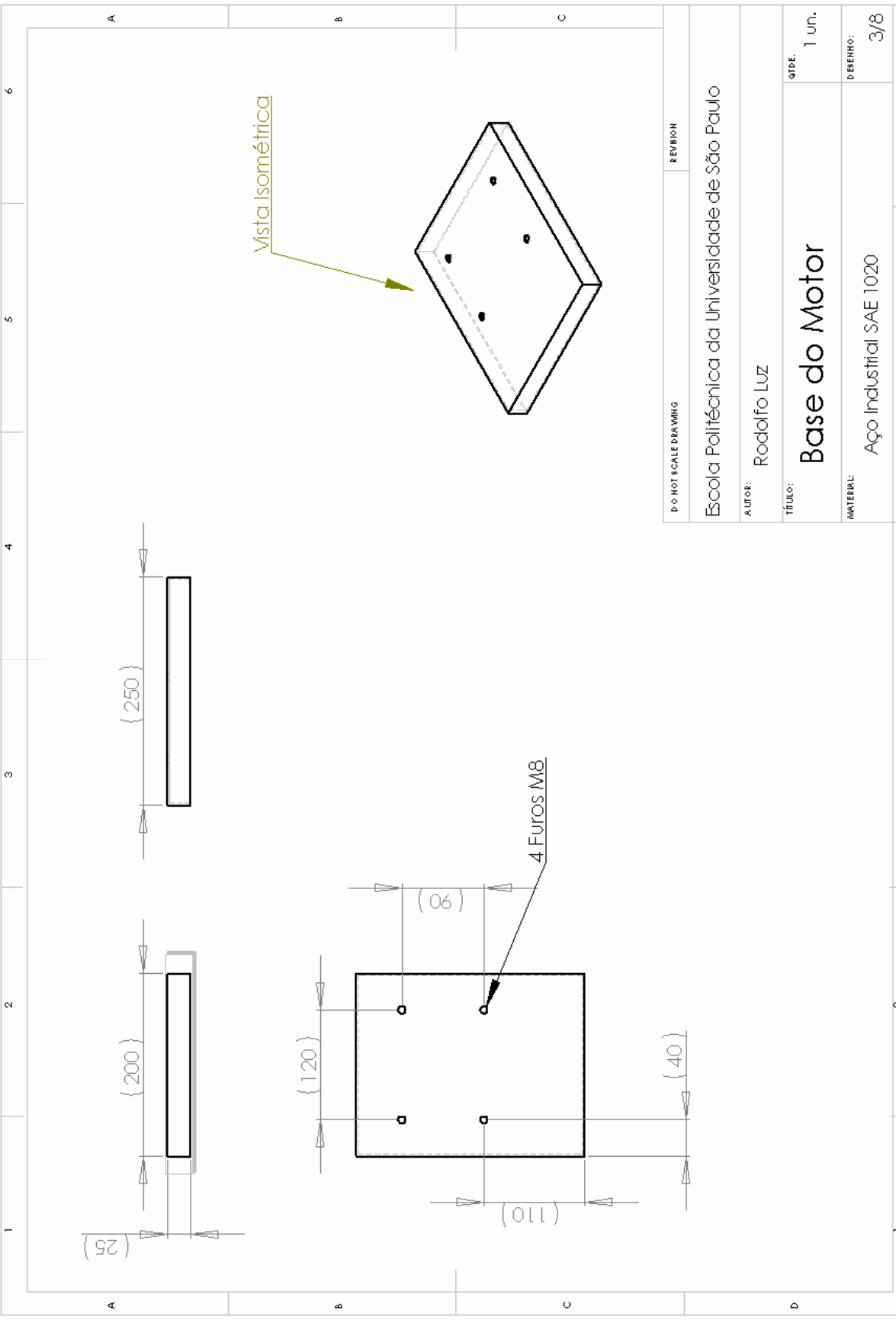


D O NOT SCALE DRAWING		REVISION
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo		
AUTOR:	Rodolfo Luz	QTD:
TÍTULO:	<b>Bucha Interna da Roda</b>	1 un.
MATERIAL:	Aço Industrial SAE 1020	D BRENHO:
		1/8

2

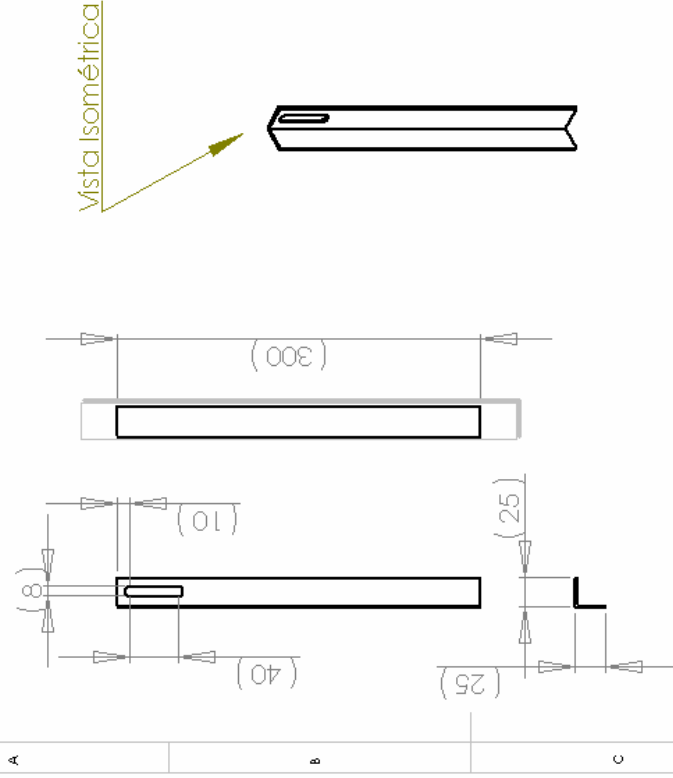


D O NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo			
AUTOR:	Rodolfo Luz	Q.TDE.	1 un.
TÍTULO:		<b>Bucha Externa da Roda</b>	
MATERIAL:		Aço Industrial SAE 1020	
		DESENHO:	2/8

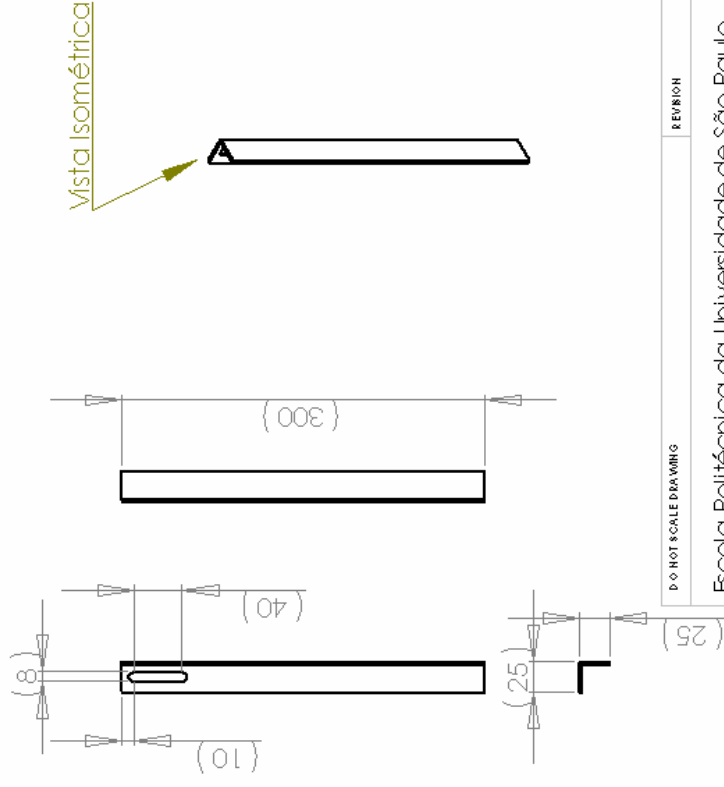


D O NOT SCALE DRAWING		REVISION	
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo			
AUTOR: Rodolfo Luz		QTD: 1 un.	
TÍTULO: Base do Motor		D BLENHO: 3/8	
MATERIAL: Aço Industrial SAE 1020			

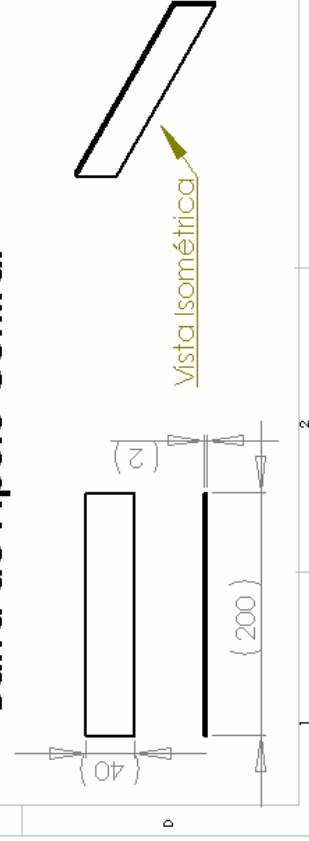
## Barra de Apoio Esquerda



## Barra de Apoio Direita



## Barra de Apoio Central



D O NOT SCALE DRAWING

REVISION

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

A UTORE: Rodolfo Luz

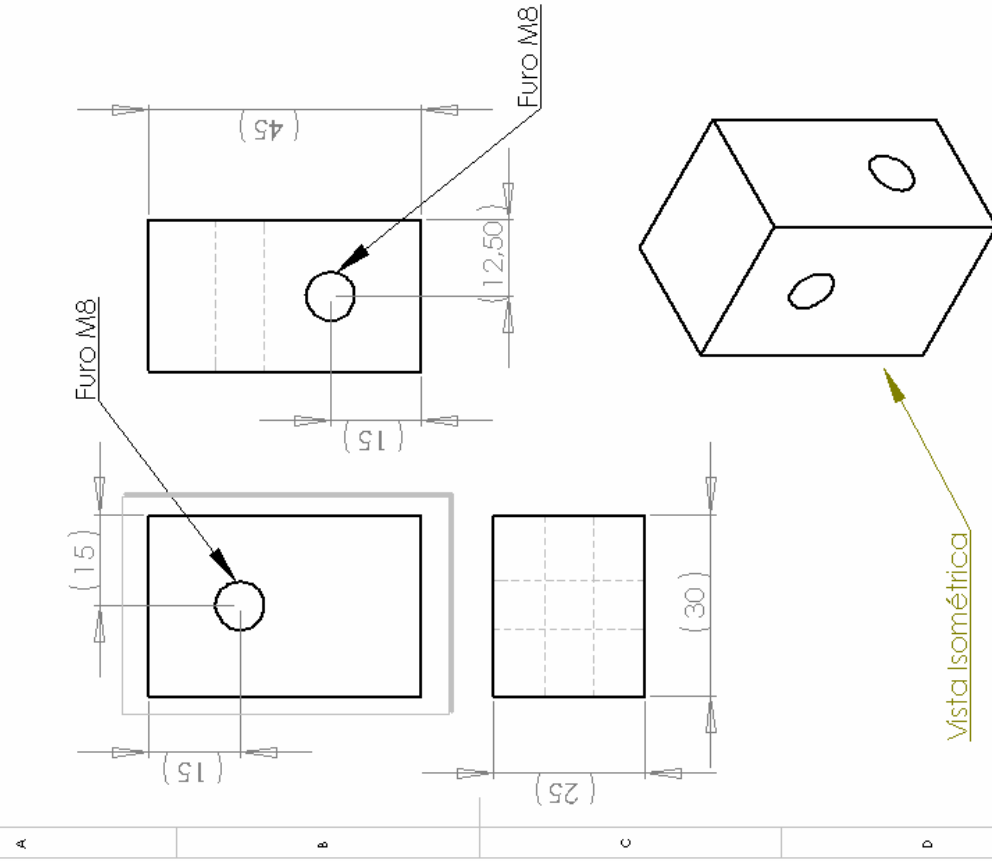
TÍTULO: Barra de Apoio Esquerda QTDE: 1 un.

TÍTULO: Barra de Apoio Central QTDE: 1 un.

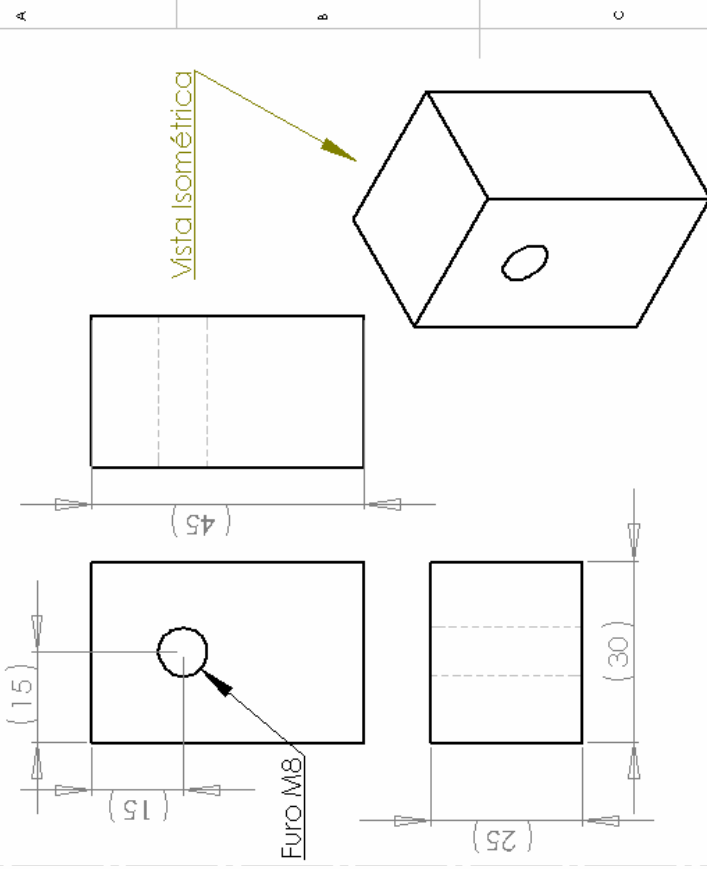
TÍTULO: Barra de Apoio Direita QTDE: 1 un.

MATERIAL: Aço Industrial SAE 1020 Q. BERRHO: 4/8

## Ajuste da Barra Direita



## Ajuste da Barra Esquerda



D O NOT SCALE DRAWING

REVISION

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

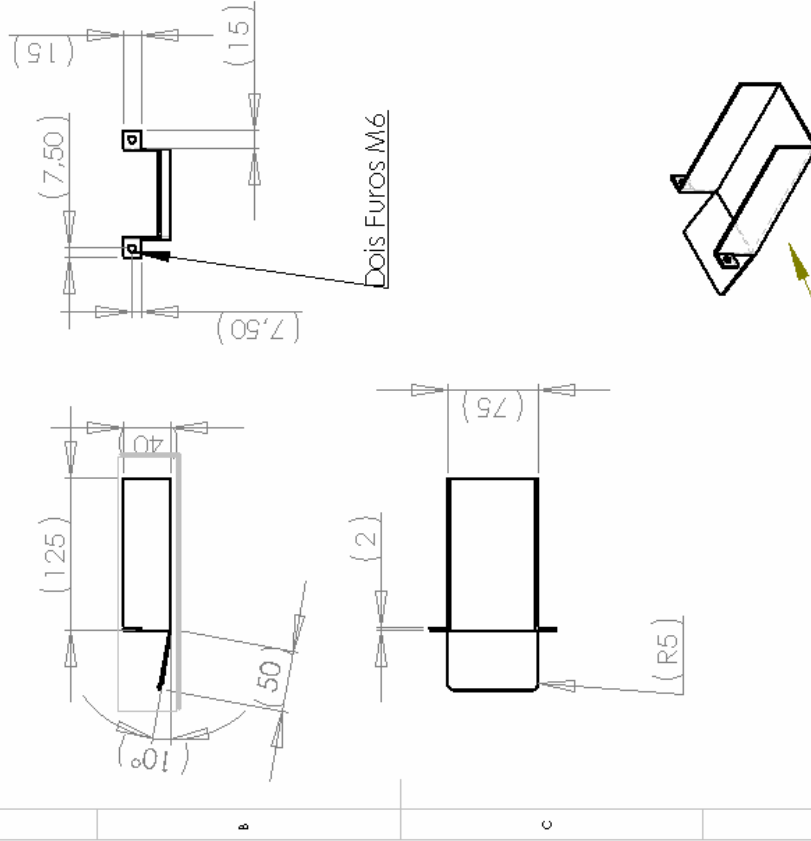
AUTOR: Rodolfo LUZ

TÍTULO: Ajuste da Barra Direita QTD: 1 un.

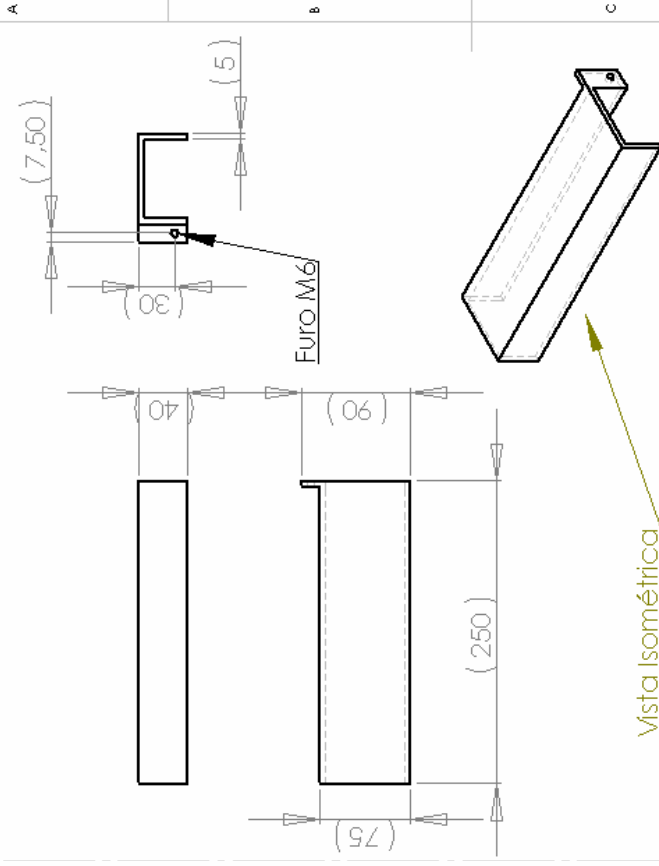
TÍTULO: Ajuste da Barra Esquerda QTD: 1 un.

MATERIAL: Aço Industrial SAE 1020 DESenho: 5/8

## Guia de Alimentação



## Guia de Lançamento



D O NOT SCALE DRAWING

REVISION

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

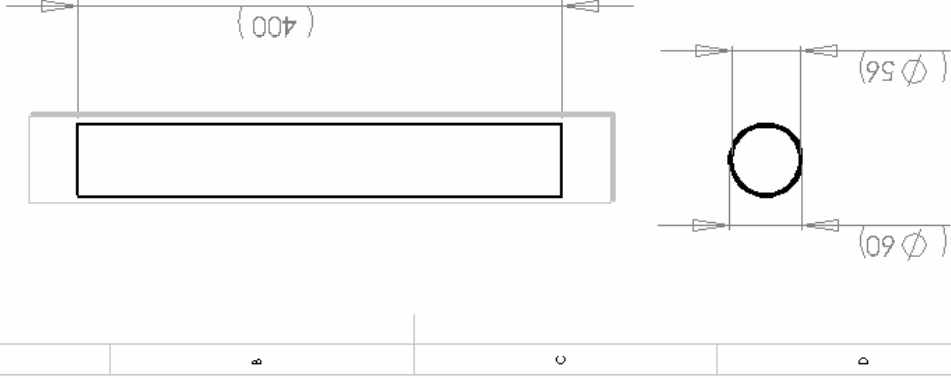
AUTOR: Rodolfo Luz

TÍTULO: Guia de Alimentação QTDE: 1 un.

TÍTULO: Guia de Lançamento QTDE: 1 un.

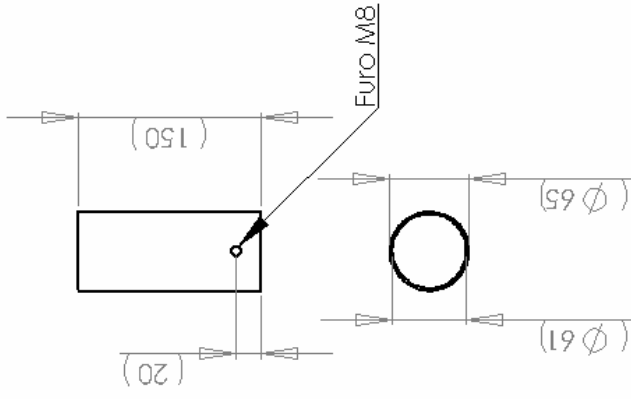
MATERIAL: Aço Industrial SAE 1020 D BRENHO: 6/8

## Tubo de Ajuste



Vista Isométrica

## Tubo Central



Vista Isométrica

D O NOT SCALE DRAWING

REVISION

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

AUTOR: Rodolfo Luz

TÍTULO: Tubo de Ajuste

QTDE. 1 un.

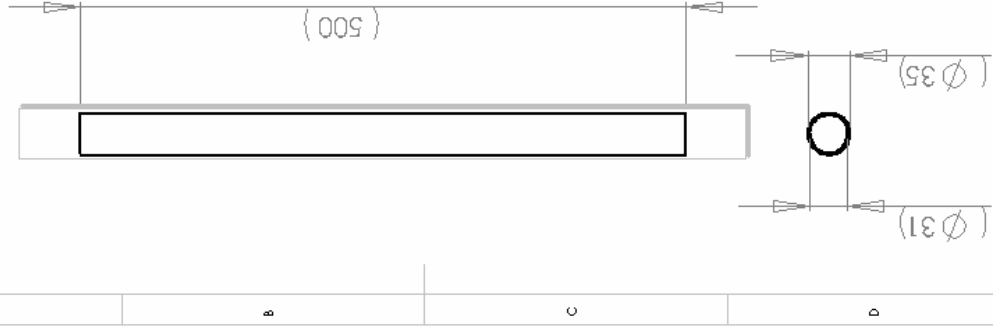
TÍTULO: Tubo Central

QTDE. 1 un.

MATERIAL: Aço Industrial SAE 1020

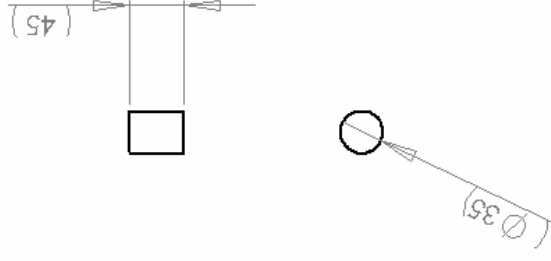
DESENHO: 7/8

## Tubo do Tripé



Vista Isométrica

## Base do Tripé



Vista Isométrica

D O NOT SCALE DRAWING

REVISION

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

AUTOR: Rodolfo Luz

TÍTULO: Tubo do Tripé

QTD: 3 un.

TÍTULO: Base do Tripé

QTD: 3 un.

MATERIAL: Aço Industrial SAE 1020

D BENCHO: 8/8

## 12. Montagem do protótipo

A montagem do protótipo foi iniciada com a fixação da roda ao eixo do motor, com a utilização da chaveta e das buchas, interna e externa, todas ilustradas na figura 12.1 e fabricadas conforme os desenhos apresentados no tópico anterior (desenhos 1 e 2).



*Figura 12.1: Buchas da roda e chaveta de fixação.*

A bucha interna da roda foi então fixada ao eixo do motor com auxílio da chaveta (como ilustrado na figura 12.2) para depois prender a roda, que foi comprimida pelas duas buchas (como mostrado na figura 12.3).



*Figura 12.2: Bucha interna da roda, já fixada ao eixo do motor.*



*Figura 12.3: Buchas que se contrapõem, prensando a roda, e mantendo-a fixa.*

Pelo sistema descrito das buchas, que prensam a roda, foi possível então fixar a roda (figura 12.4) com a utilização de um parafuso, passando pelo centro das duas buchas que garantiu o aperto necessário entre elas. Foi decidido utilizar três pontos de solda entre a roda e a bucha externa como forma de evitar que a roda se soltasse, caso o motor fosse ligado no sentido de rotação inversa por engano (desapertando, dessa forma, o parafuso) e também para garantir que o esforço rotativo fosse transmitido integralmente das buchas para a roda

(minimizando o deslizamento entre as partes). O resultado final de tal operação é facilmente visualizado na figura 12.5.



*Figura 12.4: Bucha externa entrando para prensar a roda, fixando-a.*



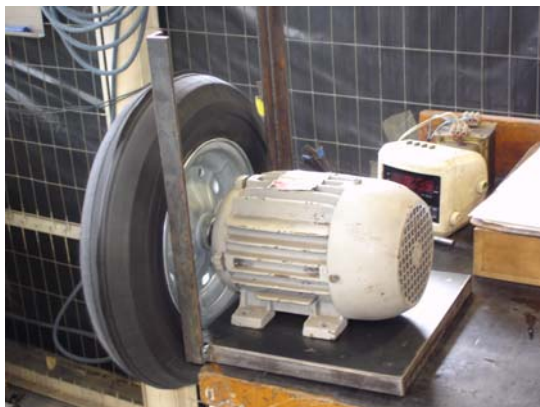
*Figura 12.5: Roda já fixada, com auxílio do parafuso e pontos de solda.*

Com a roda fixada ao motor, deu-se início à fixação do motor à sua base. Tal peça foi construída de acordo com o desenho 3 do tópico anterior, e seu resultado está apresentado na figura 12.6.



*Figura 12.6: Base do motor.*

O motor foi fixado à sua base através de parafusos (nos buracos previamente especificados no desenho) e o resultado final dessa etapa de montagem é mostrado na figura 12.7. Finalmente a base, juntamente com o motor já fixado a ela, foi encaixada no sistema de sustentação com tripés (descritos nos desenhos de fabricação de números 7 e 8) e teve a chapa responsável pelo arremesso acoplada a ela, dando origem ao resultado final da montagem: a máquina pronta (apresentada na figura 12.8).



*Figura 12.7: Motor fixado à sua base.*



*Figura 12.8: Máquina pronta.*

### 13. Estimativa de Custos

Foi feita uma estimativa de custos da fabricação do protótipo. Para tanto, foi necessário subdividir os custos em dois grandes grupos: componentes e processos que são apresentados nas tabelas 13.1 e 13.2.

#### 13.1. Listagem dos Componentes

Os custos dos componentes foram calculados considerando-se o valor de venda de cada produto individualmente. Não foram considerados eventuais descontos pela compra de conjuntos de produtos. Os custos dos componentes são apresentados na tabela 13.1.1

*Tabela 13.1.1: Tabela de custos dos componentes*

Nome da Peça	Material	Quantidade	Custo
Tubo do Tripé	Tubo de aço SAE 1020 (dext:35mm - e:2mm)	2m	R\$ 20.00
Base do Tripé	Barra de aço SAE 1020 (dext:35mm)	0,15m	R\$ 10.00
Tubo de Central	Tubo de aço SAE 1020 (dext:65mm - e:2mm)	0,15m	R\$ 10.00
Tubo de Ajuste	Tubo de aço SAE 1020 (dext:60mm - e:2mm)	0,4m	R\$ 15.00
Guias de Alimentação/Lançamento	Barra perfil "U" de aço SAE 1020 (dim:40x75mm - e:2mm)	0,5m	R\$ 20.00
Ajustes das Barras	Barra perfil "retangular" de aço SAE 1020 (dim:30x25mm)	0,1m	R\$ 5.00
Barras de Apoio	Barra perfil "L" de aço SAE 1020 (dim:25x25mm - e:2mm)	1m	R\$ 15.00
Buchas da Roda	Barra de aço SAE 1020 (dext:2" ou 50,8mm)	0,1m	R\$ 5.00
Base do Motor	Chapa de aço SAE 1020 (dim:600x600mm - e:1/4" ou 6,35mm)	1un	R\$ 30.00
Roda de Carrinho de Mão	---	1un.	R\$ 50.00
Fio Flexível 2,5mm	---	30m	R\$ 15.00
Motor De Indução Trifásico WEG IP55 W21 de 0,75HP e 1720RPM	---	1un.	R\$ 250.00
Distribuidor de Alimentação	---		R\$ 15.00
Plugue Macho Reforçado	---	3 un.	R\$ 19.50
Outros (Parafusos, Roscas etc.)	---	---	R\$ 10.00
<b>Total</b>			<b>R\$ 489.50</b>

#### 13.2. Listagem dos Processos

Os custos de processo apresentados na tabela 13.2.1 foram estimados considerando-se o tempo de uso de máquinas e o tempo de mão de obra.

*Tabela 13.2.1: Tabela de custos dos processos*

Máquinas Utilizadas	Custo
Torno	R\$ 100.00
Furadeira de Bancada	R\$ 20.00
Fresa de Topo	R\$ 60.00
Máquina de solda - MIG	R\$ 50.00
Máquina de Acabamento - Esmeril	R\$ 5.00
Máquina de Corte	R\$ 10.00
Guilhotina	R\$ 5.00
<b>Total</b>	<b>R\$ 250.00</b>

## 14. Metodologia de Testes

Ao final da concepção do produto, avaliou-se se o mesmo conseguiu atingir a todas as especificações funcionais, operacionais e construtivas determinadas previamente no Estudo de Viabilidade. Deste modo, foi necessária a elaboração de Metodologias de Testes a fim de se avaliar o quanto o protótipo construído se aproximava do modelo idealizado.

A aplicação dessas metodologias permitiu um maior ajuste do produto às condições de uso, propiciando, portanto, melhores resultados durante seu manuseio. Esta etapa de Metodologias de Testes foi dividida em 3 partes:

- 1-Determinação do local de teste
- 2-Definição das especificações mais relevantes e respectivos testes quantificadores
- 3-Aquisição e tratamento dos resultados

### 14.1. Determinação do local de teste

A fim de se obter uma maior fidelidade aos resultados reais de uso, era de suma importância que o local de testes reproduzisse as mesmas condições do ambiente onde a máquina arremessadora seria utilizada.

Como o objetivo deste trabalho foi projetar e construir um protótipo para ser testado e avaliado por uma instituição universitária, neste caso a Associação Atlética Acadêmica Politécnica, nada mais interessante do que utilizar o próprio local de treinamento da equipe para a realização dos testes.

No entanto, foi descoberto que o local definido para realização dos testes inicialmente, o Campo de Treino de Beisebol do CEPE-USP (Centro de Práticas Esportivas da Universidade de São Paulo), não contava com alimentação trifásica e que, portanto, não seria possível ligar a máquina no local. Foi escolhido, então, o próprio prédio da Engenharia Mecânica na Escola Politécnica, como local de testes, utilizando a alimentação trifásica do Laboratório de Máquinas Operatrizes e o espaço aberto do estacionamento para os testes práticos.

### 14.2. Definição das especificações mais relevantes e respectivos testes quantificadores

Para a determinação dos testes que foram realizados, utilizou-se a mesma estrutura de divisão dos requisitos funcionais, operacionais e construtivos. De maneira a se simplificar o trabalho, um teste foi proposto para avaliar a característica mais relevante quanto ao funcionamento do produto. Os outros aspectos, portanto, serão avaliados indiretamente.

#### 14.2.1. Requisitos Funcionais:

- a. Desempenho: espera-se que a máquina possa lançar o projétil a grandes velocidades e com precisão.
- b. Segurança: espera-se estabilidade do sistema de sustentação de modo a evitar tombamento da máquina.
- c. Transporte: o equipamento precisa ser compacto e leve de modo a facilitar sua locomoção. É necessário que o mesmo caiba em um carro.

Foi proposto o seguinte teste para avaliação dos requisitos funcionais:

- 1-Fixar uma cartolina à grade de proteção existente no campo de treinos.
- 2-Posicionar a máquina arremessadora a uma distância de 20 metros da grade.

3-Realizar 5 disparos de modo a calibrar o arremesso na zona da cartolina. Após calibração, deve-se marcar a posição do tripé de sustentação no solo e efetuar a troca da cartolina.

4-Realizar 10 disparos sendo que cada disparo deve ser marcado com caneta no local onde atingiu a cartolina.

5-Durante cada disparo, uma pessoa deve cronometrar o tempo em que a bola sai da máquina e atinge a cartolina.

OBS. O aspecto segurança foi avaliado medindo-se a distância do tripé da base ao final dos 10 disparos com a sua configuração inicial. O aspecto desempenho foi avaliado calculando-se as velocidades médias dos arremessos além de se verificar os pontos marcados com caneta na cartolina. O aspecto transporte foi avaliado qualitativamente durante o teste considerando-se sua facilidade ou dificuldade de locomoção.

Foram obtidos os seguintes resultados:

Após estar calibrada, a máquina foi capaz de acertar o alvo em 73% dos seus arremessos (em um total de 30), conforme a tabela a seguir. Vale ressaltar que arremessadores profissionais mantêm médias muito inferiores à alcançada e podemos considerar os resultados obtidos como muito satisfatórios. Além disso, a velocidade média aferida nesses testes foi de 61,3 km/h, que pode ser considerada próxima o suficiente da projetada para um primeiro protótipo. Quanto ao aspecto segurança, a máquina apresentou considerável vibração ocasionado, portanto grande movimentação da máquina em relação à sua posição inicial. Quanto ao transporte, a máquina teve de ser movimentada sempre por duas pessoas por causa de seu peso. A falta de alças também prejudicou o transporte.

*Tab. 14.2.2: Aproveitamento de Arremessos*

Série	Arremessos	Aproveitamento
1	10	70%
2	10	70%
3	10	80%

#### 14.2.2. Operacionais:

- a. Energia: funcionamento por energia elétrica.
- b. Durabilidade (vida útil): no mínimo 3 (três) anos de durabilidade dos principais componentes.
- c. Confiabilidade: nenhuma falha que interrompa o funcionamento normal do produto, como travamentos, falhas por esforços ou fadiga por no mínimo 3 (três) anos, sendo portanto esse o período de garantia do produto.

Foi proposto o seguinte teste para avaliação dos requisitos operacionais:

A única maneira encontrada para a avaliação destes aspectos operacionais é a efetiva utilização do equipamento pelo tempo especificado. Deste modo, a máquina arremessadora ficará sob fase teste com a equipe de beisebol da Escola Politécnica durante o período de 3 anos. Durante esse período, é ideal que se façam visitas periódicas a cada três meses de modo a se verificar se a equipe está respeitando as condições de manuseio e acomodação da máquina arremessadora.

#### 14.2.3. Construtivos:

- a. Peso da estrutura: no máximo 50kgf.
- b. Dimensões máximas: altura 95cm, largura 60cm, profundidade 55cm.

Foi proposto o seguinte teste para avaliação dos requisitos construtivos

- 1- Uso de balança de modo a obter o peso do protótipo.
- 2- Confeção de um gabarito de compensado nas dimensões máximas. Qualquer interferência, do protótipo com o compensado indicará violação dos limites dimensionais.
- 3- Teste do porta-malas: observar se a máquina, pronta, consegue ser transportada em um porta-malas comum de carro popular.

Foram obtidos os seguintes resultados:

A máquina apresentou peso de 33,6 kg, acima do especificado e dimensões aceitáveis, passando também no teste do porta-malas conforme figura 14.2.3.1.



*Figura 14.2.3.1: Máquina em um porta-malas.*

## 15. Conclusão

A concepção da máquina arremessadora de bolas de beisebol foi dividida em duas partes distintas, porém inter-relacionadas: a de projeto e a de construção. Na primeira, todo o dimensionamento da máquina e suas partes, bem como seu princípio e condições de funcionamento foram estimados de forma a servirem como metas a serem atingidas na segunda etapa, seguindo a metodologia descrita. Durante a construção, embora algumas modificações e adaptações tenham sido necessárias, foram feitos esforços para que os resultados obtidos na primeira fase fossem utilizados e alcançados com a máxima precisão e fidelidade possível.

Após feita a análise da metodologia a ser utilizada no dimensionamento da máquina e seus sistemas constituintes, pôde se perceber que todo o processo referente a projetar a máquina, apesar de trabalhoso, não foi de grande complexidade. A dificuldade maior foi encontrada durante a fabricação do protótipo, onde os resultados obtidos inicialmente sofreram ajustes e melhorias (à medida que obstáculos e restrições que não haviam sido previstos na fase de projeto foram sendo encontrados), e as soluções adotadas tiveram de visar não só o bom funcionamento da máquina, mas também a minimização de desperdícios de tempo e recursos.

Após o término da construção do protótipo, deu-se início aos testes práticos da máquina, obtendo, portanto resultados concretos a respeito da mesma. A máquina arremessou a bola na distância especificada (20m), mas com uma velocidade um pouco inferior a de projeto ( $V_{medida}=61,3$  Km/h e  $V_{projeto}=65$  km/h). A máquina apresentou grande precisão (73% dos arremessos atingiram o alvo), mas apresentou grande vibração o que prejudicou o aspecto segurança. Apesar de estar dentro dos limites dimensionais (95x60x55cm), a máquina ficou acima do peso ideal ( $P_{medido}=33,6$  Kgf e  $P_{projeto}= 25$ Kgf).

Por fim, a máquina mostrou-se bastante robusta uma vez que, após 2 meses de uso quase que praticamente ininterruptos, não apresentou nenhum problema elétrico ou mecânico.

## 16. Sugestão para Trabalhos Futuros

Através dos testes realizados foi possível encontrar alguns problemas, e algumas sugestões foram propostas no caso de haver interesse em otimizar os resultados obtidos nesse trabalho em uma etapa posterior de desenvolvimento:

### a) Peso excessivo

O peso acima do especificado se deveu ao fato de se ter utilizado tubos, chapas e motor superdimensionados. Isso ocorreu, no caso dos tubos, por serem os materiais mais fáceis de serem encontrados comercialmente. Logo, a fim de se reduzir o peso, bastaria adquirir materiais de acordo com o dimensionamento real do projeto. Com relação ao motor, conforme já foi discutido, somente foi utilizado um motor do tipo especificado, muito mais potente do que o necessário, por se tratar de um empréstimo, minimizando bastante os custos e tornando o projeto viável a níveis experimentais. Se a produção em larga escala fosse algo desejado, seria possível substituí-lo por uma versão muito mais leve e menos potente, mantendo os mesmos resultados práticos, desde que o eixo fosse mais robusto e capaz de sustentar o peso da roda em balanço (o que não era o caso do motor inicial desse trabalho).

### b) Vibração excessiva

Quanto à vibração excessiva, isto se deveu a duas causas principais: roda desbalanceada e ausência de coxins. A roda estava desbalanceada pois se tratava de uma roda de carrinho de mão, de baixo custo e cujo uso cotidiano não requer muita precisão. Assim, para minimizar os efeitos de vibração, uma saída viável seria comprar uma roda mais balanceada, de preferência as que já são usadas em outras máquinas arremessadoras de bolas de beisebol, pois estas possuem roda com perfil trapezoidal, são balanceadas e maximizam o contato da roda com a bola.

A fixação do motor à sua base foi feita de maneira rígida. Logo, sugere-se o uso de coxins nesta fixação para diminuir a passagem da vibração do motor para o restante da máquina.

### c) Dificuldade de Transporte

Quanto ao transporte, a dificuldade em se transportar a máquina se deve a ausência de locais para se segurar a máquina e ao seu peso excessivo. Uma vez que o aspecto peso já foi tratado, sugere-se instalar duas alças à base do motor e rodas de cadeira à base do tripé, o que ajudará consideravelmente no transporte da máquina.

De maneira a tornar a máquina arremessadora de bolas de beisebol um produto mais atrativo comercialmente são feitas as seguintes sugestões:

### a) Sistema de alimentação

É imprescindível a existência de um armazenador de bolas, além de um sistema de alimentação adequado para a máquina que ajudariam consideravelmente na comercialização do produto. Essas medidas possibilitariam ao usuário a possibilidade de se usar a máquina por um maior período de tempo sem se preocupar com o recarregamento da mesma.

### b) Acionamento do arremesso à distância

A possibilidade de se acionar o arremesso à distância é muito interessante uma vez que permite ao usuário rebater a bola apenas quando estiver realmente preparado para tal. Por exemplo, com o

usuário posicionado no local para rebatida, ele mesmo aciona um pedal (ligado à máquina por um fio) que faz com que a bola passe do sistema armazenador para o de lançamento. Deste modo, o usuário tem maior liberdade para controlar os arremessos.

c) Ajuste no ângulo de arremesso

Ajuste no ângulo de arremesso possibilita diferentes tipos de treinamento, desde as rebatidas de bolas baixas à recepção de bolas altas (“Fly Balls”) com luvas, por parte da defesa.

## 17. Referências Bibliográficas

[1] Dados sobre o Beisebol Nacional. Disponível em: < <http://www.cbbs.com.br/listagem.php?id=3> >. Acesso em: 25 de março de 2006.

[2] Dados sobre o Beisebol Internacional. Disponível em: < <http://www.mlb.com>>. Acesso em: 18 de março de 2006.

[3] Dados sobre Máquinas Arremessadoras. Disponível em: < [http://www.precomania.com/search\\_a.php/page\\_id=1741](http://www.precomania.com/search_a.php/page_id=1741)>. Acesso em 25 de março de 2006.

[4] CHU, D. M. CANASHIRO, R. K. Projeto mecânico de uma máquina lançadora de bolas de tênis, São Paulo, EPUSP, 1998

[5] Dados sobre Tubos. Disponível em: < <http://www.acotubo.com.br/mkt/tubos.pdf> >. Acesso em 20 de agosto de 2006.

[6] GERE, J. M. Mecânica dos Materiais, São Paulo, Thomson, 1ª Ed, 1988.

[7] NORTON, R. L. Projeto de máquinas, São Paulo, Bookman, 2ª Ed, 1994.