

GABRIELA CASTILHO SABINO GARA
PEDRO HENRIQUE HERNANDEZ FACCHINI

Máquina compactadora de EPS portátil

São Paulo
2014

GABRIELA CASTILHO SABINO GARA
PEDRO HENRIQUE HERNANDEZ FACCHINI

Máquina compactadora de EPS portátil

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Escola
Politécnica para obtenção do diploma
de Engenheiro Mecânico

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carlos
Kaminski

São Paulo

2014

GABRIELA CASTILHO SABINO GARA
PEDRO HENRIQUE HERNANDEZ FACCHINI

Máquina compactadora de EPS portátil

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Escola
Politécnica para obtenção do diploma
de Engenheiro Mecânico

Área de Concentração: Engenharia
Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Paulo Carlos
Kaminski

São Paulo

2014

Facchini, Pedro Henrique Hernandez; Gara, Gabriela Castilho Sabino

Máquina compactadora de EPS portátil / G.C.S. Gara; P.H.H. Facchini. – São Paulo, 2014.

59 p.

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

1.Máquinas compactadoras (Projeto) 2.Isopor 3.Reciclagem I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.t.

Resumo

O poliestireno expandido, mais conhecido como ISOPOR®, é um plástico muito utilizado nas mais diversas aplicações. É um material polimérico composto por até 98% de ar, não biodegradável, mas completamente reciclável. No entanto sua taxa de reciclagem no Brasil é pequena, e isso é atribuído aos custos elevados da reciclagem, principalmente no que tange ao transporte e armazenamento, pois o material possui densidade muito baixa, e assim, faz necessária uma quantidade maior de fretes para o transporte e maior espaço de armazenamento. Ao longo das disciplinas de Metodologia do Projeto I e Metodologia do Projeto II, o problema foi abordado e foi proposto um produto para solucionar esse problema: uma máquina compactadora de EPS que opera embarcada nos caminhões de coleta. Este trabalho propõe alterações nesse projeto original e a construção e testes de um protótipo funcional da compactadora. Ao longo do processo de fabricação e montagem foram realizadas novas alterações na máquina, visando sua simplicidade construtiva e adequação aos parâmetros definidos. Com o protótipo físico pronto, realiza-se testes de bancada e em campo para realizar ajustes finais e comprovar a eficácia do produto.

Palavras-chave: Reciclagem. Compactadora. EPS. ISOPOR®. Portátil. Frete. Otimização.

Abstract

The expanded polystyrene is very used plastic in a large amount of applications. It is a polymeric material made up to 98% of air, non-biodegradable, but completely recyclable material. However, its index of recycling in Brasil is very low, and this is attributed to the high costs related mainly to the transport and stocking, because as the EPS has low density, it needs more freights to be transported and more stocking area. During the “Metodologia do Projeto I” and “Metodologia do Projeto II” courses, the problem was addressed, and it was proposed a product to solve this problem: an EPS compacting machine that works embedded on a collector truck. This work proposes changes in the original project, and the constructing and testing of a functional prototype of the compactor machine. During the manufacturing and assembling process, it was made new changes on the machine, aiming its constructive simplicity and adequacy to the previous defined parameters. After the prototype’s assembling, it was made tests to ensure the product’s efficacy, and to make adjustments.

Keywords: Recycling. Compactor. EPS. ISOPOR®. Portable. Freight. Optimization.

Lista de figuras

Figura 1: Evolução da reciclagem mecânica de EPS no Brasil (Plastivida, 2014). ...	14
Figura 2: Esquema do funcionamento da máquina em vista em corte.....	22
Figura 3: Vista explodida da máquina trituradora	23
Figura 4: Mudanças no projeto da faca.	24
Figura 5: Facas prontas.	28
Figura 6: Bloco de alumínio antes da usinagem.....	29
Figura 7: Torneamento da polia.	29
Figura 8: Carcaça da compactadora montada.	30
Figura 9: Vistas explodidas para auxílio na montagem da máquina.	32
Figura 10: Detalhe do isopor que sai da máquina.	35
Figura 11: Máquina sendo transportada para dentro da Cooperativa.	35
Figura 12: Saco de EPS na balança e detalhe da medida.	36
Figura 13: Aumento da inclinação do bocal de admissão.	37
Figura 14: Vista frontal do conjunto de polias.....	37
Figura 15: Tabela com valores de referência para polias em polegadas (Gates).	58
Figura 16: Ilustração dos valores de referência para polias (Gates).	58

Lista de Tabelas

Tabela 1: Análise de custos	19
Tabela 2: Massas dos componentes da compactadora de EPS.	25
Tabela 3: Dimensões das peças trituradas	34
Tabela 4: Propriedades do aço ABNT 1020.	55

Lista de Quadros

Quadro 1: Orçamento de peças	27
Quadro 2: lista de componentes para auxiliar a montagem da compactadora.....	33

Lista de Gráficos

Gráfico 1: Constante de concentração de tensão para rebaixo em momento fletor (Budynas et al., 2011)	55
Gráfico 2: Perfil de correia V para condições de funcionamento de potência e rotação (Gates).	57

Sumário

1. Introdução	13
1.1 Motivação	15
1.2 Objetivos	15
1.3 Estrutura do trabalho	16
2. Projeto técnico	17
2.1 Estudos de viabilidade	17
2.1.1 Precificação da máquina	17
2.1.2 Custos de produção.....	18
2.2 Requisitos do projeto.....	20
2.2.1 Requisitos construtivos	20
2.2.2 Rendimento aceitável	20
2.2.3 Requisitos de segurança e ergonomia	21
2.3 Projeto.....	21
2.3.1 Alterações no projeto.....	23
2.3.2 Adequação aos requisitos de projeto.....	25
2.3.3 Orçamento de peças e fornecedores.....	26
3. Fabricação do protótipo.....	28
3.1 Processos de fabricação	28
3.2 Acompanhamento	31
3.3 Montagem	31
4. Testes operacionais	34
4.1 Teste em bancada.....	34
4.2 Teste em campo	35
4.3 Resultados e ajustes	36
5. Conclusão	39

6. Referências bibliográficas	40
APÊNDICE A – Desenhos de fabricação	42
APÊNDICE B – Memorial de cálculo	55
Dimensionamento do eixo	55
Dimensionamento da correia	57
APÊNDICE C – Estudo de redução de volume	59

1. Introdução

O EPS, mais conhecido como ISOPOR®, é um plástico obtido através da polimerização do estireno em água. Após o processo polimérico, o material é expandido utilizando pentano, gás rapidamente deteriorado sem comprometer o meio ambiente. Quando expandido, o material é composto por até 98% de ar e apenas cerca de 2% de poliestireno (Abrapex, 2014).

Apesar de não ser tóxico, o EPS não é um material biodegradável e pode levar de 200 a 600 anos para ser decomposto na natureza (IBAMA, 2014). Esses resíduos, na natureza, podem ser confundidos por pequenos animais da fauna oceânica com alimento, causando diversos problemas nesse ecossistema (Ambiente Brasil, 2014).

A produção mundial de EPS tem crescido a um ritmo de 200 mil toneladas ao ano desde 2010, ultrapassando a marca de 6,3 milhões de toneladas produzidas em 2012, e é esperado que atinja a casa de 7,5 milhões de toneladas em 2015 (Merchant Research & Consulting Ltd, 2013).

Seu índice de reciclagem no Brasil ainda não atingiu um patamar desejável. De 55 mil toneladas produzidas no Brasil em 2007, estima-se que apenas 9% seguiram ao reaproveitamento (UOL Notícias, 2008).

Nos anos seguintes houve um aumento na quantidade de material reciclado, chegando a 13.570 toneladas recicladas em 2012, o que corresponde a 34,5% do EPS pós-consumo, utilizando apenas 60% da capacidade de reciclagem instalada no Brasil (Plastivida, 2014).

A Figura 1 mostra a evolução da reciclagem mecânica do EPS no Brasil. Pode-se constatar uma tendência de crescimento na atividade, com grande potencial futuro.

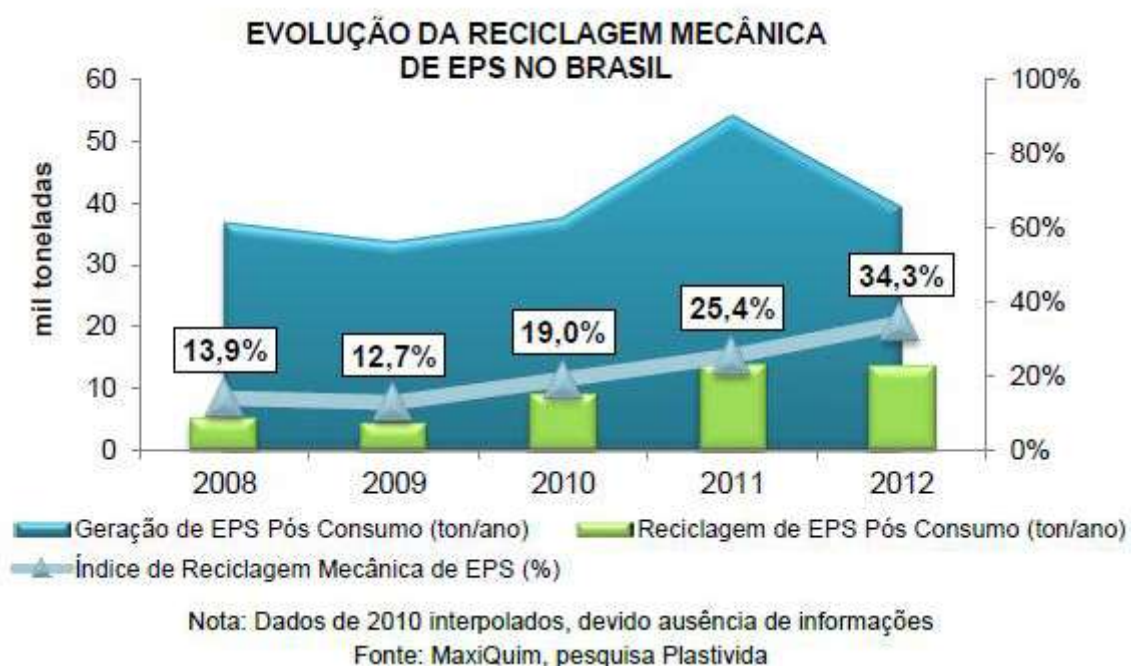


Figura 1: Evolução da reciclagem mecânica de EPS no Brasil (Plastivida, 2014).

Esse crescimento pode ser entendido como um reflexo da Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal nº12.305, de 2 de agosto de 2010, que incentiva a coleta seletiva por parte dos municípios e logística reversa dos resíduos. Muitas empresas estão em fase de implementação ou ampliação de sistemas de logística reversa. Entre elas pode-se citar a varejista Casas Bahia, que recolhe e encaminha para reciclagem as embalagens dos seus produtos. Em 2011, cerca de 50% do volume total de materiais recicláveis processados na Central de Triagem da empresa, em Jundiaí, era proveniente de logística reversa (Casas Bahia, 2011). No entanto, algumas empresas menores enfrentam dificuldades em reaproveitar os resíduos de EPS. As empresas Termotécnica e Santa Luzia de Santa Catarina estão tentando incorporar o produto reciclado ao sistema de manufatura, mas atestam que a disponibilidade de matéria prima para reciclagem e a logística do material bruto são grandes barreiras (Diário Catarinense, 2014).

1.1 Motivação

A pouca rentabilidade por unidade de volume transportado do material bruto (sem compactação) é uma das maiores barreiras para a reciclagem. Devido ao alto custo do frete do ISOPOR®, muitos consumidores e cooperativas de reciclagem preferem descartar o material sem reciclá-lo. Além do transporte, há a necessidade de grande área livre para o armazenamento do material, o que aumenta o custo de estoque das cooperativas.

Assim deve-se reduzir a parcela do ciclo de reciclagem do ISOPOR® em que este se encontra no estado bruto, isto é, promover uma trituração do material logo após seu descarte. Tal procedimento implicaria um aumento na relação valor/volume do EPS, tornando todo o processo mais rentável.

Existem máquinas compactadoras de EPS no mercado, em sua maioria de origem chinesa, com dimensões e massa que as impedem de serem instaladas em veículos coletores (Alibaba, 2013) permitindo a compactação do material apenas depois que este chega nas cooperativas, ou empresas de reciclagem.

De maneira geral, a quantidade de ISOPOR® descartada por empresas não justifica a compra de um triturador estacionário de grande porte. Mesmo assim, é necessário reduzir o volume do material antes de seu transporte.

1.2 Objetivos

Este trabalho é uma continuação de um plano de negócios elaborado visando a produção de uma máquina compactadora de EPS. Nele foi elaborado o conceito da compactadora, e analisados os fatores de viabilidade para a manufatura e venda do produto (Andreoli et al, 2013).

O objetivo deste trabalho é projetar, construir e testar uma máquina compactadora de EPS que seja possível de transportar e utilizar dentro de um caminhão de coleta.

Desta forma, pretende-se que o custo do frete do material reciclável seja diminuído no longo prazo, aumentando a rentabilidade da reciclagem do ISOPOR®.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente capítulo apresentou uma breve introdução ao tema de reciclagem do ISOPOR®, a motivação do trabalho, os objetivos e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo deste trabalho apresenta o projeto técnico da máquina, abordando os principais aspectos do projeto da compactadora, composto pelo estudo de viabilidade econômica que visa verificar a rentabilidade do produto, através da precificação e da análise de custos de produção, os requisitos mínimos do projeto necessários para isso, e por fim uma descrição do projeto mecânico da máquina.

Em seguida, no terceiro capítulo, é apresentada a fabricação do protótipo, com os processos de fabricação envolvidos em cada componente, o acompanhamento da fabricação das peças, finalizando com o processo de montagem da máquina.

Com a máquina pronta, apresentam-se os testes operacionais da máquina, para comprovar sua eficácia. São apresentados os testes de bancada bem como em campo, e, em seguida, os resultados obtidos e ajustes realizados.

E por fim, conclui-se o trabalho com os resultados obtidos e possíveis melhorias para trabalhos futuros.

2. Projeto técnico

O capítulo pretende abordar os principais aspectos do projeto da compactadora, sendo eles estudos de viabilidade financeira do projeto, seguidos pelos requisitos para que o protótipo seja viável, e, finalmente, o projeto propriamente dito.

2.1 Estudos de viabilidade

Para verificar a viabilidade do produto é necessário garantir que a estrutura de custos seja menor que o preço que os consumidores estão dispostos a pagar. Assim, é necessário definir qual é esse preço, entendendo qual o valor do produto que será percebido pelo cliente.

Em seguida, para garantir a lucratividade, é necessário analisar a estrutura de custos que permite a sustentabilidade do negócio, dado o preço razoável que o cliente se dispõe a pagar.

2.1.1 Precificação da máquina

Para se estimar o preço aceitável da máquina no mercado utilizou-se a técnica da engenharia do valor. Determina-se a função do produto: reduzir volume, e estima-se o valor da função, levando em conta o desempenho e a vida útil do produto.

Tomando as cooperativas como principal mercado consumidor, pode-se assumir que o principal ganho propiciado pelo produto no processo seja decorrente do aumento da capacidade e da eficiência de transporte de carga. Considerando a densidade do EPS igual a $22,2 \text{ kg/m}^3$, sendo este constituído de 2% de poliestireno e 98% de ar (Abrapex, 2014), a quantidade média de EPS recebido pelas cooperativas visitadas em São Paulo é, atualmente, de 3 toneladas por mês, o que representa um volume de aproximadamente 135 m^3 . Estipulando-se que seja usado um caminhão tipo carreta baú e uma carreta de 20 pés do tipo Bulk de dimensões $5,890\text{m} \times 2,345\text{m} \times 2,400\text{m}$, totalizando um volume de 33m^3 , seriam necessários cerca de 4 fretes por mês para o transporte.

Se a compactadora realizar uma diminuição de 27% do volume do EPS, representando um volume de material processado de 98,7 m³ em média por mês por cooperativa em São Paulo e assumindo que a cooperativa tenha os meios para armazenar o ISOPOR®, seriam necessários apenas 3 fretes para o transporte da mesma massa. Ou seja, uma queda de 4 fretes para 3 fretes por mês.

Estima-se que cada frete desse tipo tenha o custo de aproximadamente R\$300. Este é um valor médio já que as distâncias das cooperativas às recicladoras são bastante variáveis. Logo, o produto é capaz de gerar, no quadro atual, uma economia de 12 fretes no período de um ano, representando uma economia anual de R\$3.600,00.

Considerando ainda que a trituradora seja capaz de operar nas mesmas condições durante 5 anos e que uma máquina por cooperativa seja suficiente para a realização do serviço, uma única compactadora é capaz de produzir uma economia de R\$18.000,00 para a empresa durante a sua vida útil, sendo que este valor tende a aumentar com a durabilidade da máquina e supondo a hipótese de que a quantidade de EPS recolhido na cooperativa por mês seja de 3 toneladas durante o período de 5 anos. Portanto, o valor de uso do nosso produto é de aproximadamente: R\$18.000,00. Tendo em vista o preço de uso e os custos do equipamento, estimou-se que os consumidores sejam capazes de pagar um valor de cerca de R\$14.000,00.

É importante também olhar as alternativas disponíveis ao nosso produto. Atualmente, não existe uma alternativa de trituração do EPS anterior ao transporte, ou seja, a máquina não apresenta nenhum concorrente. O processamento do EPS é feito todo já nas cooperativas, por uma máquina chinesa estacionária de aproximadamente 500Kg e que custa cerca de R\$26.000 (Alibaba, 2013).

Portanto, a trituradora em questão mostra-se como uma alternativa prática e de baixo custo para a otimização do transporte e armazenamento e que apenas contribui para etapas posteriores de compactação.

2.1.2 Custos de produção

Se os componentes da compactadora forem todos padrão, ou facilmente fabricados, podem ser comprados de outra empresa, eliminando investimentos iniciais com máquinas e com mão de obra extra dedicada à fabricação.

Assim, os investimentos iniciais são compostos da compra de máquina furadeira, torno, ferro de solda e ferramentas em geral, os custos fixos, pelo aluguel de galpão para a montagem da máquina, contas de luz e água, e o salário de um técnico de oficina com experiência em máquinas ferramenta, e por fim os custos variáveis são compostos pelos componentes da compactadora.

A Tabela 1 apresenta os custos mencionados, supondo que seja possível vender duas máquinas ao mês, a um custo variável de no máximo R\$ 8.000,00 em componentes. Ainda, estipula-se que seja possível a montagem do produto com a estrutura enxuta de apenas um técnico responsável pela montagem, com as funções de vendas, divulgação, prospecção de mercado, supervisão da montagem e compras sendo exercidas pelos sócios-fundadores, que no primeiro momento não retirariam salários.

Tabela 1: Análise de custos

Mês	1		2	
Margem		-6,38%		13,30%
Saldo	-R\$	1.785,00	R\$	3.725,00
Receitas	R\$	28.000,00	R\$	28.000,00
Quantidade de máquinas vendidas		2		2
Preço de venda	R\$	14.000,00	R\$	14.000,00
Investimentos iniciais	-R\$	5.510,00	R\$	-
Máquina furadeira	-R\$	590,00	R\$	- (Casa da máquina, 2014)
Torno	-R\$	2.420,00	R\$	- (Alibaba, 2014)
Ferro de solda TIG	-R\$	1.500,00	R\$	- (Loja do mecânico, 2014)
Ferramentas em geral	-R\$	1.000,00	R\$	-
Custos fixos	-R\$	8.275,00	-R\$	8.275,00
Aluguel de galpão	-R\$	4.000,00	-R\$	4.000,00 (Mercado livre, 2014)
Conta de luz	-R\$	500,00	-R\$	500,00
Conta de água	-R\$	100,00	-R\$	100,00
Salário médio de técnico	-R\$	1.470,00	-R\$	1.470,00 (Governo do Estado de São Paulo, 2013)
Encargos trabalhistas	-R\$	2.205,00	-R\$	2.205,00
Custos variáveis para 2 máquinas vendidas	-R\$	16.000,00	-R\$	16.000,00
Componentes	-R\$	8.000,00	-R\$	8.000,00

Com um custo máximo de R\$ 8.000,00, e com uma expectativa de venda de duas máquinas ao mês, sem levar em conta os impostos, há uma margem relativamente

pequena de lucro, mas ainda assim viável. Para tornar o empreendimento mais atrativo, é necessário um esforço para aumentar as vendas e diminuir os custos. Com um custo variável de R\$5.000,00, a margem aumenta para 34,73% a partir do segundo mês, aumentando a atratividade do negócio.

Dessa forma, a um custo de componentes de R\$ 8.000,00, é viável iniciar a produção da compactadora com uma infraestrutura enxuta, mas para tornar o negócio mais atraente, define-se a meta de abaixar o custo para R\$ 5.000,00.

2.2 Requisitos do projeto

2.2.1 Requisitos construtivos

As dimensões da máquina devem ser reduzidas, de forma que seja viável embarcá-la no baú de um caminhão, sem que ela reduza de forma significativa o espaço de armazenagem. Assim, foi considerado razoável um limite máximo de dimensões de 1,0m x 1,0m x 1,2m, que resulta num volume de 1,2m³, que considerando o volume do baú de um caminhão de 33m³, ocupa cerca de 4% do volume útil.

Da mesma forma, para que a máquina seja portátil, é necessário que sua massa não ultrapasse um patamar de 160kg, para que seja viável sua operação suspensa no baú sem trazer riscos.

Para uma fabricação simples e mais barata, é desejável que a compactadora seja passível de ser construída por métodos de manufatura convencionais como fresamento, torneamento, injeção, fundição e soldagem, ou ainda por itens padrão, proporcionando maior redução de custos.

2.2.2 Rendimento aceitável

A máquina precisa fornecer a maior taxa de redução de volume possível. Estima-se que a etapa de trituração do EPS forneça 30% de redução de volume, que será o objetivo de projeto da compactadora. Um estudo de redução de volume via processo de trituração está apresentado no APÊNDICE C – Estudo de redução de volume.

Foi considerado desejável que a máquina tenha uma capacidade de processamento maior ou igual a 30kg EPS/hora, para que seja atraente para o consumidor final, rendimento da mesma ordem de máquinas estacionárias de menor processamento com etapa de trituração (Alibaba, 2013).

2.2.3 Requisitos de segurança e ergonomia

Para garantir o conforto e salubridade do operador da máquina, admite-se que a temperatura máxima de exposição seja de 45°C. Isso implica que a configuração operacional do motor permita que ele trabalhe em temperaturas inferiores a essa. Ainda, é necessário impedir que seja possível o contato direto entre o operador e o dispositivo triturador e partes rotativas, e no caso de acidente, é também necessário um botão de emergência que desligue imediatamente a máquina.

2.3 Projeto

Inicialmente, o projeto da compactadora incluía uma etapa de extrusão a quente após o processo de trituração (Andreoli et al, 2013). A rosca de extrusão que compunha essa etapa se mostrou inviável tanto técnica quanto financeiramente em uma análise posterior. Dessa forma, foi decidido que a máquina se concentraria principalmente na etapa de trituração para atingir o objetivo de compactação.

O novo projeto foi chamado de Crusher 1.0, e é um equipamento pequeno em comparação aos existentes no mercado e sua alimentação é feita por baterias. Essa característica permite considerá-la portátil e lhe permite proporcionar uma grande redução nos custos logísticos da reciclagem de EPS.

A máquina consiste em uma trituradora de pequeno porte, onde os pedaços grandes são picados em pedaços menores. Com isso, além de otimizar a acomodação da carga no veículo de transporte (caminhão), o material já chega para reciclagem em um estágio avançado de manipulação.

A Figura 2 mostra uma vista em corte que ilustra o fluxo de material na compactadora. A faca, no centro da figura, gira no sentido horário, triturando o material que entra. O

bocal de admissão possui também função de contra-faca, com distância ajustável, permitindo diferentes dimensões finais para o EPS expelido.

Também, o bocal de admissão é posicionado de forma inclinada visando dificultar o contato do operador com o conjunto de facas.

O motor será posicionado em cima da carcaça, e a transmissão de potência, que não necessita de sincronia, pode ser realizada através de um par de polias. Para haver uma trituração efetiva, será utilizada uma relação de transmissão de 1:1, visando que a alta velocidade de rotação auxilie nesse processo.

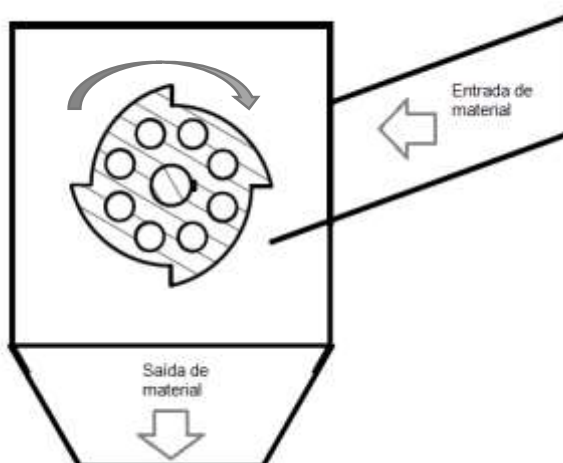


Figura 2: Esquema do funcionamento da máquina em vista em corte.

Uma preocupação do projeto foi com o custo do equipamento. Por essa razão, buscou-se utilizar ao máximo componentes padrão, ou seja, peças que são facilmente encontradas no mercado, e portanto usualmente com custos menores do que peças feitas sob encomenda.

A Figura 3 ilustra a vista explodida simplificada do projeto. Desenhos mais detalhados podem ser encontrados no APÊNDICE A – Desenhos de fabricação.

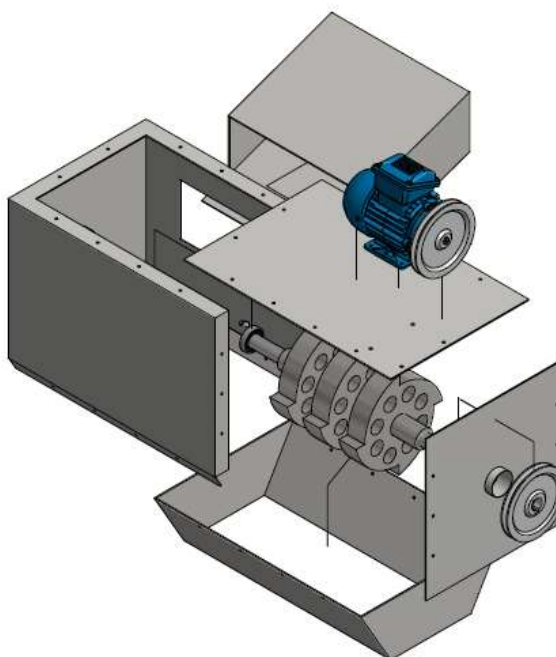


Figura 3: Vista explodida da máquina trituradora

2.3.1 Alterações no projeto

Em entrevistas informais com o principal fornecedor das peças do projeto, a Metalúrgica Lugan, foram apontadas oportunidades de melhorias em termos de fabricação, que foram revistos antes da execução do mesmo, além de pontos que o grupo considerou mudar devido à dificuldade de execução. Seguem tais alterações.

- Redução de massa no conjunto rotativo

O projeto original das facas não previa alívios de peso, que foram inseridos. Posteriormente as facas deixaram de ser feitas de um bloco só para serem feitas de um conjunto de chapas acopladas para que o processo de fabricação por corte a laser fosse simplificado e barateado. Ainda, aumentou-se o diâmetro dos furos de alívio posteriormente para garantir que o conjunto rotativo possuísse uma massa adequada. As mudanças estão representadas na Figura 4.

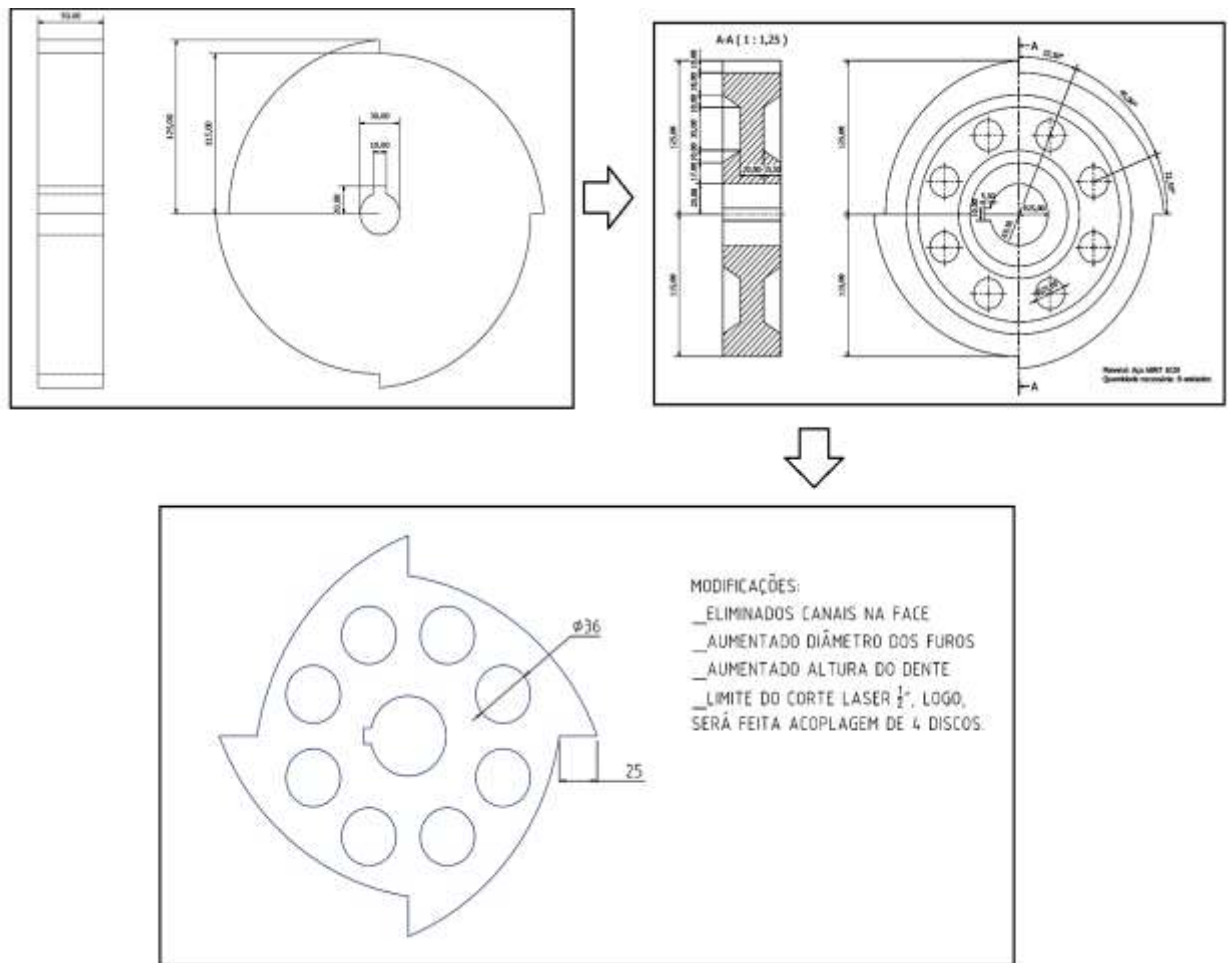


Figura 4: Mudanças no projeto da faca.

- Mudança na alimentação elétrica da máquina

Por facilidade de construção, decidiu-se mudar a alimentação elétrica da máquina, que originalmente seria feita por um banco de baterias para alimentação por corrente alternada, vinda diretamente da rede elétrica. Essa alteração visa o barateamento de custos e maior facilidade na execução do protótipo. Para uma versão definitiva da máquina ainda é prevista a utilização de um banco de baterias recarregáveis.

As mudanças referidas podem ser observadas nos desenhos de fabricação, apresentados no APÊNDICE A – Desenhos de fabricação.

2.3.2 Adequação aos requisitos de projeto

Além das modificações descritas, foi necessário manter em mente os requisitos definidos para a compactadora. Quanto aos requisitos construtivos, a máquina foi projetada de modo a caber dentro de um volume de 1mx1mx1,2m, cabendo no fim em um volume de 0,7mx0,695mx0,6m. Considerando que a máquina seja elevada a uma altura de 30cm da base do baú do caminhão e que esse volume abaixo da máquina precise ser mantido vazio para a operação adequada da máquina, o volume operacional ocupado é 0,7mx0,995mx0,6m, que está dentro das expectativas aceitáveis.

A massa total da máquina, com o projeto apresentado no APÊNDICE A – Desenhos de fabricação, é de aproximadamente 149,5kg, ficando abaixo do limite de 160kg estabelecido por segurança. A Tabela 2 apresenta as massas de cada componente, sendo as massas dos parafusos e porcas estimadas.

Tabela 2: Massas dos componentes da compactadora de EPS.

Componentes	Massa [kg]	Quantidade	Subtotal [kg]
Faca	10,67	8	85,36
Carcaça	16,688	1	16,688
Motor WEG 0,5HP	13,00	1	13,00
Bocal superior	8,806	1	8,806
Eixo	8,043	1	8,043
Bocal inferior	6,449	1	6,449
Tampa superior	5,642	1	5,642
Tampa lateral	3,825	1	3,825
Polia movida	0,638	1	0,638
Polia motora	0,572	1	0,572
Rolamentos	0,200	2	0,400
Chaveta 30x10x8mm	0,017	9	0,153
Parafusos e porcas	0,100	-	0,100
Total			149,523

Percebe-se que a maior contribuição de massa é proveniente das facas. Numa produção em escala, novos processos de fabricação tornam-se viáveis, permitindo

que a peça seja novamente projetada, de forma a possuir maiores alívios de massa, reduzindo assim a massa total da máquina.

Os componentes foram projetados de forma a serem manufaturados por processos tradicionais, como torneamento, fresamento, injeção, fundição e soldagem. Apenas as facas, que foram projetadas para serem produzidas por fundição, devido à escala do projeto, foram produzidas por métodos diferentes, e por consequência mais caras. Esse desvio será detalhado posteriormente no item Processos de fabricação.

Os requisitos de rendimento foram considerados no projeto, mas apenas poderão ser averiguados nos testes a serem realizados.

O motor foi dimensionado de forma a não esquentar, mas o requisito de temperatura máxima de exposição ao operador também só poderá ser averiguado nos testes. Na instalação elétrica, será incluído um botão de emergência com função de desligamento instantâneo da máquina.

Para evitar o contato direto do operador com o conjunto rotativo de facas, o bocal de inserção de EPS é inclinado e com a instalação em altura apropriada, impede-se o contato via bocal de inserção. Posteriormente foi levantado que o contato poderia ocorrer via bocal inferior, de expulsão do material. Para que essa situação seja evitada, propõe-se a instalação de uma tela, ou grade, que ainda permita a passagem do EPS triturado, que sai em pedaços da ordem de poucos centímetros, e impeça o acesso ao conjunto rotativo.

Ainda, para evitar o contato com o conjunto de polias e correia foi adquirida uma proteção, semelhante às utilizadas em bicicletas.

2.3.3 Orçamento de peças e fornecedores

Após a reformulação do projeto, os componentes foram orçados e iniciou-se o processo de compra de todas as peças necessárias, o Quadro 1 apresenta a relação de peças, fornecedores e preços.

Quadro 1: Orçamento de peças

Fornecedor	Item	Valor Unitário	Qtd.	Subtotal
Metalúrgica LUGAN	Faca	R\$ 575,00	8	R\$ 4.600,00
	Carcaça	R\$ 800,00	1	R\$ 800,00
	Eixo	R\$ 700,00	1	R\$ 700,00
	Bocal	R\$ 320,00	1	R\$ 320,00
	Bocal Inferior	R\$ 260,00	1	R\$ 260,00
	Tampa 2	R\$ 170,00	1	R\$ 170,00
	Chaveta	R\$ 12,00	9	R\$ 108,00
	Tampa	R\$ 106,00	1	R\$ 106,00
Waldesa Motomercantil	Motor WEG 0.5HP monofásico	R\$ 620,00	1	R\$ 620,00
Inovaplast	Polias	R\$ 85,00	2	R\$ 170,00
RPL Rolamentos	Rolamento 60/32ZZ	R\$ 75,00	2	R\$ 150,00
Item padrão	Correia	R\$ 20,00	1	R\$ 20,00
	Fios	R\$ 6,00	3	R\$ 18,00
	Interruptor	R\$ 10,00	1	R\$ 10,00
	Parafusos M6x30 classe 5.8	-	24	
	Parafusos M7x30 classe 5.8	-	4	
	Arruelas M6 - aço carbono	-	24	
	Arruelas M7 - aço carbono	-	4	R\$ 20,00
	Porcas M6 sextavadas de aço carbono	-	24	
	Porcas M7 sextavadas de aço carbono	-	4	
Total				R\$ 8.072,00

Como deve-se notar, metade do custo de fabricação é atribuído às facas. Isso é explicado pelo seu processo de fabricação e escala, que serão abordados no tópico de Fabricação do protótipo.

Para uma montagem com certa escala do produto, tornam-se viáveis outros processos de fabricação, mais baratos. Com a redução do custo desse componente, é possível atingir a meta de redução de custos com componentes para no máximo R\$ 5.000,00. Além disso, com a produção em escala, ganha-se poder de barganha com os fornecedores, possibilitando a redução de custos nas demais peças.

3. Fabricação do protótipo

Este capítulo apresenta a fabricação e montagem do protótipo, incluindo os processos de fabricação de cada componente, o acompanhamento realizado pelo grupo nas empresas fornecedoras, finalizando com o processo de montagem da máquina.

3.1 Processos de fabricação

Como requisito de projeto, foi definido que os diversos componentes deveriam ser fabricáveis através de processos convencionais de manufatura. De forma geral, esse objetivo foi atingido, exceto pelas facas, que inicialmente, devido ao formato complexo, foram projetadas para serem produzidas através de fundição, mas como a confecção de molde de fundição é bastante custosa, não se justificava tal processo para a pequena quantidade produzida para o protótipo.

Assim, como o fornecedor dispunha de máquina para corte a laser, apesar do custo extra gerado por esse processo de fabricação, devido a escala de produção, o projeto do componente foi alterado de forma a se adequar ao processo. Ao invés de se usar um bloco maciço de liga de alumínio, foram usinadas quatro chapas de meia polegada por componente, que é o limite de corte da máquina que o fornecedor dispunha. Após o corte, as chapas foram unidas em grupos de quatro através de pinos. A Figura 5 mostra as facas após sua produção.



Figura 5: Facas prontas.

Para a produção em série da compactadora, o custo dos moldes de fundição será diluído no volume produzido. Com essa redução de custo no volume, acredita-se que no longo prazo seja possível atingir a meta de custos com componentes de no máximo R\$ 5.000,00, dado que mais de 50% dos R\$ 8.000,00 em componentes é devido a fabricação das facas.

As polias, devido ao formato axialmente simétrico, foram produzidas através de torneamento a partir de um bloco de liga de alumínio. Em seguida, para realizar os rasgos de chaveta, foi utilizado o processo de fresamento. A Figura 6 mostra o bloco antes da usinagem e a Figura 7, a peça em processo de torneamento.

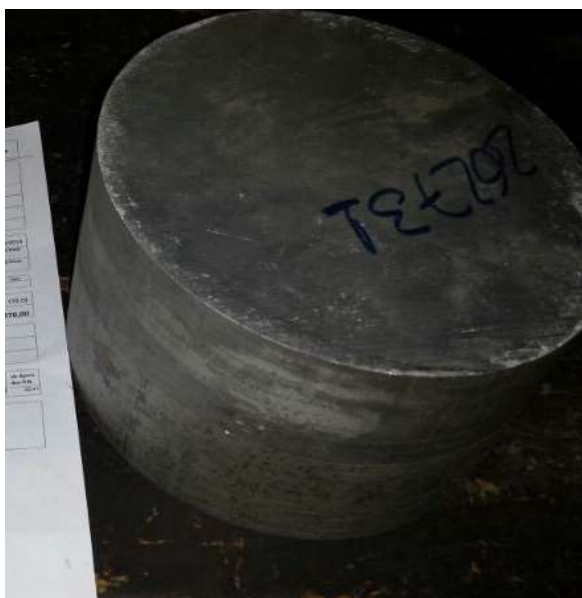


Figura 6: Bloco de alumínio antes da usinagem.



Figura 7: Torneamento da polia.

O eixo foi usinado através do processo de torneamento, a partir de um cilindro de aço ABNT 1020, para a confecção dos rebaixos, e também passou por um processo de fresamento para a abertura dos rasgos de chaveta para a colocação das facas e polia. A carcaça da compactadora foi produzida através de furação, fresamento, soldagem e dobramento de chapas de aço ABNT 1020, o que possibilitou seu formato complexo. Adicionalmente, nos furos que seriam parafusados, dada a espessura da chapa, foi possível a usinagem de rosca visando uma maior fixação dos parafusos, ajudando a evitar o afrouxamento dada a vibração da máquina.

A Figura 8 mostra a carcaça montada.



Figura 8: Carcaça da compactadora montada.

Os mancais dos rolamentos foram produzidos a partir do torneamento de tubo de aço ABNT 1020, sendo posteriormente soldado à carcaça da máquina.

Adicionalmente, para permitir a montagem e realização dos testes em bancada, foi manufaturado um cavalete a partir do corte e soldagem de tubo de perfil retangular, que proporciona altura suficiente para que seja possível a expulsão de EPS triturado pelo bocal inferior.

Os demais componentes são encontrados prontos em lojas especializadas e foram adquiridos sem que houvesse processo de usinagem posterior.

3.2 Acompanhamento

A maior parte dos componentes que foram fabricados especificamente para a compactadora, foram produzidos pela Metalúrgica LUGAN. O único componente que foi fabricado por outro fornecedor, foram as polias, fabricadas pela Inovaplast.

A confecção dos componentes pela Metalúrgica LUGAN se iniciou no começo de junho de 2014, durando cerca de 80 dias. Nesse período, o grupo procurou fazer visitas às instalações do fornecedor para acompanhar o andamento da produção a cada 20 dias aproximadamente. O acompanhamento também se deu através de correio eletrônico e telefone entre os períodos de visita.

Nesse intervalo também, foi verificada a necessidade de realizar as mencionadas mudanças de projeto, de forma a adequar o projeto aos processos de fabricação viáveis.

3.3 Montagem

Com os componentes fabricados, a montagem da máquina se dá pelos passos que seguem.

- Montagem das facas: monta-se as chapas em grupos de quatro, através de pinos.
- Montagem das facas no eixo: coloca-se as facas montadas no eixo, com as chavetas já posicionadas.
- Encaixe dos rolamentos: coloca-se os rolamentos no eixo, encostados no devido rebaixo.
- Encaixe do conjunto montado na carcaça: encaixa-se o conjunto já montado na carcaça através dos mancais dos rolamentos.
- Fechamento da carcaça: fecha-se a carcaça parafusando a tampa, que também se encaixa na outra extremidade do eixo, e o bocal inferior à peça maior da carcaça.
- Fixação do motor: parafusa-se o motor à superfície superior da carcaça, nos respectivos furos já existentes na carcaça.

- Montagem das polias e correia: monta-se uma polia no eixo movido, em seguida a correia em ambas as polias, e em seguida posiciona-se a polia motora no eixo motor, já com suas respectivas chavetas posicionadas.
- Montagem do acionamento elétrico: monta-se a ligação elétrica, com botão de liga/desliga, também colocando botão de segurança interrompendo o fornecimento de energia ao circuito.

Os passos descritos podem ser melhor compreendidos observando a Figura 9, que mostra a vista explodida da compactadora, e o Quadro 2, que mostra a correspondência entre a numeração apresentada e os nomes dos componentes.

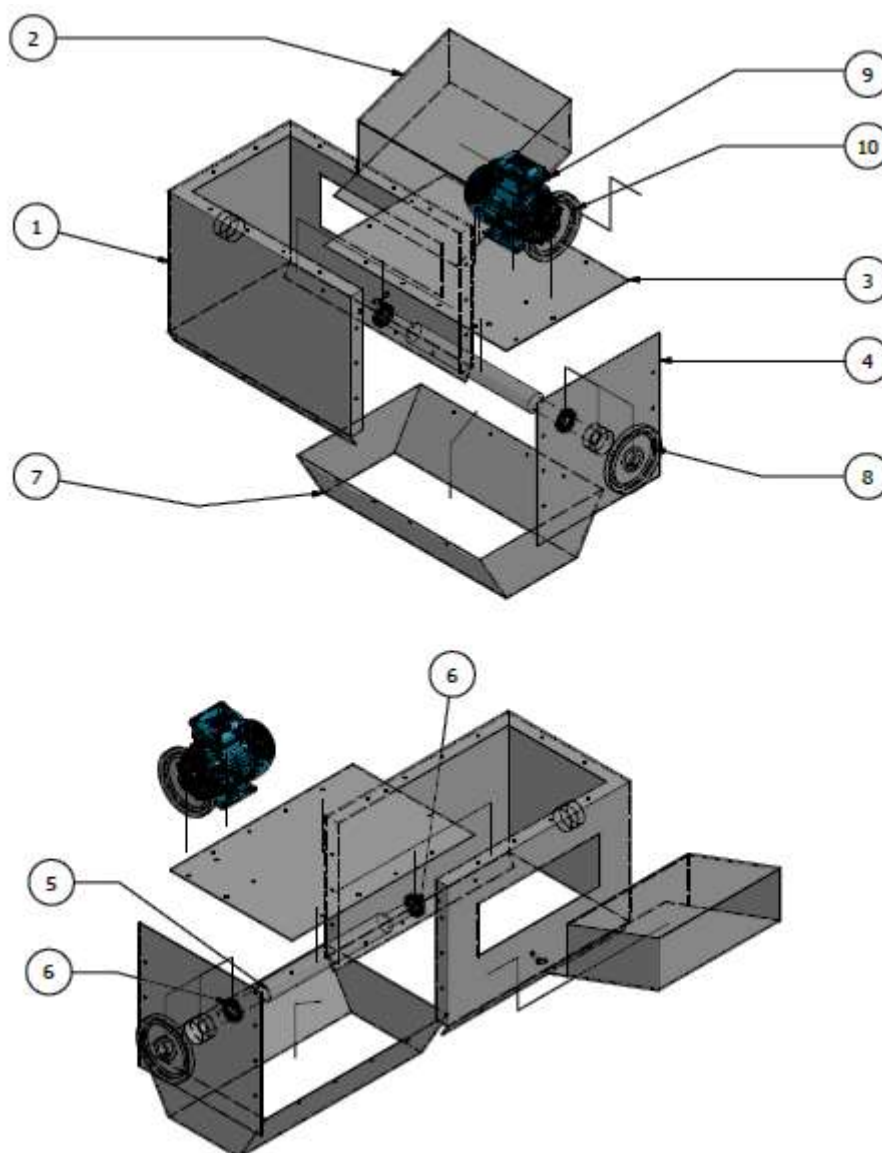


Figura 9: Vistas explodidas para auxílio na montagem da máquina.

Quadro 2: lista de componentes para auxiliar a montagem da compactadora.

Item	Componentes
1	Carcaça
2	Bocal superior
3	Tampa superior
4	Tampa lateral
5	Eixo
6	Rolamentos
7	Bocal inferior
8	Polia movida
9	Motor 0,5HP
10	Polia motora

4. Testes operacionais

4.1 Teste em bancada

Após a montagem da máquina, foi realizado um primeiro teste, onde foram constatados dois pontos: existe refluxo de EPS triturado pelo bocal de entrada, e a máquina apresenta um nível alto de vibração, mesmo estando apoiada no cavalete. Assim, antes de prosseguirem os testes, esses resultados foram analisados a fim de corrigir as falhas detectadas. Para evitar o refluxo, foi considerado aumentar a inclinação do bocal de admissão de material, e, para reduzir o nível de vibração, foi avaliada a redução da velocidade do conjunto rotativo. Foi utilizada uma taxa de redução de 3,4:1, feita através de uma nova polia motora.

Após esse ajuste, verificou-se que os problemas observados foram resolvidos, e a máquina encontrava-se em plenas condições de funcionamento.

Em um segundo teste, já com a rotação e bocal ajustados, foi observada ainda em bancada a redução de volume com algumas peças de EPS, cujas dimensões externas estão apresentadas na Tabela 3. A massa total dessas peças foi medida com uma balança de cozinha, e era de 1,200kg.

Tabela 3: Dimensões das peças trituradas

Quantidade	Dimensões em cm
2	36 x 33,5 x 62,5
1	31,5 x 2 x 6,5
2	30 x 36,5 x 2
Volume total	155539,5 cm³

Foram medidas as dimensões externas do menor sólido simples que envolvia as peças, pois foi considerado que os espaços das reentrâncias existentes não seriam preenchidos por mais material caso fossem transportadas sem a trituração em um caminhão de coleta. O volume mencionado corresponde a 155,54 litros, e após os testes, o material triturado ocupava o volume de 100 litros.

Considerando esses volumes, a máquina reduziu o volume em 35,71%, mais que os 30% esperados. Em termos de densidade aparente, as peças inteiras possuíam

aproximadamente $7,72\text{kg/m}^3$, e trituradas 12kg/m^3 , o que representa um aumento de 55,5%.



Figura 10: Detalhe do isopor que sai da máquina.

A Figura 10 mostra o EPS que sai da máquina com dimensões da ordem de poucos centímetros, que já propicia a redução de volume mencionada.

4.2 Teste em campo

Após o contato com diversas ONGs relacionadas com reciclagem, através da Plastivida, conseguiu-se o contato da presidente da cooperativa de triagem Cooper Viva Bem, situada na cidade de São Paulo. A cooperativa, de acordo com a referida ONG, é a única da região que recebe EPS, além de diversos outros materiais recicláveis, e aceitou ceder espaço e material para a realização de um teste em campo. A Figura 11 mostra a máquina sendo transportada em cima de um pallet para dentro da Cooperativa.



Figura 11: Máquina sendo transportada para dentro da Cooperativa.

Para a realização dos testes, foi fornecido um saco grande de dimensões aproximadas de 1,7m por um diâmetro de 1m, com massa de 7kg, medida numa balança da cooperativa, apresentado na Figura 12.



Figura 12: Saco de EPS na balança e detalhe da medida.

Durante o teste foram necessárias duas pessoas, uma para quebrar as peças de EPS em fragmentos menores, outra para introduzir as peças na máquina. O recipiente que continha inicialmente o material foi colocado na saída da máquina para auxiliar na retirada do EPS processado. Esse processo foi realizado de forma contínua, sem interrupções, durante o tempo de ensaio.

O material cedido foi processado em 12 minutos, com a máquina operando em condições normais. Projetando linearmente esse tempo, em uma hora a máquina processa 35kg, o que supera as expectativas de rendimento de 30kg/hora, estipulado nos requisitos de projeto.

Além disso, ao fim do teste, com o material colocado novamente dentro do mesmo recipiente, percebeu-se que o EPS ocupava apenas 30% do volume inicial.

4.3 Resultados e ajustes

Após o primeiro teste em bancada, foi aumentada a inclinação do bocal de admissão, ilustrado na Figura 13. Também foi reduzida a rotação da máquina utilizando uma nova polia motora de diâmetro de 50mm, comprada num fornecedor de polias, que

em conjunto com a antiga polia movida de diâmetro de 170,18mm, forneceu uma relação de transmissão de 1:3,4, conjunto ilustrado na Figura 14, onde a polia antiga está representada em cinza.

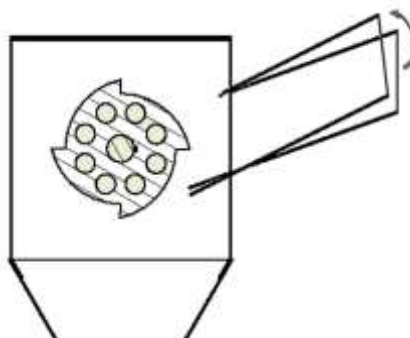


Figura 13: Aumento da inclinação do bocal de admissão.

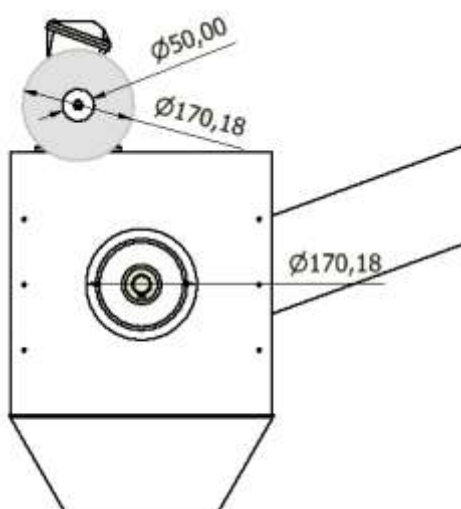


Figura 14: Vista frontal do conjunto de polias.

No segundo teste em bancada foi possível observar uma significativa diminuição no refluxo de material, bem como a redução na vibração. Além disso, o teste permitiu comprovar e superar o requisito de redução de volume, considerando o volume útil ocupado pelas peças trituradas, atingindo uma redução de 35,71%.

O teste em campo, além de ter permitido a averiguação do requisito de rendimento do processamento do material, permitiu a constatação de que em uma operação em escala, o volume aparente inicial tem um potencial de redução muito maior que o esperado, tendo sido observado nessa ocasião uma diminuição da ordem de 70%.

Ainda, os funcionários da cooperativa fizeram vários comentários e sugestões à cerca do produto, seguem os principais.

- Possibilidade de utilizar a máquina para triturar outros tipos de material: dada a capacidade de trituração observada, alguns funcionários comentaram que ela poderia ser usada em um número maior de materiais, com resistência maior que o EPS.
- Dificuldade na retirada do material após a trituração: devido à altura reduzida da máquina em relação ao chão ao longo do teste, houve esse comentário, que foi retirado, ao explicarmos que a máquina havia sido projetada para ser operada dentro de um caminhão, a uma altura bastante maior.
- Dimensão reduzida do bocal de admissão: foi apontado que o bocal poderia ser maior, para aceitar pedaços de dimensões maiores de EPS.
- Complexidade de utilização: como o bocal não aceita pedaços de dimensões muito grandes, foram necessárias duas pessoas para a realização do teste, uma para quebrar as peças de EPS em fragmentos menores, outra para inseri-los na máquina.

De forma geral, os membros da cooperativa se demonstraram interessados na máquina, mas apontaram que os caminhões de coleta que trazem os materiais recicláveis até eles não pertencem à cooperativa, pertencendo principalmente à prefeitura.

5. Conclusão

No atual cenário mundial, a reciclagem de produtos não biodegradáveis ganha destaque especial dados os altos impactos ambientais gerados pelo seu descarte na natureza.

O projeto proposto foi a continuação de trabalhos em disciplinas anteriores e visa aumentar a rentabilidade do processo de reciclagem de EPS, reduzindo os custos relativos ao frete e estocagem, com a utilização de uma máquina compactadora de EPS, passível de ser utilizada na caçamba de um caminhão de coleta.

Este relatório abordou desde o projeto até a fabricação da máquina trituradora, tendo como resultado final a construção e teste de um protótipo funcional.

A máquina consiste em uma trituradora de pequeno porte, onde os pedaços grandes são reduzidos a pedaços menores, que funciona embarcada em um caminhão de coleta. Por isso o protótipo foi elaborado de forma a possuir dimensões e massa reduzidas, e de forma a ser construído por métodos convencionais de manufatura, para evitar custos desnecessários.

Ainda, era esperado que o protótipo fornecesse uma taxa de compactação de volume de 30%, processando 30 kg de material por hora.

Os testes realizados em bancada foram satisfatórios, comprovando a eficácia esperada da máquina, que foi comprovada novamente em teste em campo. Pôde-se observar ainda que em um processamento em escala a redução do volume aparente do material pode ser muito superior ao requisito esperado da máquina, tendo chegado a cerca de 70%.

Para trabalhos futuros, propõe-se uma avaliação mais profunda do modelo de negócio da máquina, visando sua viabilização econômica e a definição de parceiros e clientes do negócio. Ainda, propõe-se uma reavaliação do projeto da máquina, tanto sob a ótica de explorar materiais diferentes, como por exemplo polímeros, para a produção e processos de manufatura envolvidos, quanto sob a ótica de alterar a forma construtiva da máquina, alteração das dimensões do bocal de admissão, que se provaram restritivas à operação do produto e ainda, o projeto de etapas complementares à trituração, como a compressão e aquecimento, que aumentarão a taxa de compactação fornecida.

6. Referências bibliográficas

Abrapex. O que é EPS. Disponível em: <<http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html>>. (Acesso em 14/09/2014).

Alibaba. Torno Universal SP2109. Disponível em: <<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/universal-lathe-sp2109-480759741.html>>. (Acesso em 05/09/2014).

Alibaba. Compactadora de EPS. Disponível em: <<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/cp180-styrofoam-compactador-316636017.html>>. (Acesso em 10/12/2013).

Ambiente Brasil. Isopor - O Impacto no Meio Ambiente. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/isopor/isopor_-_o_impacto_no_meio_ambiente.html>. (Acesso em 16/09/2014).

Andreoli, A. B.; Boidi, G.; Castilho, M.; Cerciari, A. S.; Correa, L. A.; Emidio, L.; Facchini, P. H. H.; Farias, A. A.; Gara, G. C. S.; Godoy, R.; Gonçalves Junior, S.; Hsieh, G.; Kuba, B.; Lazzarini, A.; Lomonte, A.; Martinazzo, A.C.; Okamura, V.; Vidotti, A. Plano de Negócios para o desenvolvimento de uma máquina compactadora de EPS. São Paulo 2013.

BRASIL. Lei nº12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. (Acesso em 17/09/2014).

Budynas, R. G.; Nisbett, J. K.; Shigley, J. E. Shigley's mechanical engineering design. 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2011. 1082 p.

Características do EPS. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/isopor/isopor_-_caracteristicas.html> (Acesso em 02/04/2013).

Casa da máquina. Furadeira de Bancada FGC-16 – Ferrari. Disponível em: <<http://www.casadamaquina.com.br/furadeira-de-bancada-fgc16--ferrari-pr-1448-251599.htm>>. (Acesso em 05/09/2014).

Casas Bahia. Logística reversa é realidade. Disponível em: <http://institucional.casasbahia.com.br/imprensa_noticias/logistica-reversa-e-realidade/>. (Acesso em 02/10/2014).

Diário Catarinense. Reciclagem de isopor em Santa Catarina ainda enfrenta dificuldades, 30/03/2014. Disponível em: <<http://diariocatarinense.clicrbs.com.br/sc/economia/noticia/2014/03/reciclagem-de-isopor-em-santa-catarina-ainda-enfrenta-dificuldades-4460192.html>>. (Acesso em 20/09/2014).

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Salariômetro: salário médio de operador de máquinas ferramenta convencionais. Disponível em: <<http://www.salariometro.sp.gov.br/>>. (Acesso em: 27/04/2013).

IBAMA. Tempo de decomposição de alguns materiais na natureza. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/setores-ibama-df/reciclagem>>. (Acesso em 13/09/2014).

Loja do mecânico. Máquina de Solda Inversora ArcWeld 200i-S. Disponível em: <<http://www.lojadomecanico.com.br/produto.asp?cod=84810&cat=21&subcat=154>>. (Acesso em 05/09/2014).

Mercado livre. Galpão industrial para aluguel em Itaquera. Disponível em: <<http://imovel.mercadolivre.com.br/MLB-473718225-galpo-itaquera-cidade-lider-300m400m2-JM>>. (Acesso em 05/09/2014).

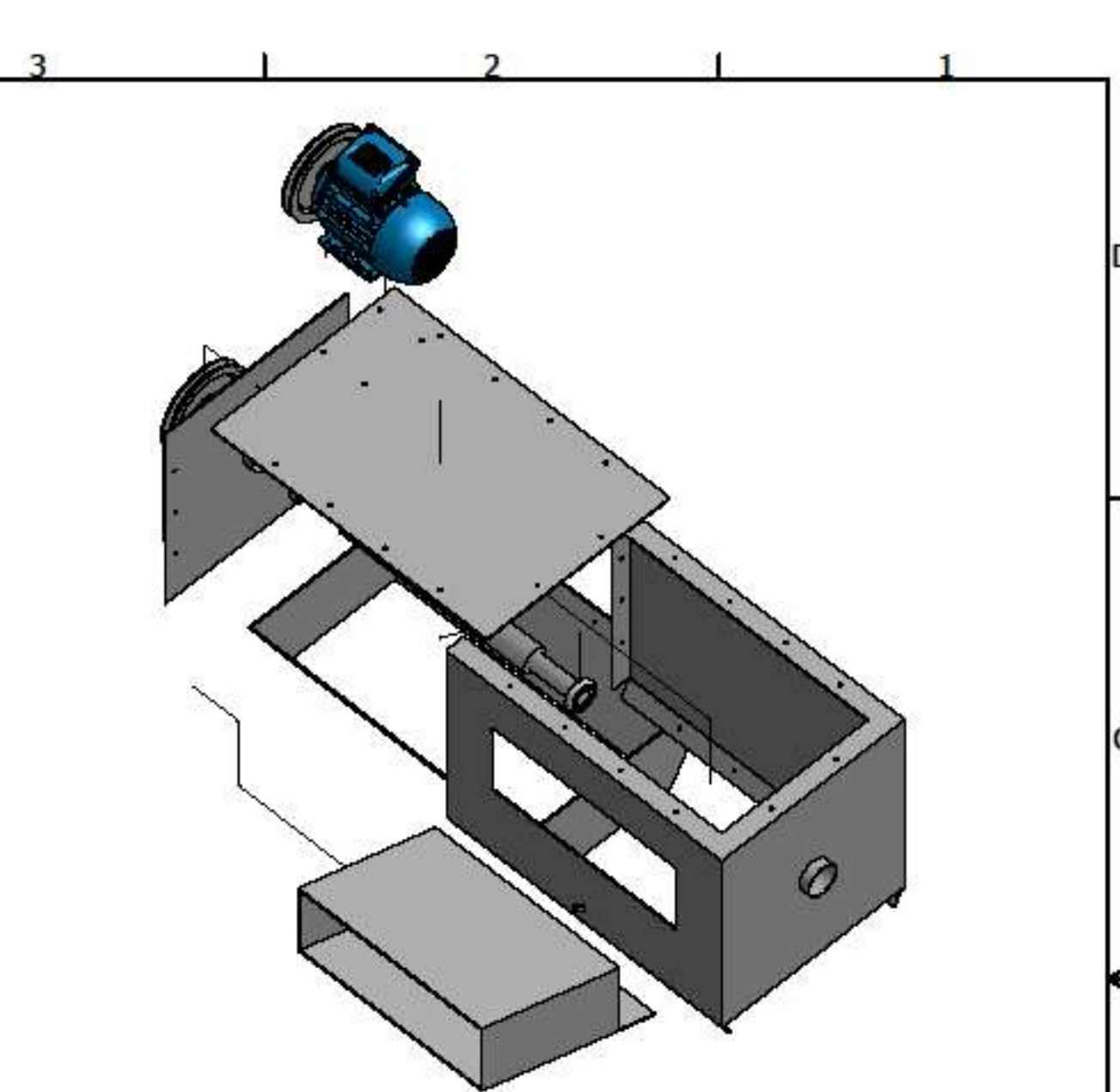
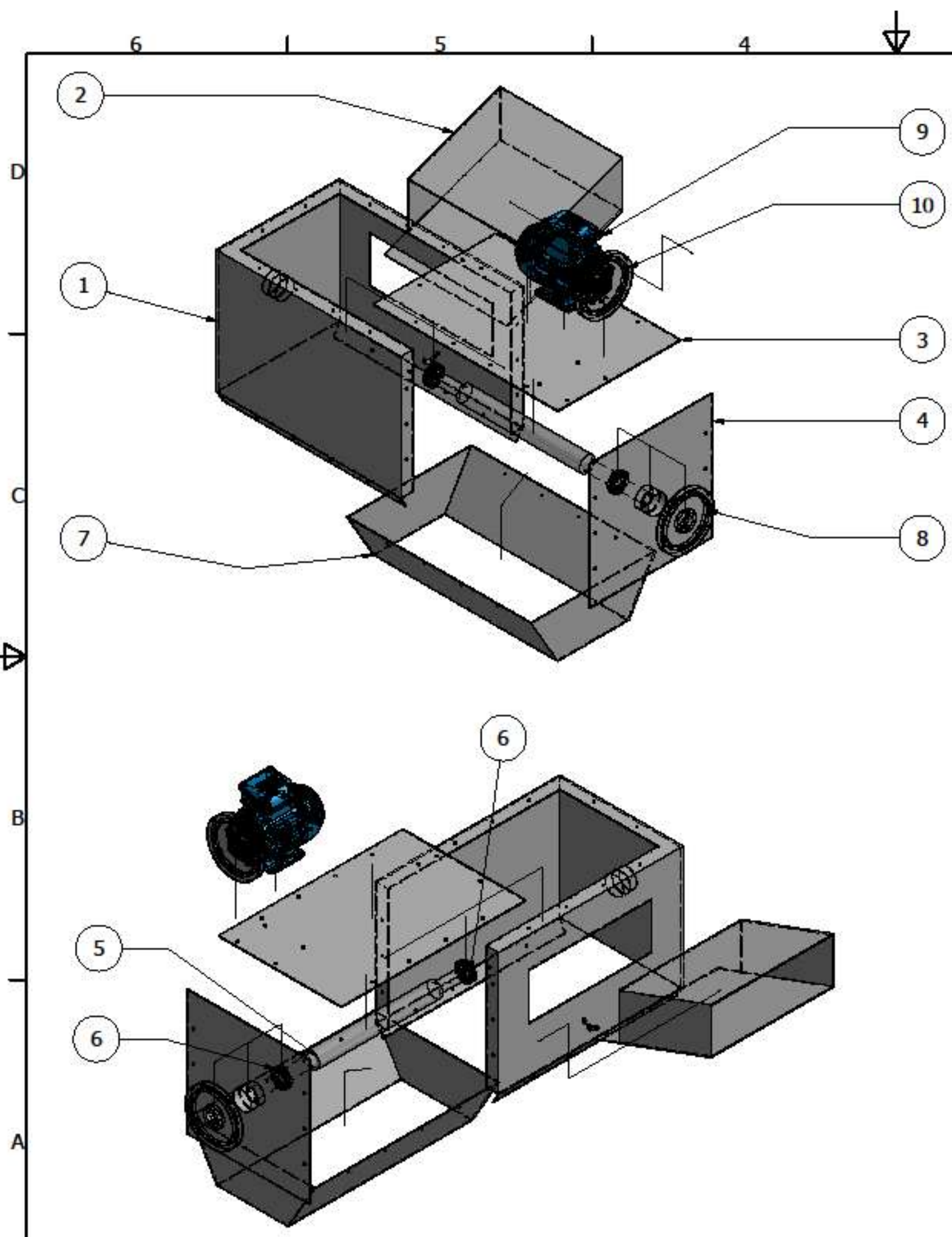
Merchant Research & Consulting Ltd. Global EPS Production Grew by over 200,000 Tonnes in 2012. Disponível em: <<http://mcgroup.co.uk/news/20130822/global-eps-production-grew-200000-tonnes.html>>. (Acesso em 22/09/2014).

Plastivida: Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. Brasil recicla 34,5% do EPS pós-consumo. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/2009/Releases_092.aspx> (Acesso em 25/09/2014).

Reciclagem de ISOPOR®. Disponível em: <http://www.brasileconomico.com.br/noticias/isopor-e-novo-campo-de-negocios-da-reciclagem_92810.html> (Acesso em 02/04/2013).

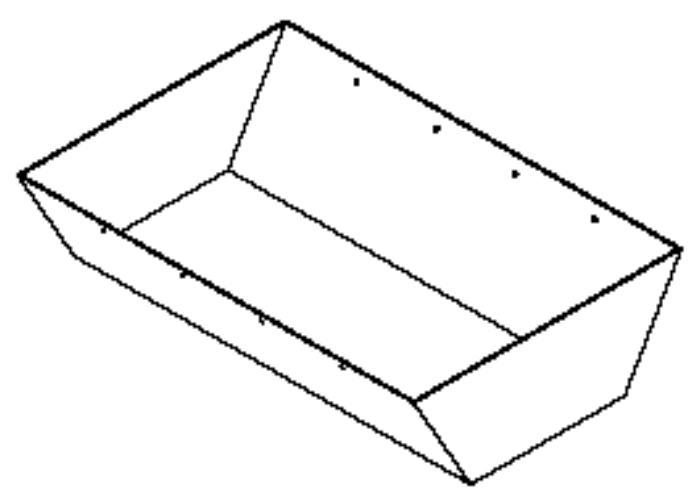
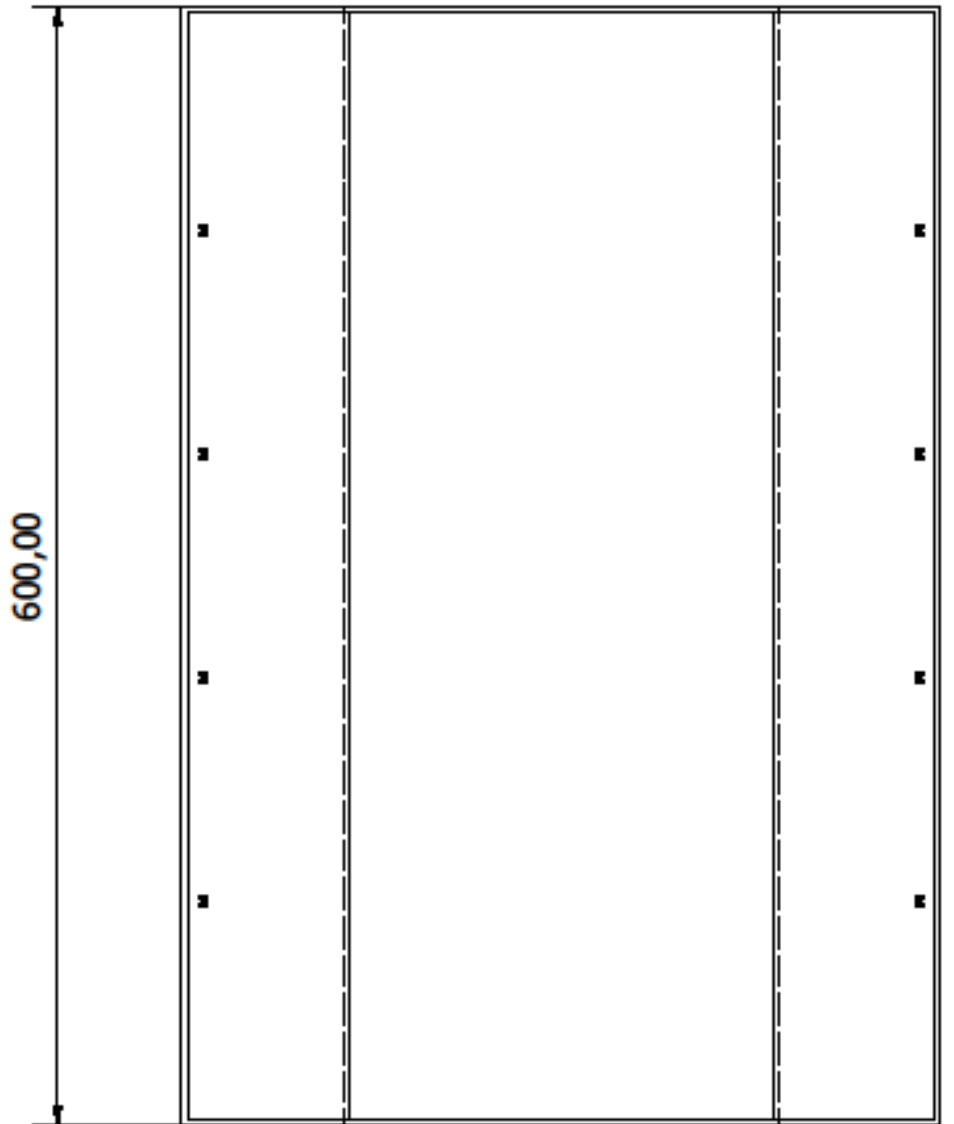
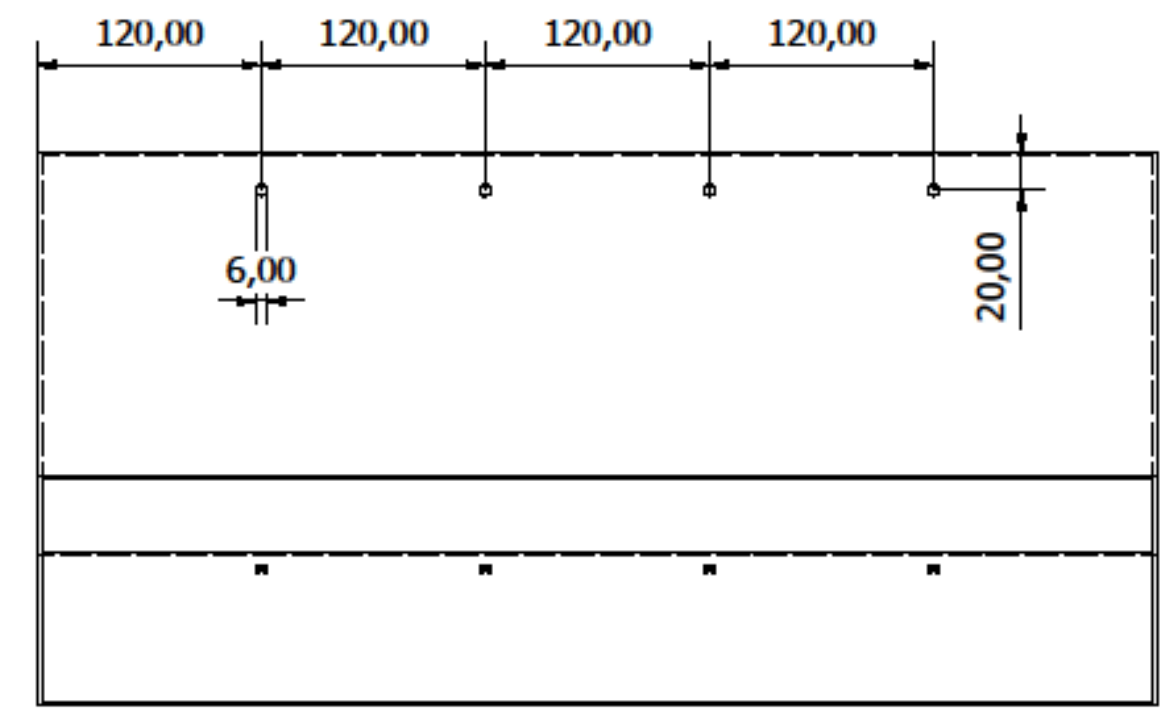
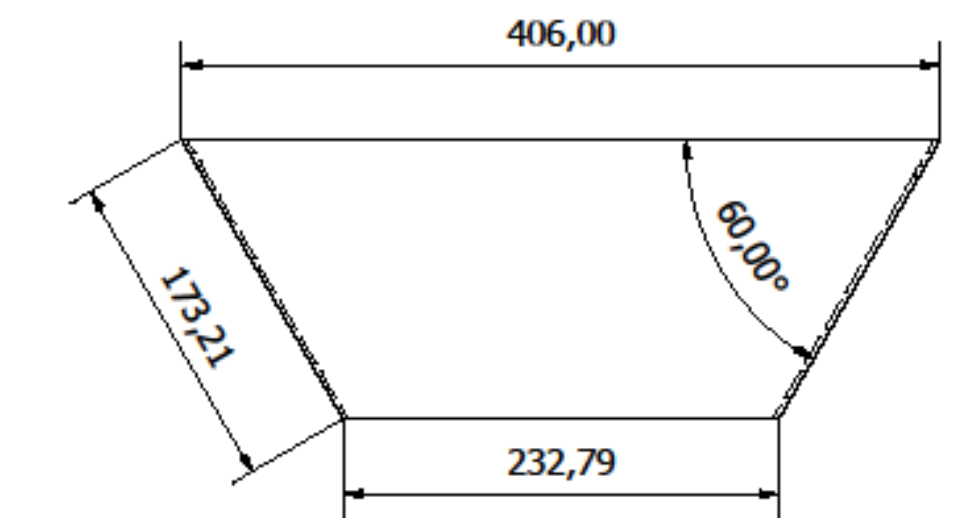
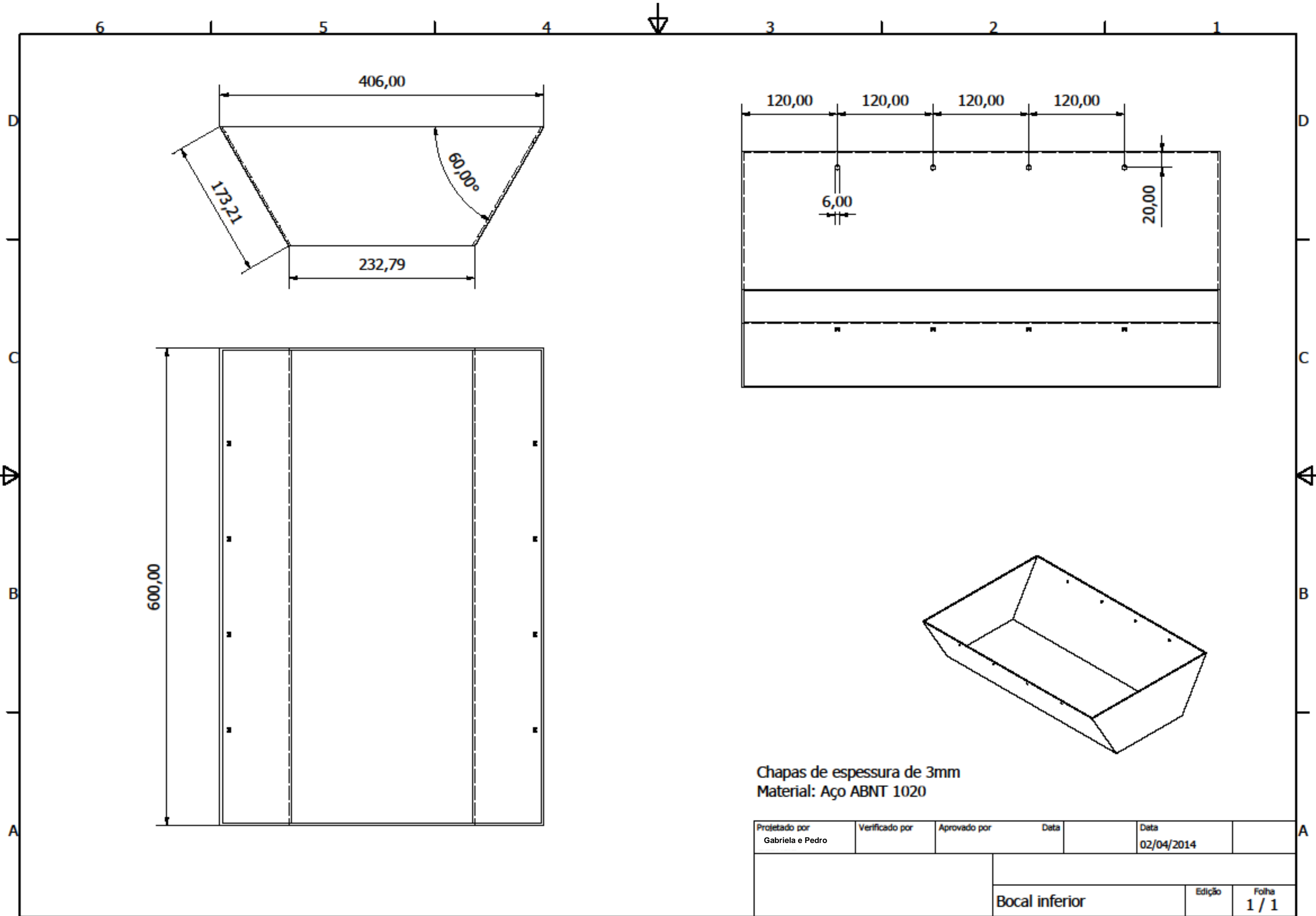
UOL Notícias. Isopor também pode ser reciclado. UOL Notícias: Ciência, 19/05/2008. Disponível em: <<http://noticias.uol.com.br/ciencia/ultimas-noticias/redacao/2008/05/19/isopor-tambem-pode-ser-reciclado.htm>> (Acesso em 20/04/2012).

APÊNDICE A – Desenhos de fabricação



10	1	Polia motora	
9	1	Montagem1	
8	1	Polia movida	
7	1	Bocal inferior	
6	2	Bearing 60/32-Z GB/T 276-94	Rolling bearings
5	1	Eixo2	
4	1	Tampa	
3	1	Tampa02	
2	1	Bocal	
1	1	Carcaça	

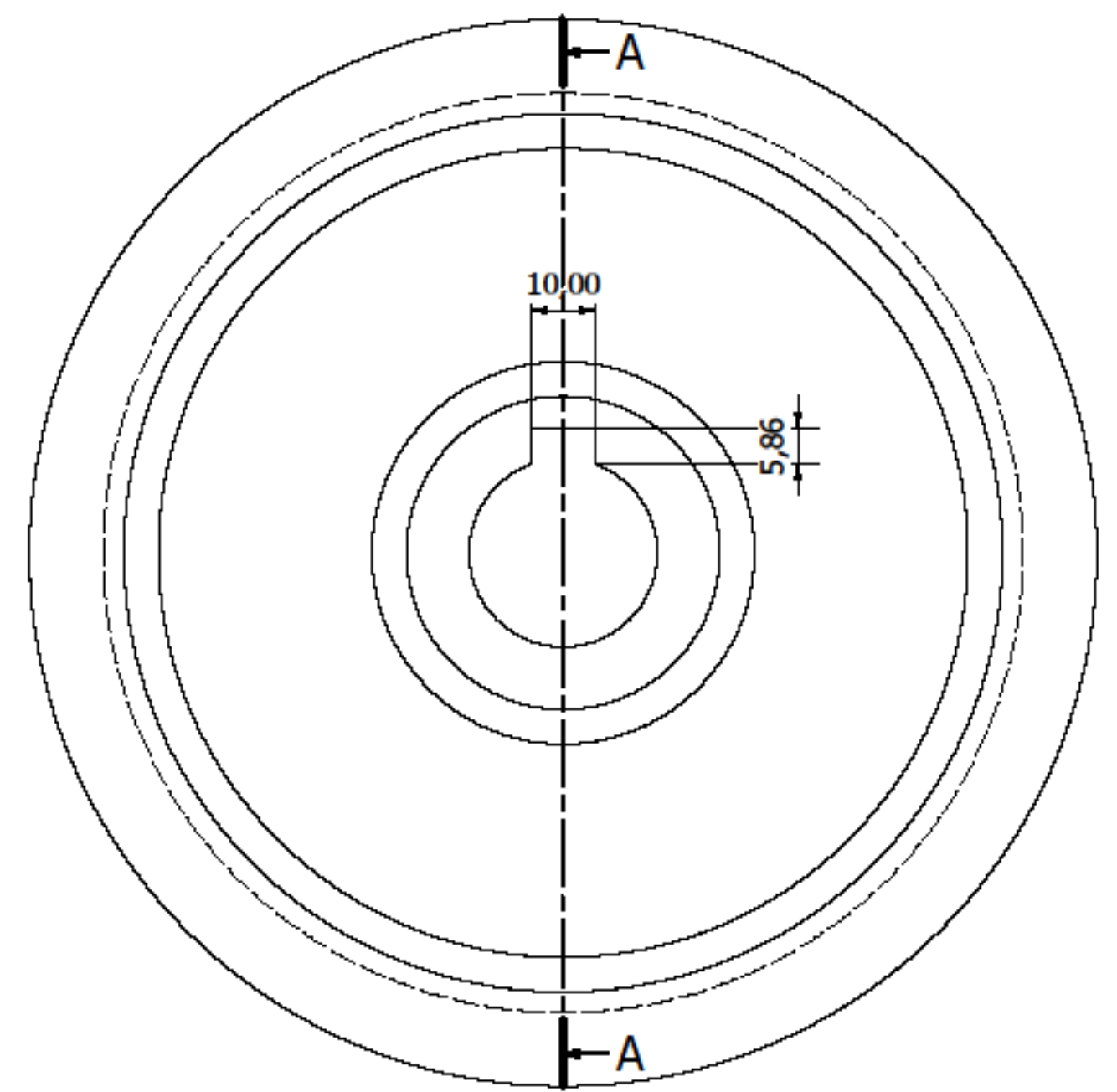
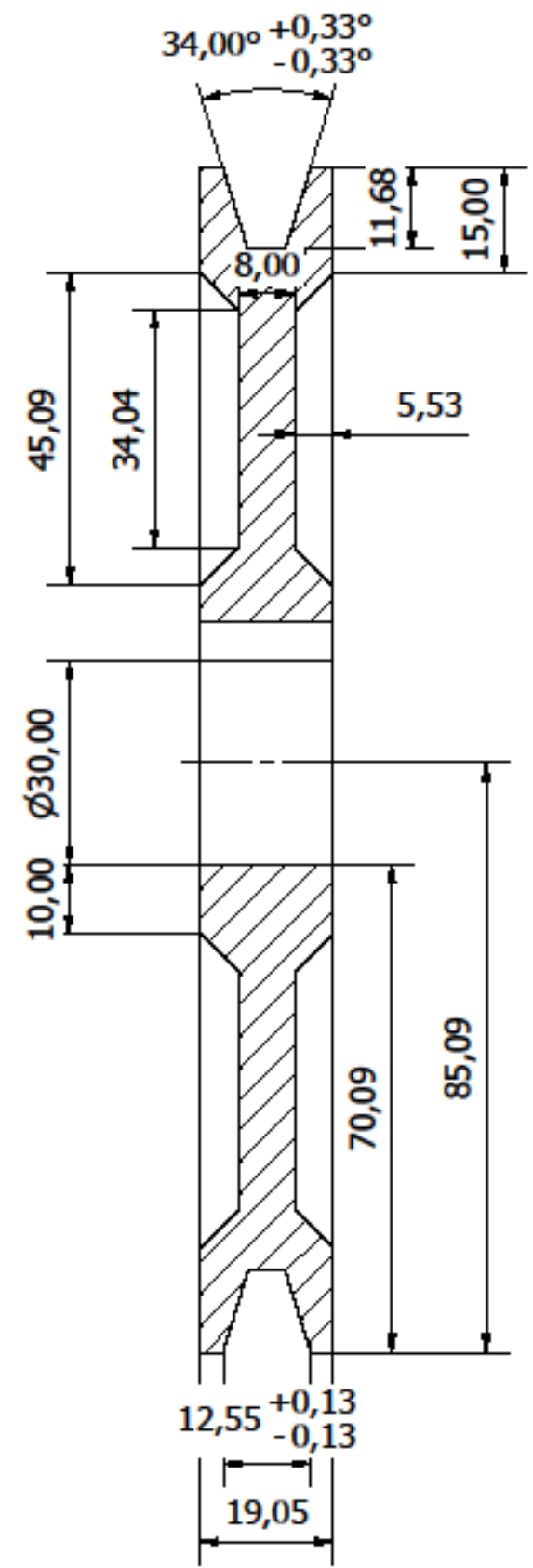
ITEM	QTD	NÚM. DE PEÇA	DESCRIÇÃO
LISTA DE PEÇAS			
Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data 21/07/2014
		montagem_carcaça_explodida_2	Edição 1 / 1



Chapas de espessura de 3mm
Material: Aço ABNT 1020

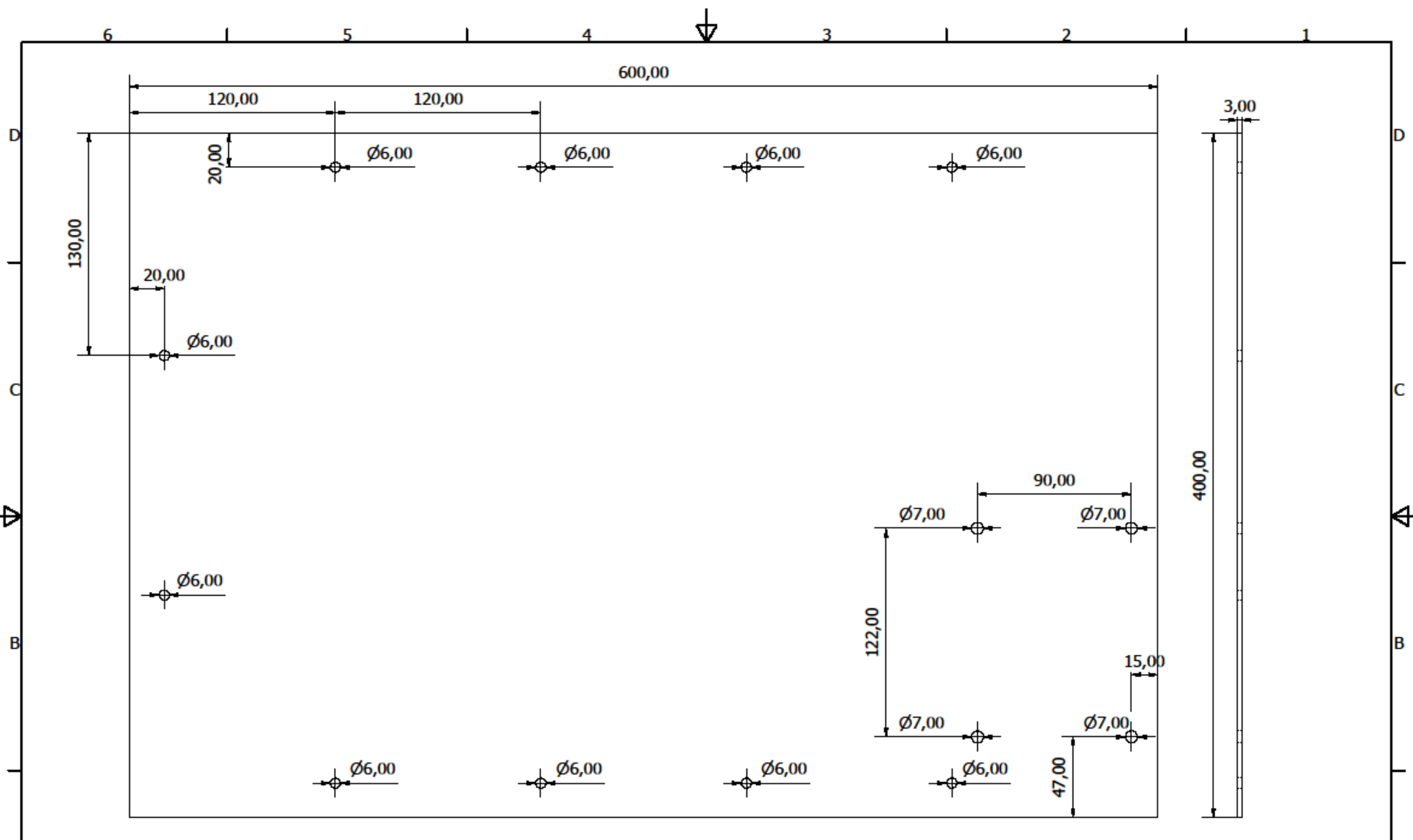
Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 02/04/2014	
			Bocal inferior		
			Edição	Folha 1 / 1	

A-A (1:1)



Material: Al-Si
 Quantidade necessária: 1 unidade

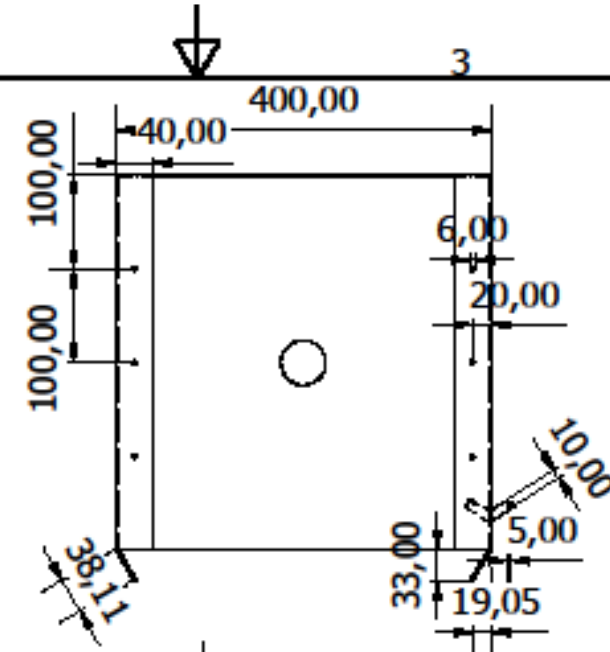
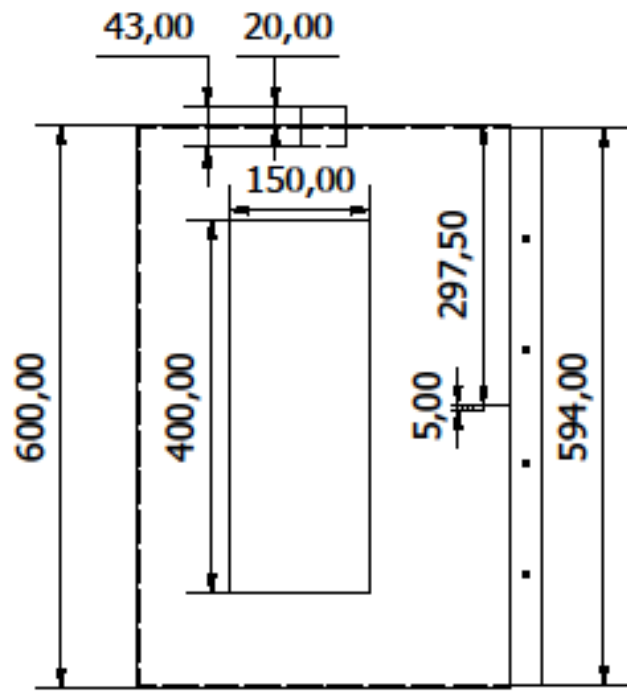
Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 28/04/2014
			Edição	Folha 1 / 1
			Polia movida	



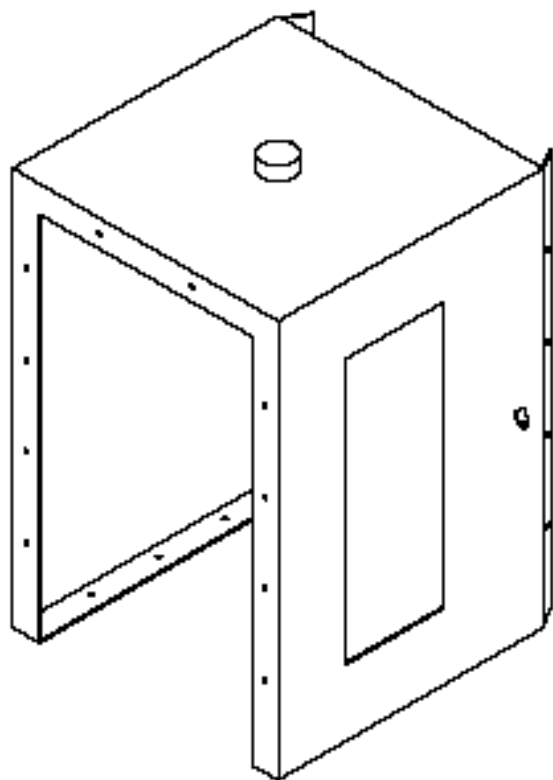
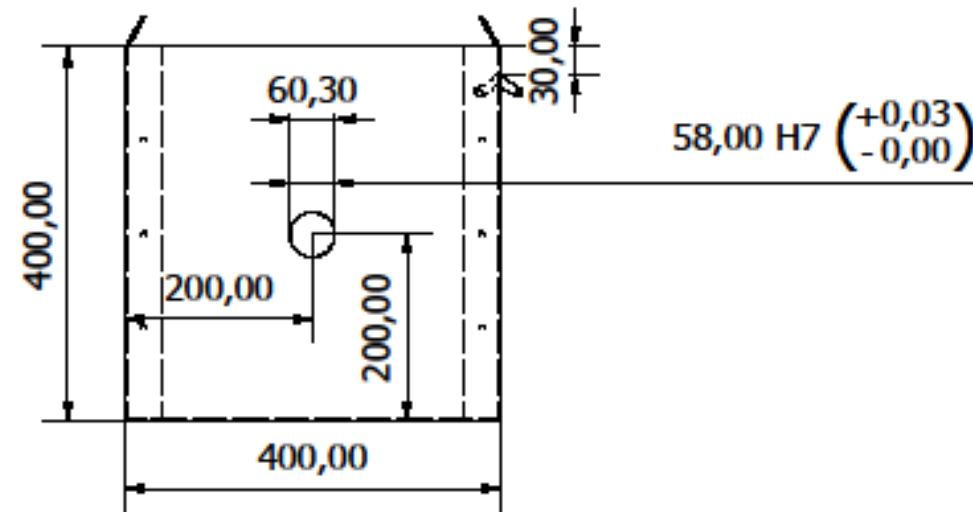
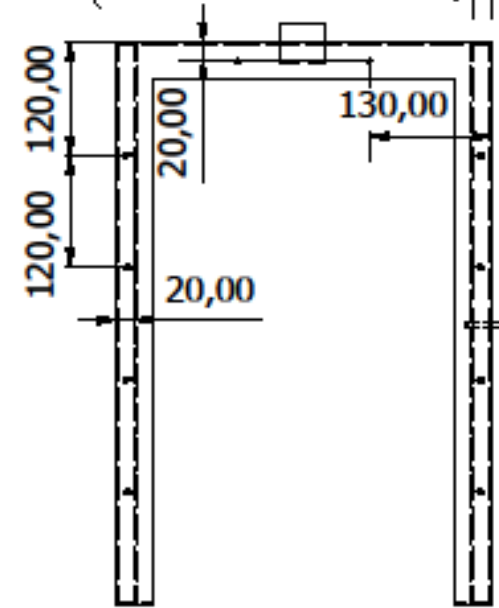
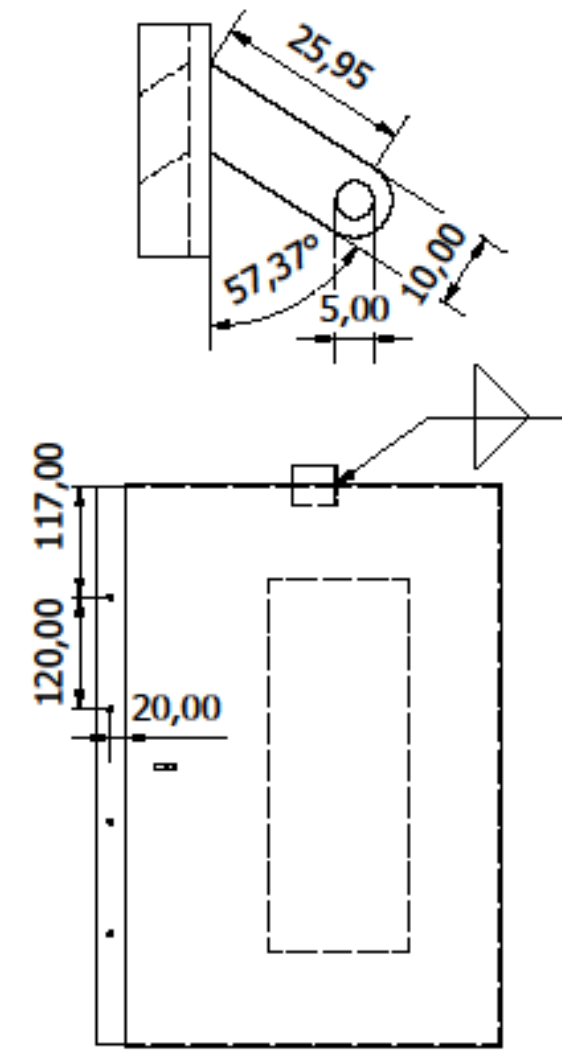
Material: Aço ABNT 1020

Projeto por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 02/04/2014	
			Tampa 02		
			Tampa02	Edição 1	Folha 1 / 1

Observação: todos os furos tem 6mm de diâmetro



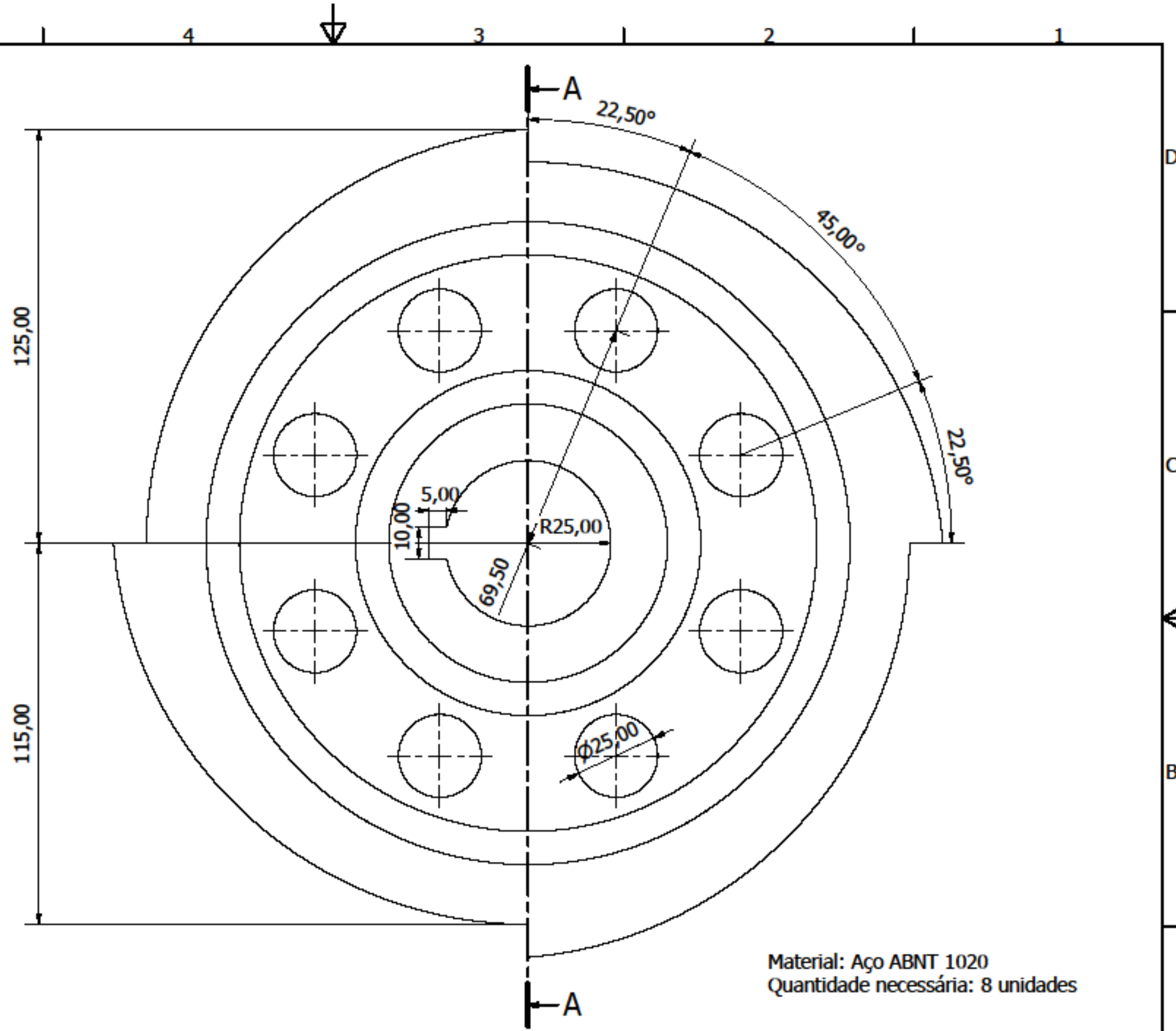
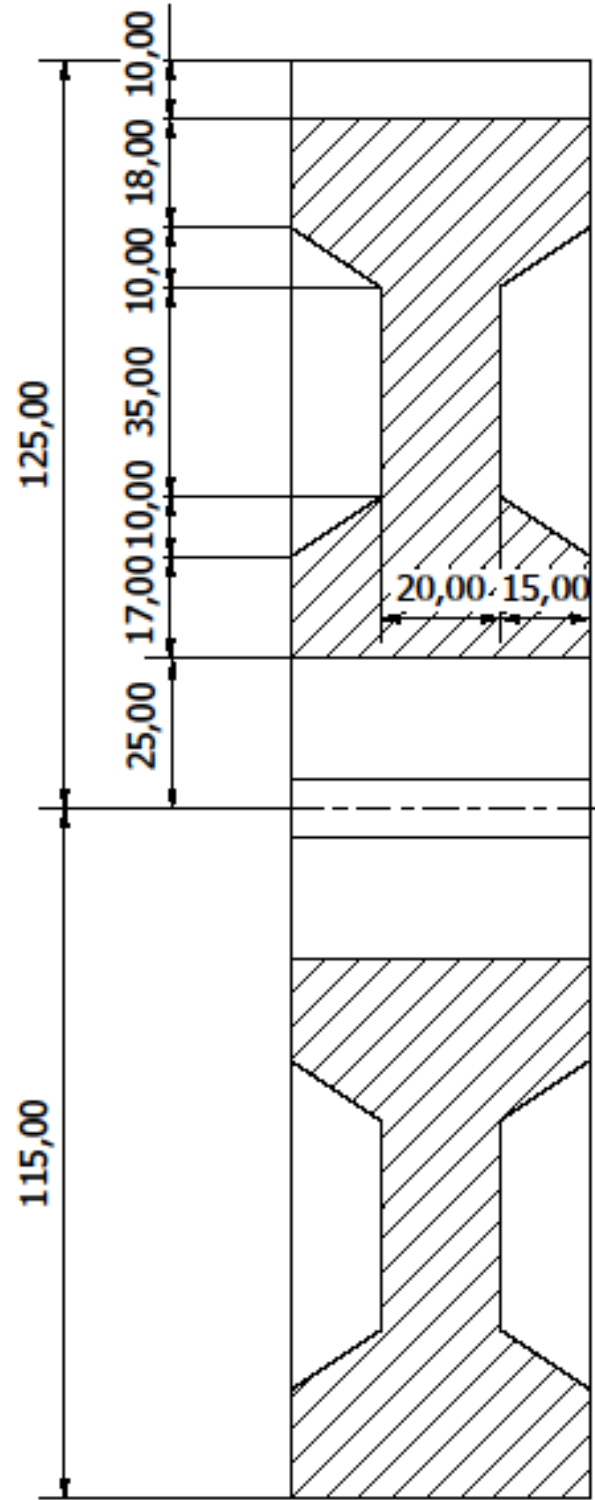
Detalhe



Todas as chapas tem 3mm de espessura.
Material: Aço ABNT 1020

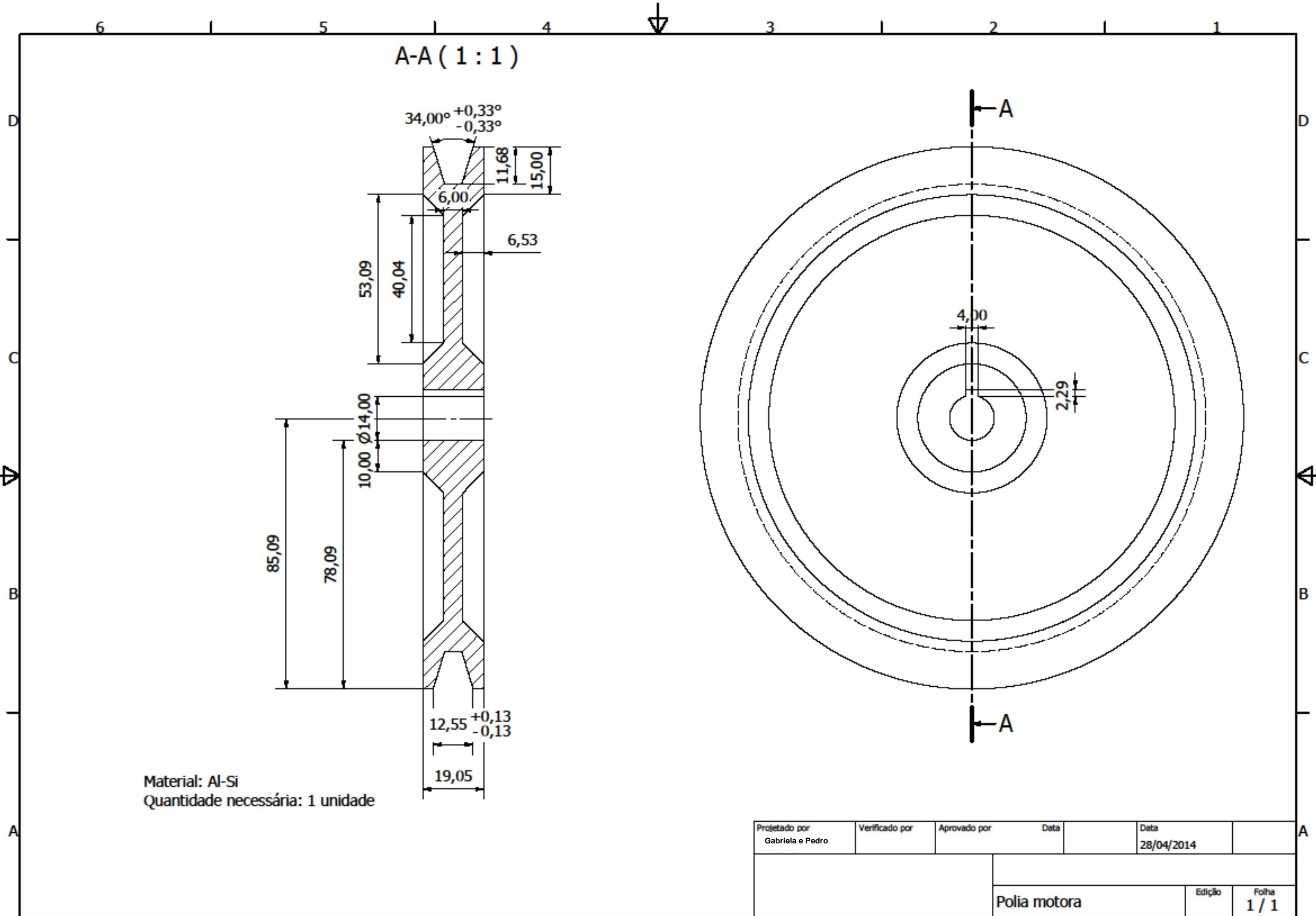
Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 02/04/2014
			Edição	Folha 1 / 1
Carcaça				

A-A (1 : 1,25)



Material: Aço ABNT 1020
 Quantidade necessária: 8 unidades

Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data	
				02/04/2014	
			Faca		
			Faca	Edição	Folha
					1 / 1

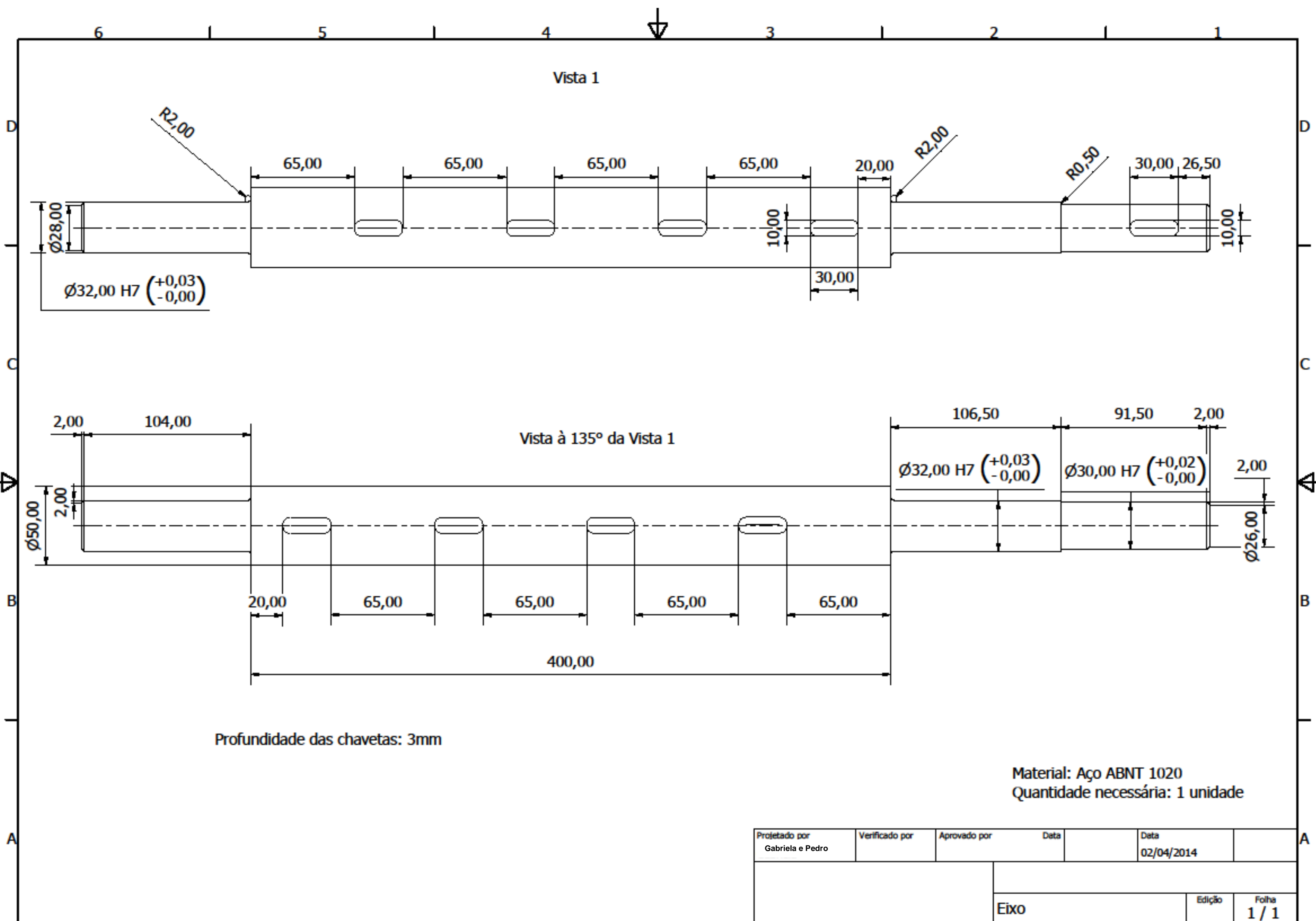


A-A (1:1)

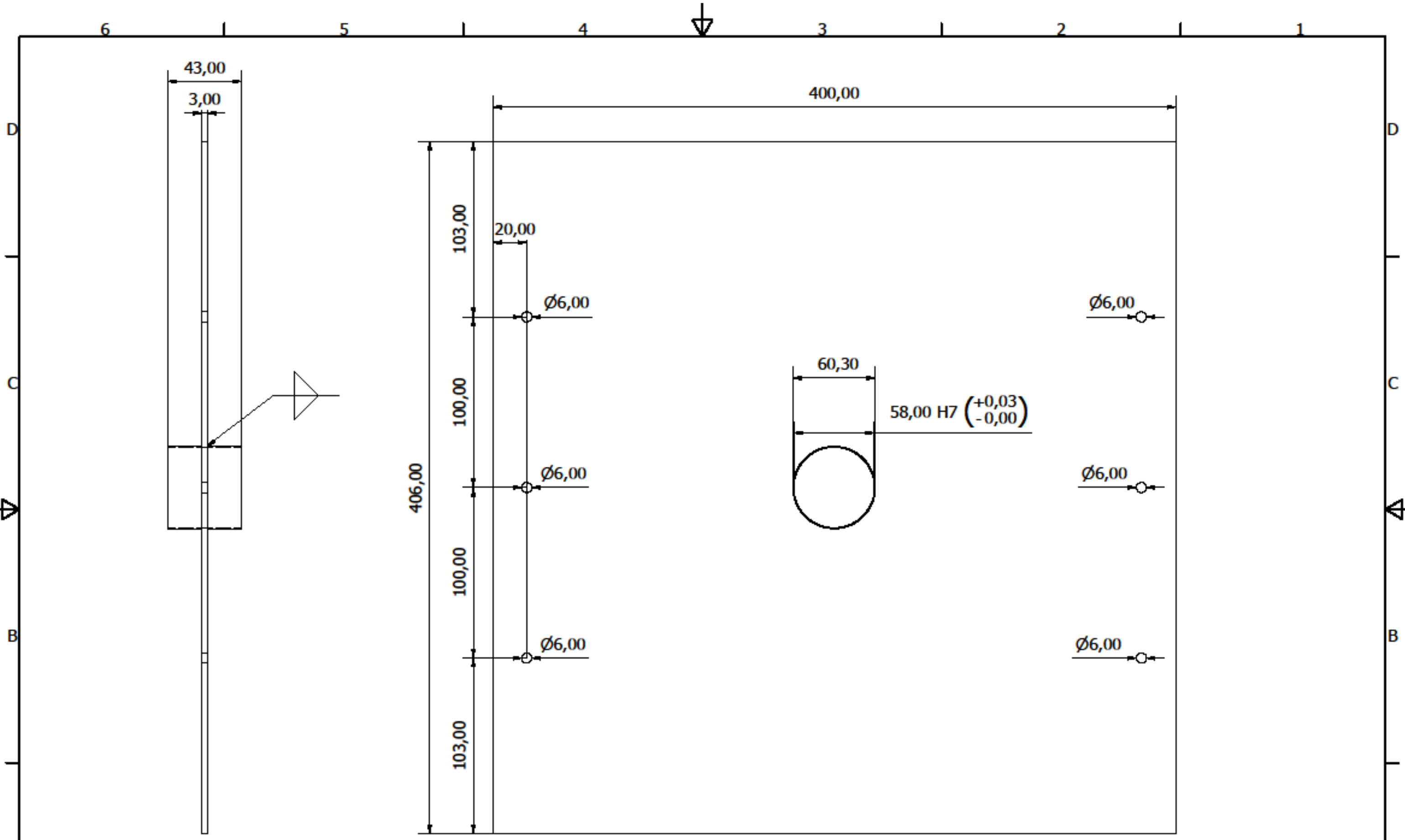
Material: Al-Si
 Quantidade necessária: 1 unidade

Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 28/04/2014
			Edição	Folha 1 / 1

Polia motora

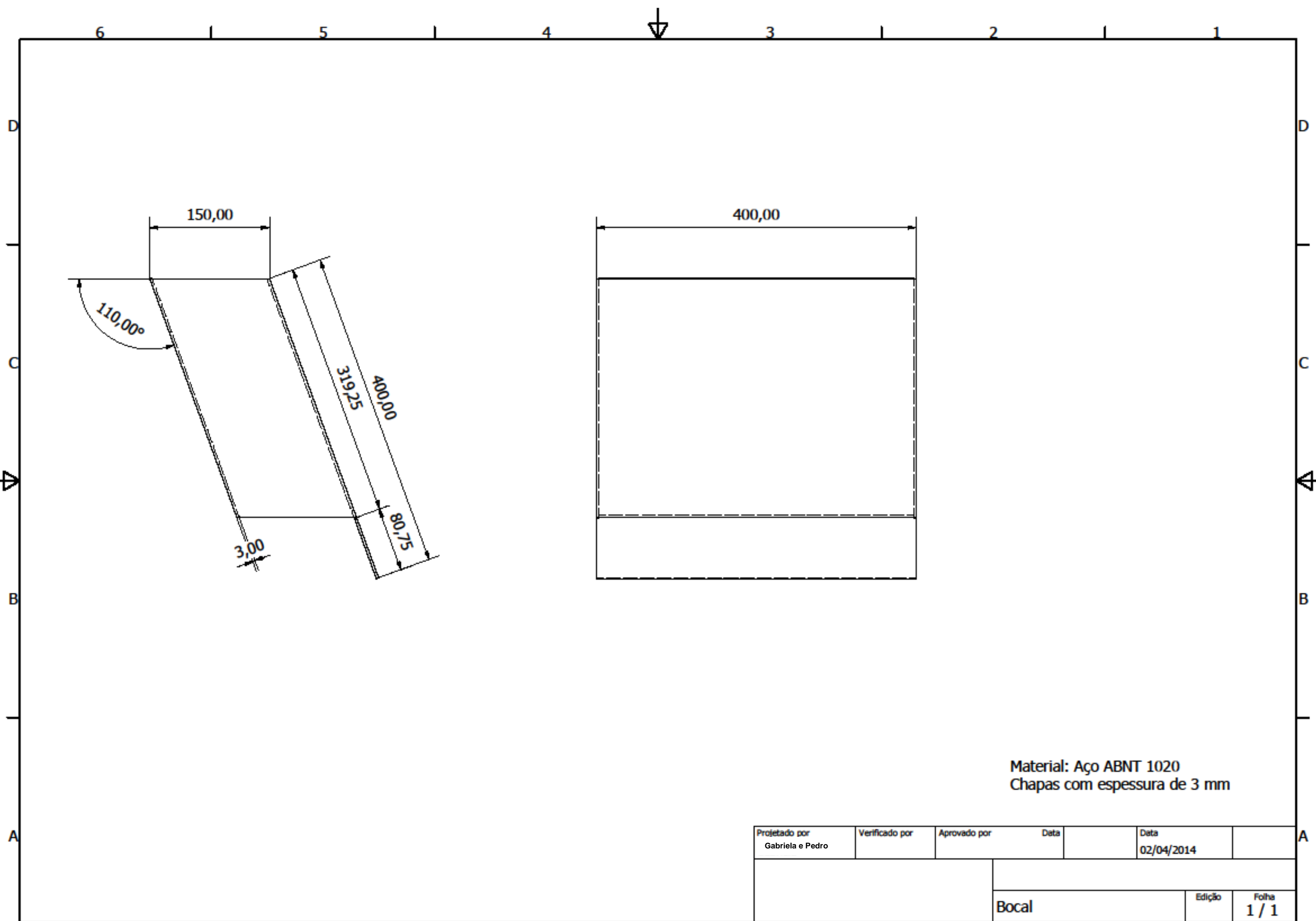


Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 02/04/2014
			Eixo	Edição 1 / 1



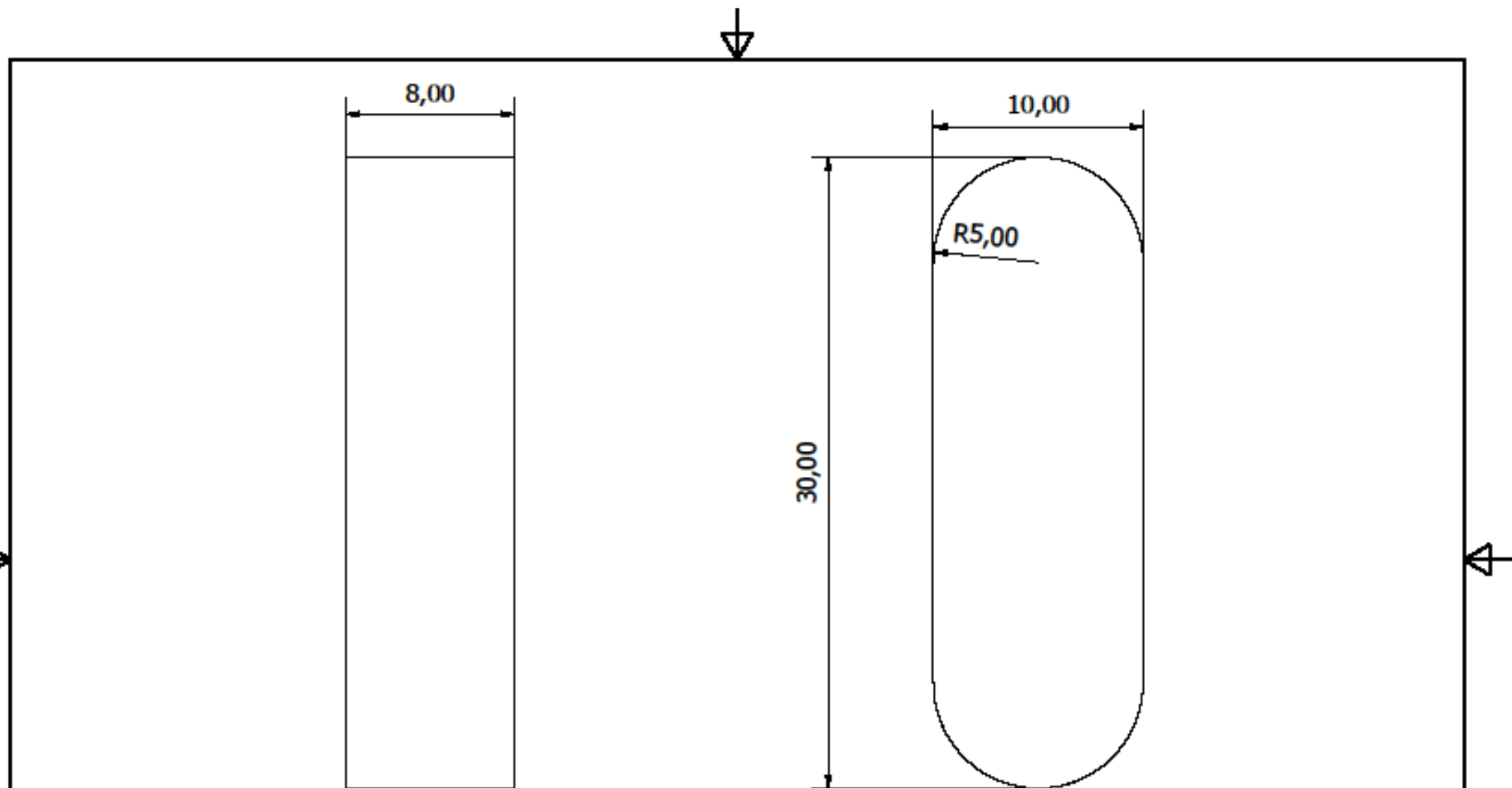
Material: Aço ABNT 1020
 Quantidade necessária: 1 unidade

Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 02/04/2014
			Tampa	
			Tampa	Edição 1 / 1



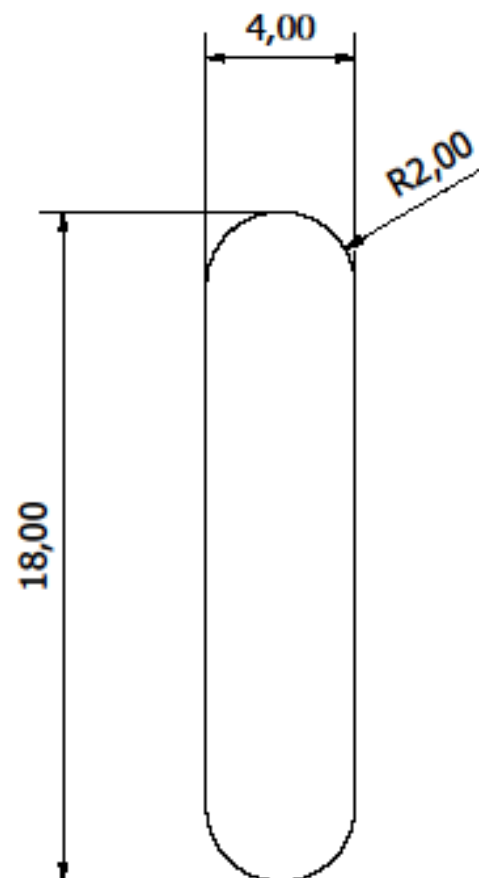
Material: Aço ABNT 1020
 Chapas com espessura de 3 mm

Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 02/04/2014	
			Bocal	Edição 1	Folha 1 / 1



Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 27/04/2014
			Chaveta 30x10x8	
			Edição	Folha 1 / 1

Material: Aço ABNT 1020
Quantidade necessária: 9 unidades



Material: Aço ABNT 1020
Quantidade necessária: 1 unidade

Projetado por Gabriela e Pedro	Verificado por	Aprovado por	Data	Data 28/04/2014
			Chaveta 18x4x4	
			Edição	Folha 1 / 1

APÊNDICE B – Memorial de cálculo

Dimensionamento do eixo

O maior esforço no eixo é o peso das facas. Cada faca possui massa de 10,67 Kg. Como são 8 facas, numa hipótese conservadora, podemos considerar que elas exercem um peso concentrado no centro do eixo de 836,5 N. O maior momento fletor para essa força concentrada ocorre na seção média do eixo e tem valor de 125,5 Nm. Os esforços de torção são mínimos, e em grande parte vindos do motor, que possui conjugado nominal de 2,2 Nm. Como a relação de transmissão é de 1:1, esse será o momento torsor ao longo do eixo.

Ainda numa hipótese conservadora, podemos transferir esses esforços para a seção do rebaixo para o mancal.

O material escolhido para o eixo é o aço ABNT 1020 que possui as seguintes propriedades.

Tabela 4: Propriedades do aço ABNT 1020.

Tensão de escoamento [Pa]	Tensão máxima [Pa]
350.000.000	420.000.000

Utilizando como aproximação inicial os valores de 50mm e 32mm para o diâmetro maior e menor no rebaixo, respectivamente, considerando apenas os esforços de flexão e um raio de arredondamento no rebaixo de 2mm, temos uma constante de concentração de tensão igual à 1,9, dada pelas curvas no Gráfico 2.

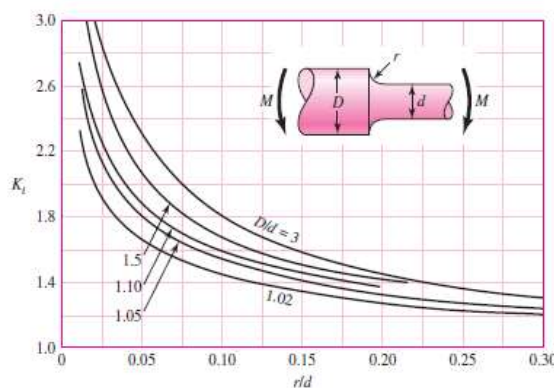


Gráfico 1: Constante de concentração de tensão para rebaixo em momento fletor (Budynas et al., 2011)

As forças aplicadas na seção de diâmetro de 50mm geram uma tensão de cerca de 2Mpa, bastante abaixo da tensão de escoamento, portanto é um diâmetro inicialmente aceitável, mas é necessário verificar as dimensões para o rompimento por fadiga. A tensão de fadiga da peça pode ser calculada pela seguinte fórmula.

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_t}{2} * K_{conf} * K_{temp} * K_{sup} \quad (1)$$

Onde σ_t é o valor de tensão máxima do material, já apresentado na Tabela 4, K_{conf} é a constante de confiabilidade da peça, que para a confiabilidade de 99,9% adotada tem valor de 0,735, K_{temp} é a constante de temperatura, e como a peça não está exposta a uma variação muito grande da mesma, possui valor 1 e K_{sup} é a constante de acabamento, que também assume valor 1, para acabamento com polimento. A partir dos valores descritos, obtém-se que a tensão de fadiga da peça é de 210 Mpa. Utilizando o critério de Soderberg, apresentado na equação (2), pode-se verificar à fadiga os valores estimados do eixo.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16n}{\pi} * \left(\frac{2M * K_t}{\sigma_{FP}} + \frac{\sqrt{3T}}{\sigma_y} \right)} \quad (2)$$

Onde d é o diâmetro menor no rebaixo, n é o fator de segurança à fadiga, adotado como 2, M é o momento fletor calculado anteriormente, T, o momento torsor, K_t é a constante de concentração de tensão obtida anteriormente, e σ_y é a tensão de escoamento do material.

Utilizando a equação acima com os valores descritos até agora, obtém-se um valor de d igual à 31,6 mm, menor que o valor estimado inicialmente para o diâmetro menor, indicando que a peça resiste a fadiga.

Dimensionamento da correia

É necessário dimensionar uma correia para a transmissão de potência da máquina com relação de transmissão de 1:1. O motor escolhido no projeto possui rotação de 1610 rpm e potência de 0,5 HP.

Consultando o catálogo da empresa Gates, para essas condições de funcionamento, com um fator de serviço indicado pela WEG, fabricante do motor, de 1,15, indica-se uma correia em perfil V do tipo A, como se pode ver no Gráfico 3.

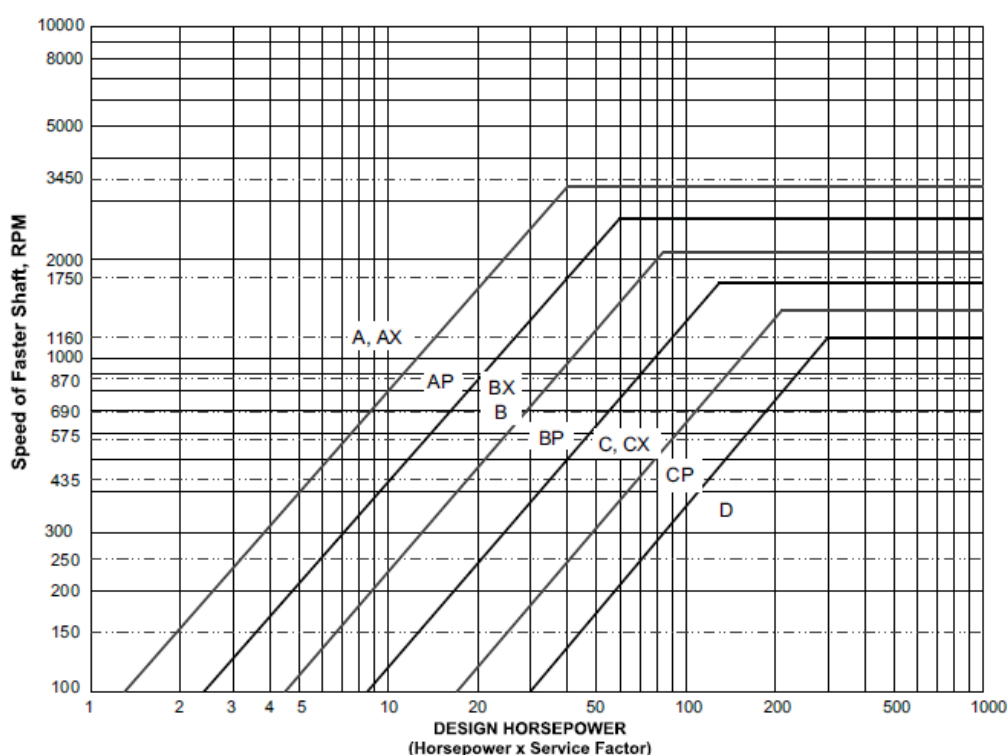


Gráfico 2: Perfil de correia V para condições de funcionamento de potência e rotação (Gates).

No projeto a distância entre os eixos a serem ligados pela transmissão é de 308,06mm. Através de tabelas no catálogo, para essa distância entre eixos e relação de transmissão 1:1, adota-se uma correia A43, e polias de diâmetro *datum* de 85,09mm a ser projetada segundo as indicações presentes na Figura 15 e Figura 16.

Standard Groove Dimensions (in)												Design Factors		
Cross Section	Datum Diameter Range	α Groove Angle $\pm 0.33^\circ$	b_d Ref.	b_g	h_g Min.	$2h_d$ Ref.	R_B Min.	d_B ± 0.0005	S_g ± 0.025	S_e		Minimum Recommended Datum Diameter	$2a_p$	
A, AX	Up through 5.4 Over 5.4	34 38	0.418	0.494 0.504	± 0.005	0.460	0.250	0.148 0.149	0.4375 ($7/16$)	0.625	0.375	+0.090 -0.062	A 3.0 AX 2.2	0

Figura 15: Tabela com valores de referência para polias em polegadas (Gates).

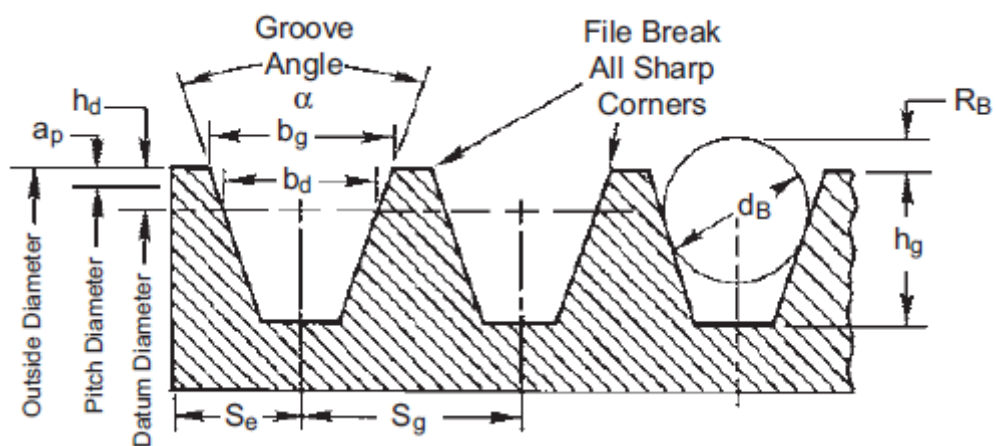


Figura 16: Ilustração dos valores de referência para polias (Gates).

APÊNDICE C – Estudo de redução de volume

É necessário um estudo para verificar a ordem de grandeza da taxa de redução de volume proporcionada pelo processo de trituração para garantir que o requisito de projeto definido é factível.

A partir de uma placa de isopor de 100 x 50 x 3,8 cm, cortou-se uma tira de 4 cm de comprimento. Desse modo, obteve-se uma fatia de 4 x 50 x 3,8 cm, cujo volume é 780 cm³, ou seja, 780 mL.

Essa fatia foi inserida em um triturador alimentar caseiro, apenas a fim de teste. O material triturado foi então despejado em uma jarra graduada. Verificou-se um volume final de aproximadamente 570 mL, o que implica em uma redução de volume de aproximadamente 27%.

A redução de 27% é satisfatória, sobretudo com o fato de o material já chegar ao destino semi-processado, pulando uma etapa do processo de reciclagem, e condizente com as especificações da máquina.