

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Elevador para deficientes físicos

Erik Amigoni Chinellato

Leonidio Buk Junior

Orientador: Marcelo Augusto Leal Alves

São Paulo

2003

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Elevador para deficientes físicos

**Trabalho de formatura
apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do
título de Graduação em
Engenharia**

Erik Amigoni Chinellato

Leonidio Buk Junior

Orientador: Marcelo Augusto Leal Alves

São Paulo

2003

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600010619

FICHA CATALOGRÁFICA

360 g13

Chinellato, Erik Amigoni

Buk, Leonidio Junior

Elevador para deficientes físicos; por E. A. Chinellato e L. Buk Jr. São Paulo : EPUSP, 2003.

32P + anexos.

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

1. Elevador 2. Deficiente Físico I. Chinellato, Erik Amigoni e Buk, Leonidio Junior. II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica III. t.

*Aos meus familiares e amigos,
sem os quais seria impossível
a realização desse trabalho.*

Erik Amigoni Chinellato

*À minha família, por todo seu
apoio, paciência e tolerância.*

Leonidio Buk Junior

RESUMO

Na primeira parte, são apresentados os objetivos do trabalho, bem como a motivação para a sua realização.

Na seção seguinte há uma pesquisa de produtos existentes, onde é possível conhecer os principais tipos de elevadores disponíveis no mercado e também suas principais vantagens e desvantagens.

Após a pesquisa de mercado há uma seção de dimensionamento, em que são mostrados os cálculos dos elementos principais do dispositivo.

Segue-se pela apresentação do modelo 3D, o qual permite a visualização dos subsistemas do elevador e das possíveis interferências entre componentes.

Por fim, em anexo, há desenhos de fabricação, utilizados para guiar a construção do equipamento.

Lista de Símbolos

a: Distância entre o rolete e a extremidade da plataforma.

A_p : Área da seção do parafuso.

b: Distância entre os roletes de um mesmo trilho.

CS: Coeficiente de segurança.

d_m : Diâmetro médio do fuso.

d_{min} : Diâmetro mínimo do eixo.

E: Módulo de elasticidade do material.

F: Peso suspenso.

F_c , F_t , F_p , F_s : Fatores de serviço do acoplamento.

F_p : Força sobre o parafuso.

F_r : Força radial no fuso.

F_{ro} : Força no rolete.

I_b : Momento de inércia da barra do chão da plataforma.

I_p : Metade do passo.

L_1 : Largura da plataforma.

L_e : Comprimento do eixo.

L_f : Comprimento do fuso.

M_{c+p} : Massa estimada da plataforma somada à carga útil.

M_s : Massa da plataforma para cálculos.

M_v : Momento fletor na viga.

P_{cr} : Carga crítica de flambagem.

P_m : Potência do motor.

q : Carregamento.

r_c : Raio da coroa.

r_f : Raio do fuso.

T_f : Torque na bucha.

W : Módulo de resistência da viga.

α : Ângulo do dente.

η : Rendimento da transmissão.

σ_e : Tensão de escoamento.

σ_{max} : Tensão máxima admissível.

σ_p : Tensão no parafuso.

σ_v : Tensão na viga.

μ : Coeficiente de atrito.

Lista de Figuras

Figura 1: Espaço disponível.

Figura 2: Elevador de Trilho Lateral.

Figura 3: Elevador de Trilho Lateral com plataforma.

Figura 4: Elevador com contrapeso.

Figura 5: Mecanismo Pantográfico.

Figura 6: Elevador com cilindro telescópico.

Figura 7: Elevador de Fuso.

Figura 8: Mecanismo de Levantamento.

Figura 9: Viga utilizada.

Figura 10: Circuito de Potência do Elevador.

Figura 11: Circuito de Comando.

Figura 12: Fuso e bucha.

Figura 13: Detalhe da fixação do fuso.

Figura 14: Vista do fuso e dos trilhos laterais.

Figura 15: Rolletes apoiados nos trilhos.

Figura 16: Transmissão e parafusos de sustentação.

Figura 17: Detalhe da transmissão.

Figura 18: Detalhe das chapas de segurança da transmissão.

Figura 19: Vista da plataforma.

Figura 20: Vista isométrica do elevador completo.

Índice

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 3 |
| 2 | Motivação | 4 |
| 3 | Desenvolvimento do Projeto | 5 |
| 3.1 | Definição das Premissas de Projeto | 5 |
| 3.1.1 | Espaço Disponível | 5 |
| 3.1.2 | Baixo Custo | 6 |
| 3.2 | Pesquisa de Legislação Sobre Deficientes Físicos | 6 |
| 3.3 | Pesquisa das Soluções Existentes | 7 |
| 3.3.1 | Elevadores com Trilho Lateral | 8 |
| 3.3.2 | Elevadores com Contrapeso | 9 |
| 3.3.3 | Elevador Hidráulico | 10 |
| 3.3.4 | Elevadores de Fuso | 11 |
| 3.4 | Escolha do Mecanismo | 12 |
| 4 | Cálculos Principais | 14 |
| 4.1 | Dimensões do Fuso | 14 |
| 4.2 | Dimensões da Caçamba | 15 |
| 4.3 | Cálculo do Motor | 15 |
| 4.4 | Cálculo da Flambagem do Fuso | 16 |
| 4.5 | Cálculo do Torque Necessário Para a Movimentação da Bucha | 17 |
| 4.6 | Cálculo da Força Radial | 17 |
| 4.7 | Cálculo do Eixo do Rolete | 18 |
| 4.8 | Dimensionamento da Estrutura | 19 |
| 4.9 | Cálculo da Flecha Máxima no Centro da Caçamba | 21 |
| 4.10 | Seleção dos Rolamentos | 22 |

| | |
|--|-----------|
| 4.11 Cálculo dos Prisioneiros | 23 |
| 4.12 Escolha do Acoplamento | 24 |
| 4.13 Circuitos de Comando e de Potência | 25 |
| 5 Modelo em 3D | 27 |
| 6 Conclusões | 30 |
| 7 Referências | 31 |

1 Introdução

O objetivo do presente trabalho é realizar o projeto de um elevador para usuários de cadeiras de rodas.

Primeiramente, será apresentada uma pesquisa de mercado e de legislação, fundamental para o desenvolvimento do projeto.

Seguirá à pesquisa o projeto propriamente dito, em que serão definidos os principais requisitos de tamanho, forma e funcionamento do elevador.

2 Motivação

Todos conhecem a dificuldade de locomoção que os usuários de cadeiras de rodas enfrentam no seu dia-a-dia, em especial ao subir e descer níveis. Procura-se nesse trabalho projetar um elevador que atenda às normas de segurança e que seja de baixo custo, facilitando o acesso a esse tipo de dispositivo.

O projeto será baseado em uma aplicação específica, apresentada como uma premissa de projeto. O caso que será solucionado é o de um estudante da Escola Politécnica que, após um acidente, passou a necessitar de uma cadeira de rodas para sua locomoção. O elevador projetado aqui será possivelmente instalado na residência dele.

3 Desenvolvimento do Projeto

3.1 Definição das Premissas de Projeto

O primeiro passo para o projeto do elevador é a definição das premissas a serem seguidas durante toda a fase de projeto. Aqui estão apresentadas as principais premissas utilizadas.

3.1.1 Espaço Disponível

Como o projeto envolve a construção de um dispositivo para utilização na residência do estudante, é necessário conhecer o espaço disponível para a acomodação do mesmo. É apresentado a seguir um esboço da residência do estudante:

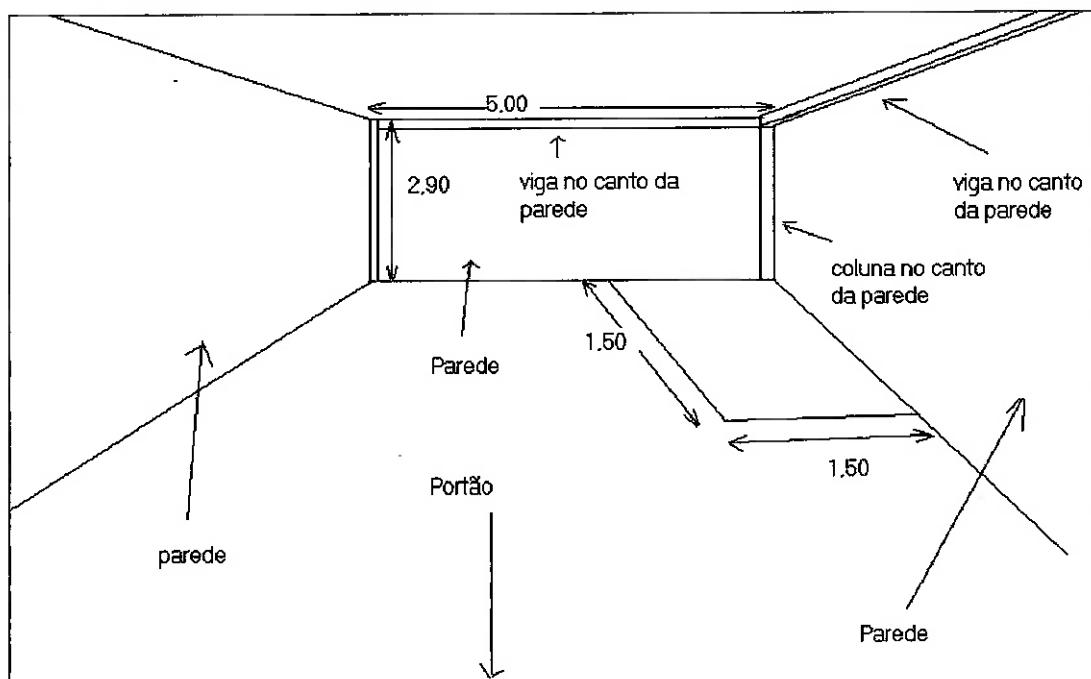


Figura 1: Espaço disponível.

Um fato importante a ser observado é de que há uma laje sobre o espaço, não sendo possível a construção do elevador sem obras civis. Não é mostrado na figura, mas a construção do andar superior não permite que a saída do elevador se dê no mesmo sentido da entrada. Isto significa que o desembarque será feito pelo mesmo lado que o embarque.

Outro fator interessante é que a escada existente próxima ao espaço disponível para a instalação do elevador é demasiadamente estreita, impossibilitando o uso de elevadores para ascensão junto à mesma.

3.1.2 Baixo Custo

Busca-se no trabalho uma solução de baixo custo, entendendo-se por tal a utilização de menos recursos do que aqueles necessários para a compra de um elevador já existente. Faz-se, portanto, necessária uma solução menos onerosa do que as similares de mercado.

3.2 Pesquisa de Legislação Sobre Deficientes Físicos

Há um conjunto de leis e regras que dizem respeito à acessibilidade e à inclusão dos deficientes físicos em nossa sociedade. As leis federais, estaduais e municipais tratam basicamente de edifícios e logradouros de uso público, não se aplicando ao caso aqui desenvolvido. No caso de elevadores residenciais, é mais interessante seguir as normas técnicas da ABNT, das quais serão aqui utilizadas, principalmente, as seguintes:

- ✓ *NBR9050 - Acessibilidade de pessoas portadoras de deficiências a edificações, espaço mobiliário e equipamentos urbanos;*
- ✓ *NBRNM207 - Elevadores elétricos de passageiros - Requisitos de segurança para construção e instalação;*

- ✓ *NBRNM267 - Elevadores hidráulicos de passageiros - Requisitos de segurança para construção e instalação.*

A norma *NBR14712 - Elevadores elétricos - Elevadores de carga, monta-cargas e elevadores de maca - Requisitos de segurança para projeto, fabricação e instalação* e a *NBR13994 - Elevadores de passageiros - Elevadores para transporte de pessoa portadora de deficiência*, também deverão ser utilizadas ao longo do projeto.

Essas normas trazem aspectos interessantes e que devem ser seguidos durante o projeto e a construção do protótipo. Um aspecto muito interessante diz respeito ao degrau máximo que deve ser vencido ao embarcar ou desembarcar do elevador. Este não pode ser maior do que 15 mm. Isso é mais uma premissa a ser utilizada, pois significa a precisão de parada que o elevador deverá possuir.

Além disso, a utilização de cadeira de rodas impõe limites à execução de tarefas, por dificultar a aproximação aos objetos e o alcance a elementos acima e abaixo do raio de ação de uma pessoa sentada. A dificuldade no deslocamento frontal e lateral do tronco sugere a utilização de uma faixa de conforto entre 0,80m e 1,00 m para as atividades que exijam manipulação contínua. Para atividades pontuais que não exijam o uso de força ou de coordenação motora fina, limita-se a altura em no máximo 1,35 m, mas recomenda-se não ultrapassar 1,20 m. As dimensões citadas valem como parâmetros para atividades realizadas dentro da faixa de alcance dos braços (0,62 m). Para a transposição em linha reta de portas e obstáculos fixos, faz-se necessária uma largura mínima de 0,80 m.

3.3 Pesquisa das Soluções Existentes

Ao se desenvolver qualquer trabalho, é importante conhecer as soluções existentes para o problema apresentado. Deve-se, portanto, fazer uma pesquisa dessas soluções para que se possa ter a base de dados necessária para o desenvolvimento do projeto.

Para a conclusão da pesquisa foram contatadas várias empresas do ramo de elevadores para cadeiras de rodas, sendo que as soluções encontradas são apresentadas a seguir.

3.3.1 Elevadores com Trilho Lateral

Apesar da impossibilidade de instalação desse tipo de elevador no caso desse projeto, aqui está apresentado um elevador desse tipo. Pode-se perceber que é necessário um espaço na escada maior do que o que seria utilizado apenas por pessoas sem deficiência.

As principais vantagens desse tipo de equipamento são a falta de obras civis e o conforto para o usuário. No caso da figura, um problema que pode ser observado é a necessidade de transferência da cadeira de rodas para a cadeira do elevador. Isso é um inconveniente que pode ser resolvido utilizando-se, ao invés da cadeira, um suporte para prender a própria cadeira de rodas. Mas isso apresenta um novo inconveniente: é necessário ainda mais espaço para a operação do dispositivo. Por esse motivo é que tal solução foi previamente descartada.

Outra desvantagem desse tipo de elevador é o seu custo elevado em relação às outras soluções.



Figura 2: Elevador de Trilho Lateral.



Figura 3: Elevador de Trilho Lateral com plataforma.

3.3.2 Elevadores com Contrapeso

Os elevadores com contrapeso são os mais comuns para o transporte de passageiros em geral. Os elevadores de edifícios são, quase que em sua totalidade, desse tipo. O princípio básico é o de polias, sendo que podem ser utilizados tanto cabos de aço quanto correntes para a transmissão de potência.

A principal vantagem desse tipo de elevador é a sua simplicidade, assim como seu baixo custo. Um grande inconveniente é o espaço necessário para a construção da casa de máquinas, que deve se localizar na parte superior da construção. Além disso, esse tipo de elevador demanda manutenções constantes.

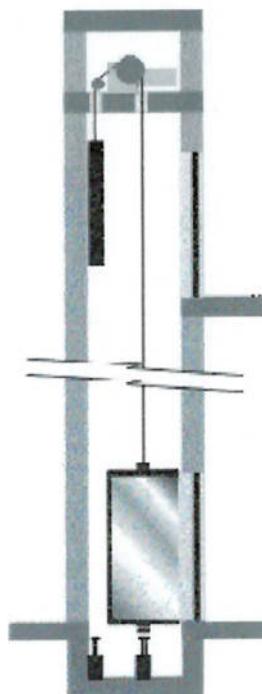


Figura 4: Elevador com contrapeso.

3.3.3 Elevador Hidráulico

O mecanismo de levantamento desse elevador é e de pistões hidráulicos. Existe a possibilidade de uma instalação pantográfica, ou o uso de pistões telescópicos.

Como vantagens desse mecanismo podem ser apresentados sua estabilidade de funcionamento e seu custo não muito elevado. As desvantagens principais são a necessidade de grandes obras civis e a sua manutenção mais complicada frente aos outros mecanismos.



Figura 5: Mecanismo Pantográfico.



Figura 6: Elevador com cilindro telescópico.

3.3.4 Elevadores de Fuso

O princípio de funcionamento desse tipo de elevador se assemelha ao de um parafuso. À medida que uma luva gira em torno do fuso, o elevador sobe ou desce.

Esse dispositivo apresenta vantagens como seu autotratamento e sua fácil manutenção. Como desvantagens, aparecem o seu custo um pouco maior em relação aos demais, devido ao fuso, e o ruído causado durante o seu funcionamento.



Figura 7: Elevador de Fuso.

3.4 Escolha do Mecanismo

A escolha do mecanismo a ser utilizado ocorreu mediante a construção de uma Matriz de Decisão. Tal matriz é apresentada a seguir:

| | | Hidráulico | | Contrapeso | | Fuso | |
|-------------------|-------------|-------------------|--------------|-------------------|--------------|-------------|--------------|
| Atributo | Peso | Nota | Total | Nota | Total | Nota | Total |
| Segurança | 3,0 | 3 | 9,0 | 1 | 3,0 | 5 | 15 |
| Custo | 2,7 | 3 | 8,1 | 5 | 13,5 | 3 | 8,1 |
| Manutenção | 2,3 | 1 | 2,3 | 3 | 6,0 | 5 | 11,5 |
| Instalação | 2,0 | 5 | 10,0 | 3 | 6,9 | 5 | 10,0 |
| Total | 10,0 | | 30,6 | | 29,4 | | 44,6 |

Tabela 1: Matriz de Decisão

Os atributos são:

- ✓ Segurança – Mede o grau de segurança de cada dispositivo. Está ligado com a possibilidade de falhas e os efeitos que esta falha teria.
- ✓ Custo – Custo de fabricação de cada tipo de dispositivo.
- ✓ Manutenção – Envolve períodos de manutenção e custos da mesma.
- ✓ Instalação – Quantifica o grau de modificações que terão que ser feitas para que o elevador possa ser instalado, bem como o grau de complexidade da instalação.

Com base nas informações obtidas através da matriz de decisão foi escolhido o mecanismo de fuso para o uso no elevador a ser projetado.

4 Cálculos Principais

O mecanismo a ser desenvolvido é o de fuso. Um mecanismo similar ao utilizado é apresentado a seguir:



Figura 8: Mecanismo de Levantamento.

Nessa seção são apresentados os principais cálculos usados no dimensionamento da estrutura e de seus componentes.

4.1 Dimensões do Fuso

As dimensões do fuso são baseadas em catálogos e devem ser as seguintes:

Passo: 10 mm.

Comprimento: 4 m.

Diâmetro interno da rosca: 40 mm.

Diâmetro externo da rosca: 50 mm.

4.2 Dimensões da Caçamba

A caçamba deve ter um espaço útil de 1,20 m x 0,80 m e sua parte superior fica a 0,80 m da base.

4.3 Cálculo do Motor

Primeiramente deve-se dimensionar a potência requerida para o levantamento e, através dela, selecionar o motor. O cálculo da potência requerida deve levar em consideração a massa a ser levantada, a velocidade de subida e o passo do fuso. O passo escolhido para o fuso do elevador foi de 10 mm.

A massa estimada para o conjunto cadeira + plataforma foi de 350 kg. Usando um coeficiente de segurança igual a 1,8, obtém-se a massa a ser utilizada nos cálculos:

$$M_s = M_{c+p} \cdot CS$$

Sendo:

M_s : Massa para cálculos

M_{c+p} : Massa do conjunto

CS: Coeficiente de segurança

Portanto:

$$M_s = 630 \text{ kg.}$$

O valor escolhido para a velocidade foi de 6m/min, de acordo com a norma, pois a velocidade máxima para elevadores de cadeira

de rodas é de 10 m/min. Além disso, esse é um valor já utilizado, pois proporciona uma sensação de segurança sem que haja uma subida muito demorada. Pode-se, assim, calcular a potência requerida para o levantamento:

$$P_m = \frac{F \cdot V_s}{\eta_t}, \text{ onde:}$$

P_m : Potência requerida

F : Peso suspenso

η_t : Rendimento da transmissão

Usando o valor de rendimento de 40% obtém-se $P_m = 1543$ W. Nesse caso, escolheu-se um motor de 3 hp (2,2 kW).

Para se atingir uma velocidade de 6 m/min, utilizou-se uma redução de 6 vezes (sem-fim) junto a um motor trifásico de um par de pólos.

4.4 Cálculo da Flambagem do Fuso

O comprimento do fuso é de 4 m, dado o desnível a ser vencido e o espaço necessário para a movimentação do mecanismo. Por se tratar de uma questão de segurança, optou-se pela utilização do caso mais crítico, ou seja, de uma coluna bi-apoiada. Para o caso de seção circular, a força crítica de flambagem é dada por:

$$P_{cr} = \frac{\pi^3 \cdot E \cdot r_f^4}{4 \cdot L_f^2}$$

Onde:

P_{cr} : Força crítica de flambagem.

E : Módulo de elasticidade do material (aço: 200 GPa)

r_f : Raio da seção circular.

L_f : Comprimento da coluna.

Utilizando-se o diâmetro interno da rosca, obtém-se um valor de $P_{cr} = 15,5$ kN, ou 1582 kg, muito maior que a carga de 630 kg. Portanto, o fuso não irá flambar.

4.5 Cálculo do Torque Necessário Para a Movimentação da Bucha

O torque necessário para a subida é dado por:

$$T_f = \frac{F \cdot d_m}{2} \left(\frac{l_p + \mu \cdot \pi \cdot d_m \cdot \sec \alpha}{\pi \cdot d_m - \mu \cdot l_p \cdot \sec \alpha} \right)$$

Onde:

T_f : Torque necessário.

F : Carga a ser levantada.

d_m : Diâmetro médio.

μ : Coeficiente de atrito.

l_p : Meio passo.

α : Ângulo do dente.

Da fórmula obtém-se o valor de 19,4 N.m. Esse valor será utilizado para o cálculo da força radial resultante da transmissão sem-fim.

4.6 Cálculo da Força Radial

A força radial é a força que causa o torque no fuso e que deverá ser suportada por mancais. Ela é transmitida do parafuso sem-fim à coroa ligada à bucha do fuso. Essa força é dada por:

$$F_r = \frac{T_f}{r_c}$$

Sendo:

T_f : Torque necessário

r_c : Raio da coroa.

O valor obtido para F_r é de 242 N, ou 24,7 kgf.

4.7 Cálculo do Eixo do Rolete

Para o cálculo do eixo é necessário calcular a força atuante em cada rolete. Para tanto, foi utilizado o caso mais crítico possível, ou seja, o caso em que toda a carga suspensa se concentra na região mais externa da caçamba.

A força no rolete é:

$$F_{ro} = \frac{F \cdot a}{2 \cdot b}$$

Sendo que:

F_{ro} : Força no rolete.

F : Peso da plataforma.

a : Distância entre o rolete e a extremidade da plataforma.

b : Distância entre centro dos roletes (vertical).

No rolete, a força atuante é de 4321 N. Cada rolete é fixado por meio de dois rolamentos, que terão que suportar metade dessa

força, ou seja, 2160 N. Considerando que a tensão ocasionada pelo momento é muito maior do que a tensão de cisalhamento, pode-se escrever a fórmula:

$$\sigma = \frac{32 \cdot F \cdot l}{\pi \cdot d^3} \Rightarrow d_{\min}^3 = \frac{32 \cdot F_{ro} \cdot l_e}{\pi \cdot \sigma_{\max}}$$

Onde:

d_{\min} : Diâmetro mínimo do eixo.

F_{ro} : Força cortante.

l_e : Local de aplicação da força (62 mm).

σ_{\max} : Tensão de escoamento (σ_e do aço 1020: 210 MPa).

Para esses valores: $d_{\min} = 23,5$ mm. Para o projeto foi utilizado o valor de 26,2 mm.

4.8 Dimensionamento da Estrutura

A estrutura deve suportar esforços de flexão. Optou-se pela utilização de um perfil H no projeto, pois, além da função estrutural, este servirá também como guia para a plataforma elevatória. O perfil selecionado foi o 102 x 19 (SI), que possui as seguintes dimensões:

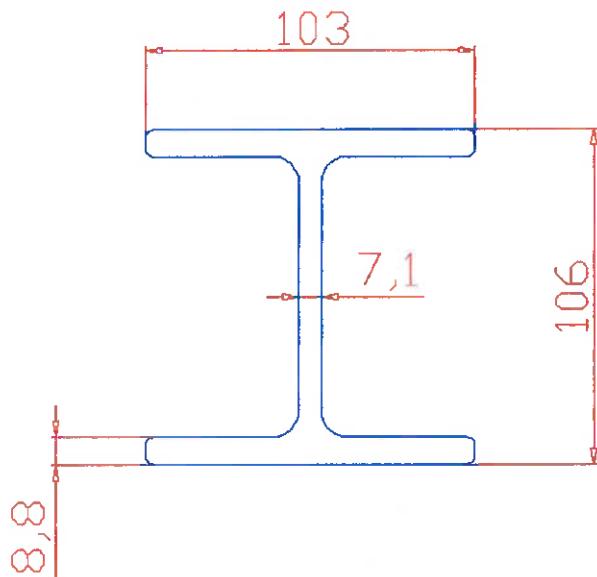


Figura 9: Viga utilizada.

O módulo de resistência relativo ao eixo no qual ocorrerá a flexão é:

$$W = 31100 \text{ mm}^3$$

A plataforma elevatória tem dimensões 0,80 m x 1,20 m. Considerando a massa suspensa igual a 630 kg, o momento fletor máximo transferido a cada viga, se considerada toda a massa concentrada no ponto mais externo da plataforma, será dado por:

$$M_v = \frac{F \cdot a}{2}, \text{ onde:}$$

M_v : Momento fletor.

F : Peso suspenso.

a : Distância entre o rolete e a extremidade da plataforma.

Assim:

$$M_v = 4600 \text{ Nm}$$

A tensão na viga será dada por:

$$\sigma_v = \frac{M_v}{W}$$

E será igual a :

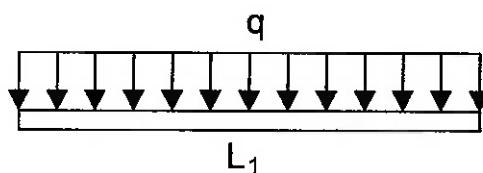
$$\sigma_v = 147,9 \text{ MPa}$$

Este valor é muito menor que a tensão de escoamento do aço ABNT1020, sendo perfeitamente aceitável já que o valor da massa utilizada nos cálculos acima já contempla um coeficiente de segurança de 1,8.

4.9 Cálculo da Flecha Máxima no Centro da Caçamba

Para não causar uma sensação desagradável durante a operação, foi calculada a flecha máxima devida à carga suspensa. Minimizando tal flecha, transmite-se uma sensação de robustez do equipamento.

No cálculo da flecha máxima foi utilizada a hipótese de que a chapa não é um elemento estrutural significativo, ou seja, toda a carga aplicada é distribuída ao longo da barra central da plataforma. O modelo utilizado foi o seguinte:



A fórmula da flecha para esse caso é:

$$\text{Max } y = \frac{-5 \cdot q \cdot L_1^4}{384 \cdot E \cdot I_b}$$

Onde:

q: Carga distribuída.

L₁: Comprimento da barra.

I_b: Momento de inércia do perfil da barra.

E: Módulo de elasticidade (aço 1020 – E = 200 GPa).

A flecha máxima calculada foi de 4 mm, quase imperceptível para quem anda no elevador. Esse valor não deve ser considerado grande, uma vez que nos cálculos foi negligenciada a parcela de rigidez devida à chapa de metal e às barras diagonais.

4.10 Seleção dos Rolamentos

São utilizados três tipos de rolamento no projeto: rolamentos axiais que transferem a carga da bucha à estrutura, rolamentos radiais sobre os quais são montados os roletes e mancais de rolamento, utilizados no eixo do sem-fim.

Para os rolamentos da bucha, os parâmetros de esforço são:

Força radial: 242 N.

Força axial: 6174 N.

Os rolamentos escolhidos são axiais de rolos cônicos autocompensadores, especificação 29414H. Esses rolamentos permitem que haja uma pequena excentricidade entre os dois rolamentos. As cargas suportadas por esse rolamento são de 450

kN, para carga axial e de 247 kN de carga radial, muito maiores do que as cargas a que eles estão submetidos.

Para o rolamento dos roletes, o parâmetro principal é de carga radial, uma vez que a carga axial será muito pequena. Essa carga radial é de 2160 N. Para esse caso, os rolamentos radiais de uma carreira de esferas são suficientes. Os escolhidos foram os da série 6804, que possuem uma capacidade de carga radial de 2470N e uma tolerância de até 30% desse valor para cargas axiais.

No caso do eixo do sem-fim, foram escolhidas duas unidades de rolamento tipo base, UCP305, com capacidade de carga de 11200N.

4.11 Cálculo dos Prisioneiros

Os rolamentos axiais de rolos cônicos autocompensadores exigem a aplicação de uma pré-carga no valor de 1600N, de modo a garantir seu correto assentamento. Para tanto, utilizou-se três prisioneiros que fixam a base do motor à tampa da caixa do redutor.

Como tais parafusos não sofrem uma pré-carga muito grande, comparada aos esforços durante o levantamento, sendo fundamentalmente elementos estruturais, o cálculo do seu diâmetro foi feito considerando-os como eixos. Assim, a carga sofrida é essencialmente de tração. A tensão no parafuso é:

$$\sigma_p = \frac{F_a}{A_p}$$

Sendo:

F_a : Força aplicada no parafuso.

A_p : Área da seção do parafuso.

Para os parafusos utilizados, o raio é de 7 mm, resultando em uma tensão de 18,2 MPa, muito menor que a tensão de escoamento do aço.

4.12 Escolha do Acoplamento

O acoplamento foi escolhido com base no catálogo da Mademil.

O primeiro passo é a determinação dos fatores de serviço (F_s , F_t e F_p). Para o caso de elevador de passageiros $F_s = 2$. Como o elevador deve ter um serviço leve (menos de 2 h por dia), o fator F_t é de 0,9. Para poucas partidas por hora, o fator F_p é 1,0. Obtém-se assim, o fator de serviço a ser utilizado no projeto:

$$F_c = F_s \cdot F_t \cdot F_p$$

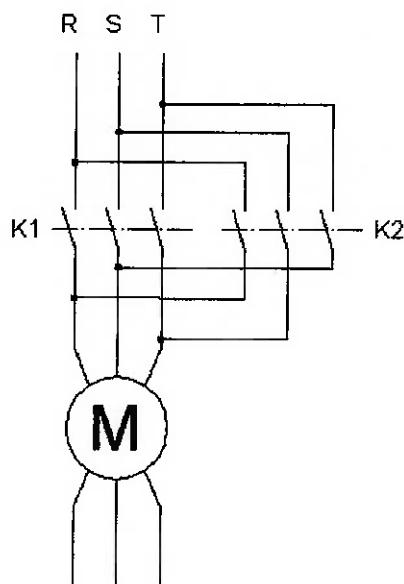
O valor de F_c é 1,8.

Partindo para a tabela de potência x F_c , fornecida no catálogo, foi possível escolher o acoplamento FML67, que possui as características necessárias para esse caso.

4.13 Circuitos de Comando e de Potência

O sistema elétrico do equipamento está dividido em dois circuitos: um de potência e outro de comando, ilustrados abaixo.

Figura 10: Circuito de Potência do Elevador.



O circuito de potência caracteriza-se por um circuito trifásico, chaveado através dos contatos principais de dois contatores K1 e K2. Quando sua bobina é energizada, o contator K1 fecha os seus contatos principais, alimentando o motor que faz a plataforma subir. O contator K2 tem funcionamento similar, porém, como inverte as fases S e T, faz o motor girar em sentido contrário, implicando na descida da plataforma.

Já no circuito de comando encontramos os contatores, os switches e os botões de emergência e de movimentação do elevador. Acionamos a chave S1 para movimentar a plataforma para cima. De maneira similar, a chave S2 representa o botão aciona a descida da plataforma. Há na plataforma uma chave de emergência, que interrompe o movimento independentemente do sentido que este possua, e uma campainha que permite ao deficiente a sinalização de que algum problema ocorreu.

Os contatos auxiliares de K1 e K2 evitam a ocorrência de um curto-circuito (normalmente fechados), além de terem a função de selo (normalmente abertos), permitindo o movimento do elevador com apenas um toque.

As chaves A1 e A2 correspondem aos switches de posição localizados no andar inferior e superior, respectivamente. Os normalmente fechados têm a função de desligar o motor quando a plataforma alcança a posição desejada. Os normalmente abertos liberam a trava da porta referente ao andar em que a plataforma se encontra. Dessa maneira, evita-se a abertura da porta do andar superior caso a plataforma não esteja nessa posição, reduzindo a possibilidade da ocorrência de acidentes.

Por fim, P1 e P2 correspondem aos sensores localizados nas portas. Caso essas não se encontrem devidamente fechadas, o elevador não se movimentará. O mesmo efeito terá se A cancela de segurança não estiver posicionada corretamente.

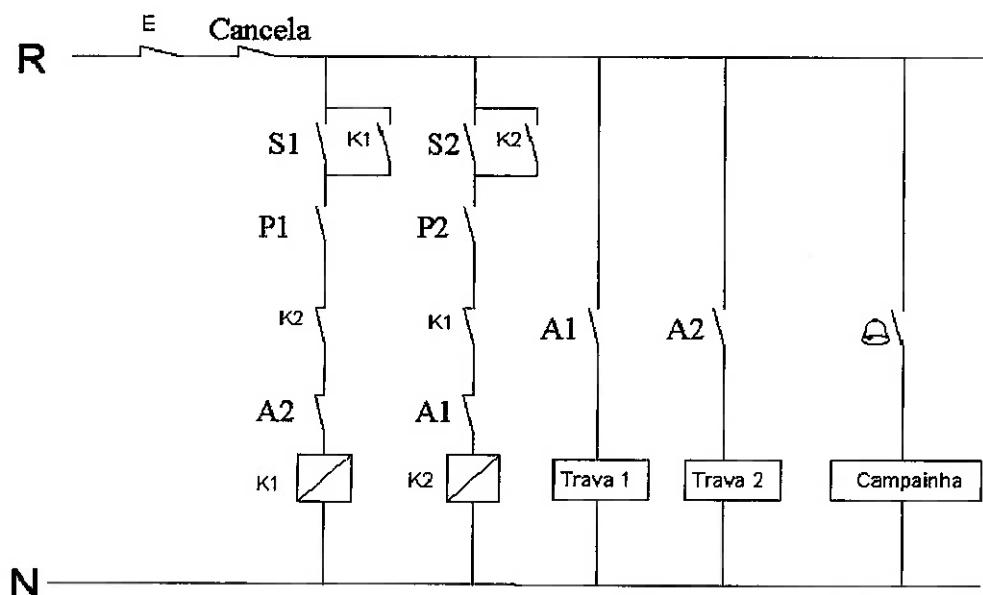


Figura 11: Circuito de Comando.

5 Modelo em 3D

Para a melhor visualização das possíveis interferências e obtenção de um detalhamento satisfatório, foi desenvolvido um modelo em um software de CAD em 3D, o SolidWorks 2001. Essa é uma ferramenta muito poderosa e auxilia bastante durante o projeto, além de permitir prever uma boa parte do funcionamento do dispositivo sem a construção de um protótipo.

A seguir são apresentadas algumas figuras do modelo que foi criado.



Figura 12: Fuso e bucha.



Figura 13: Detalhe da fixação do fuso.

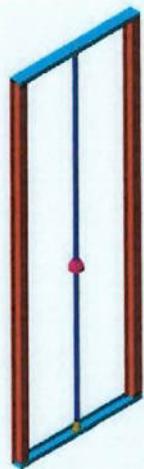


Figura 14: Vista do fuso e dos trilhos laterais.

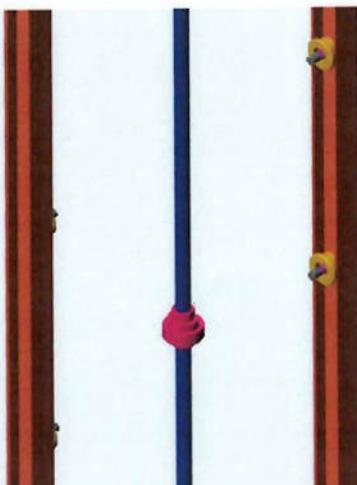


Figura 15: Roletes apoiados nos trilhos.

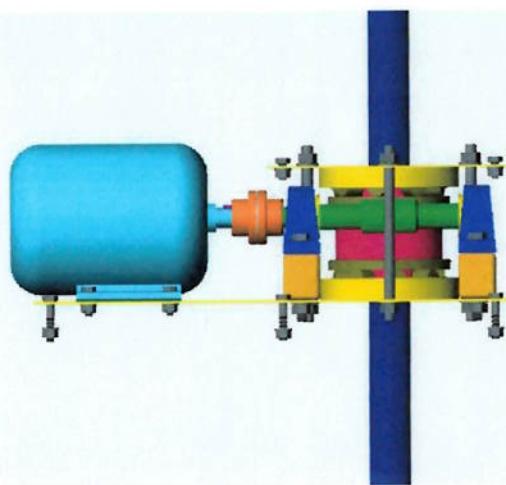


Figura 16: Transmissão e parafusos de sustentação.

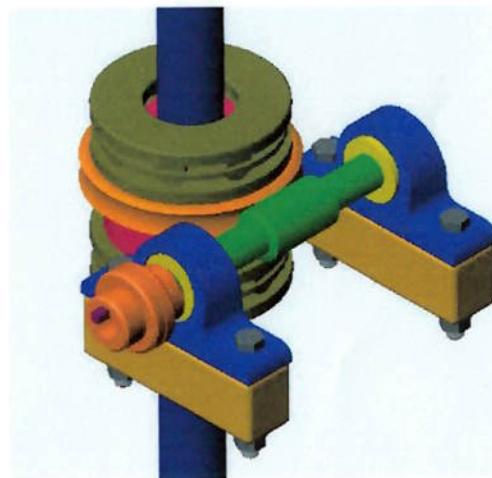


Figura 17: Detalhe da transmissão.

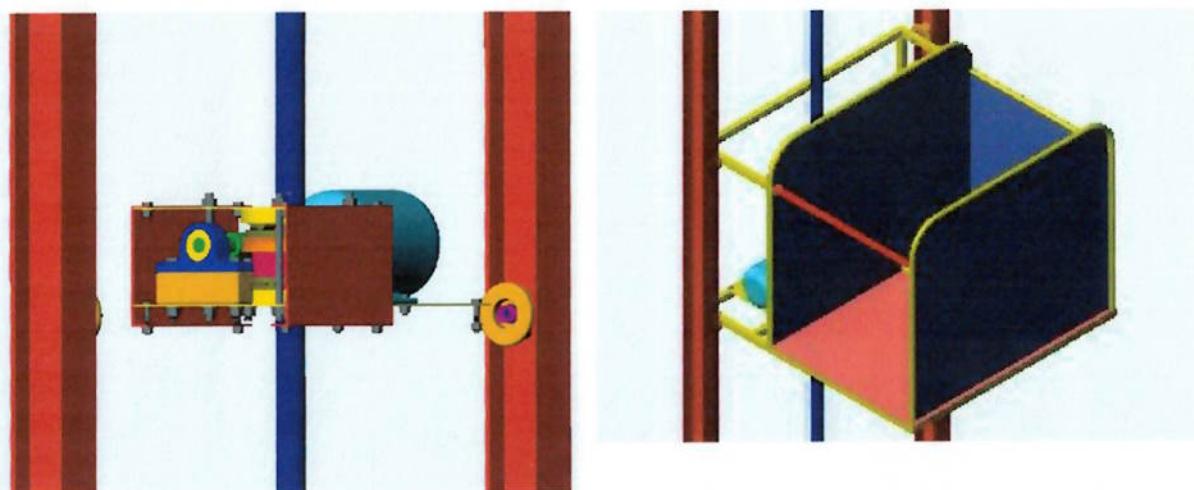


Figura 18: Detalhe das chapas de segurança da transmissão.

Figura 19: Vista da plataforma.

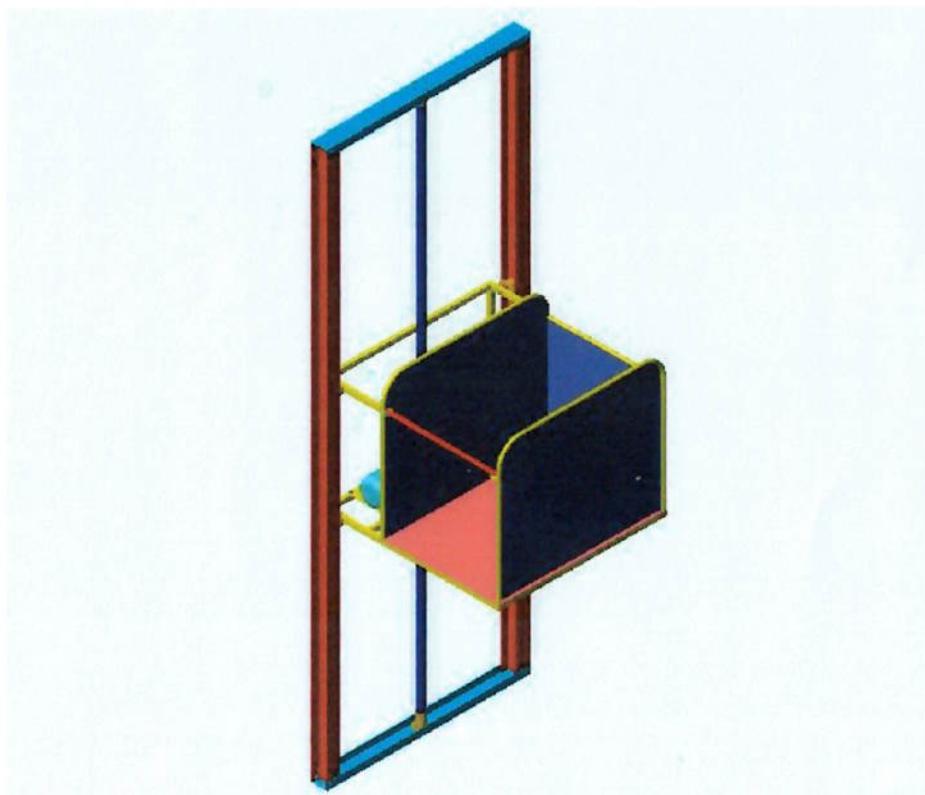


Figura 20: Vista isométrica do elevador completo.

6 Conclusões

A maior dificuldade do projeto foi encontrar o fuso adequado para essa aplicação a um valor acessível. Foi cogitado o uso de fusos de esferas recirculantes, mas isso provou ser inviável devido ao alto custo desse componente.

A segurança do equipamento foi garantida pelo uso de alguns mecanismos redundantes, como o fuso trapezoidal junto a uma transmissão por sem-fim-coroa, ambos proporcionando o efeito de autotratamento e dispensando o uso de freios, além do uso das chapas de fechamento da caixa de transmissão, como auxílio aos prisioneiros.

Observa-se, também, que o software 3D provou ser uma ferramenta muito interessante, e seu uso foi de grande ajuda durante todo o projeto.

7 Referências

Normas e legislação:

[1] - www.cecae.usp.br/usplegal/

[2] - www.abnt.org.br

Fabricantes de elevadores para deficientes:

[3] - www.ortobras.com.br

[4] - www.montele.com.br

[5] - www.homelift.com.br

[6] - www.surimex.com.br

[7] - www.teclev.com.br

Fabricante de fusos e máquinas de levantamento:

[8] - www.egroj.com.br

Perfis de aço laminados, trefilados e soldados:

[9] - www.dnaco.com.br

Referências para cálculos:

[10] - Catálogo de motores elétricos – Eberle.

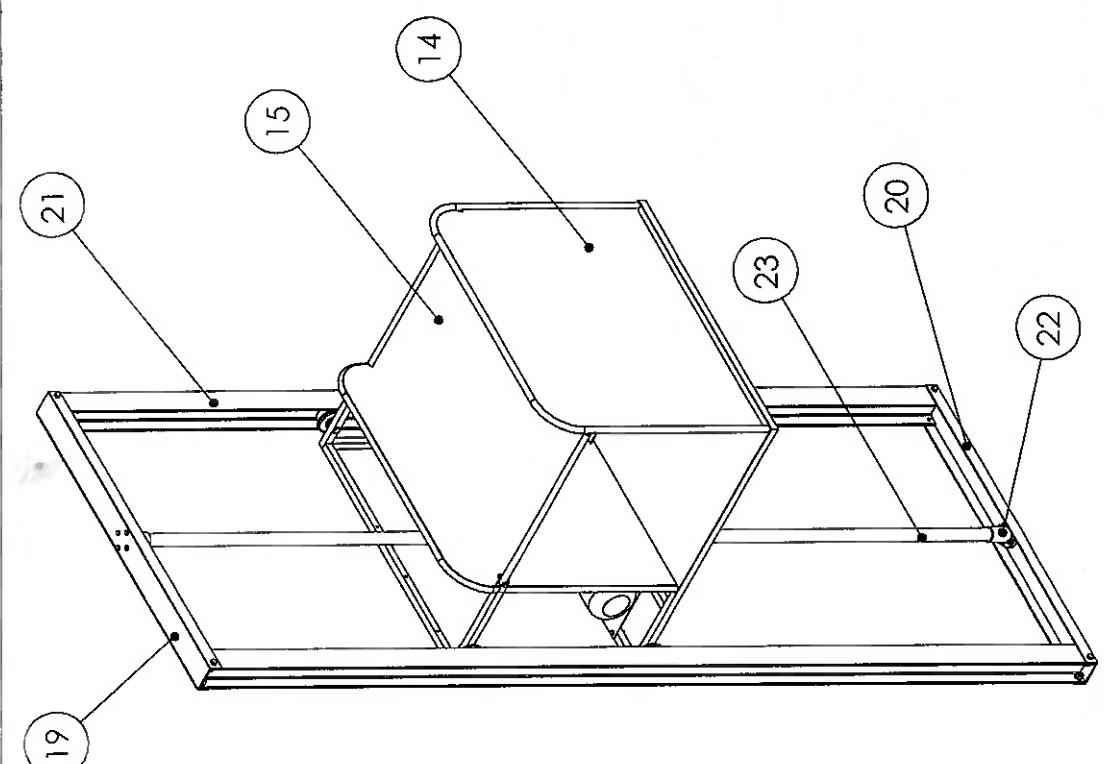
[11] – Shigley, J. E.; Mischke, C. R.; Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill, Fifth edition.

[12] – Beer, F. P.; Resistência dos Materiais, Makron Books, 3^a edição.

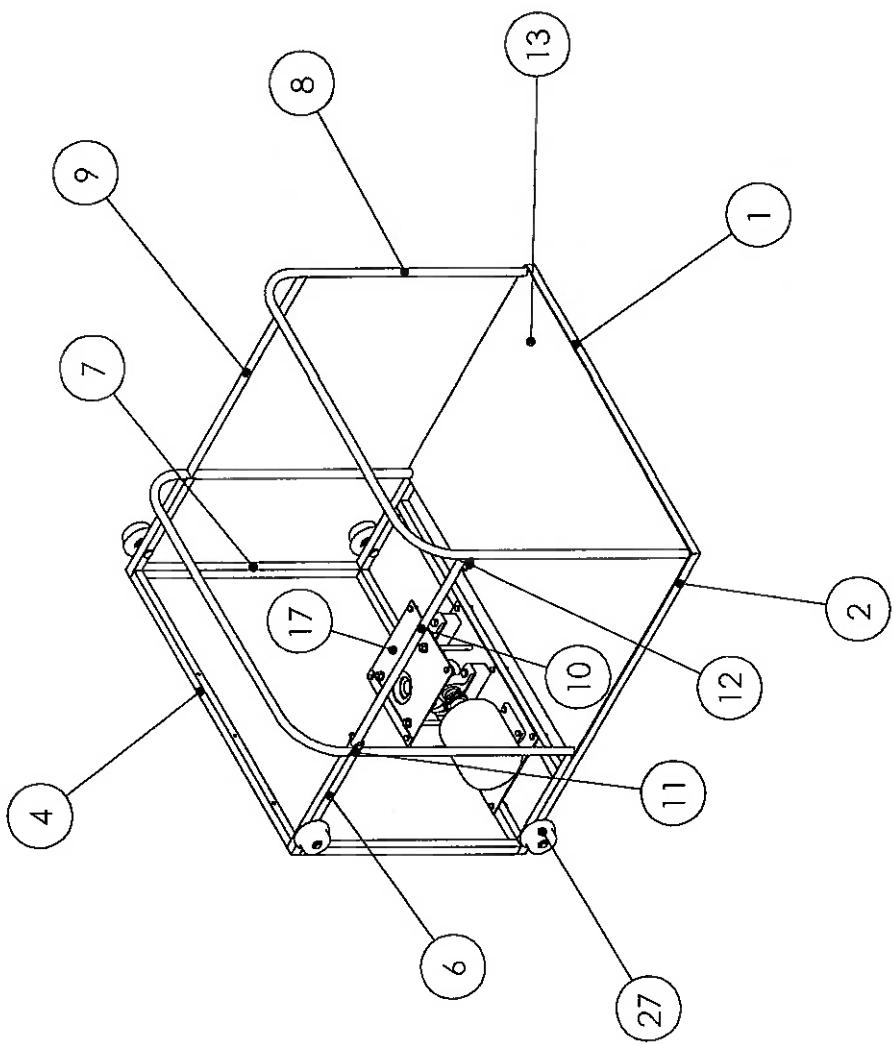
[13] – Catálogo de Rolamentos – NSK.

[14] – Catálogo de Acoplamentos – Mademil.

Anexos



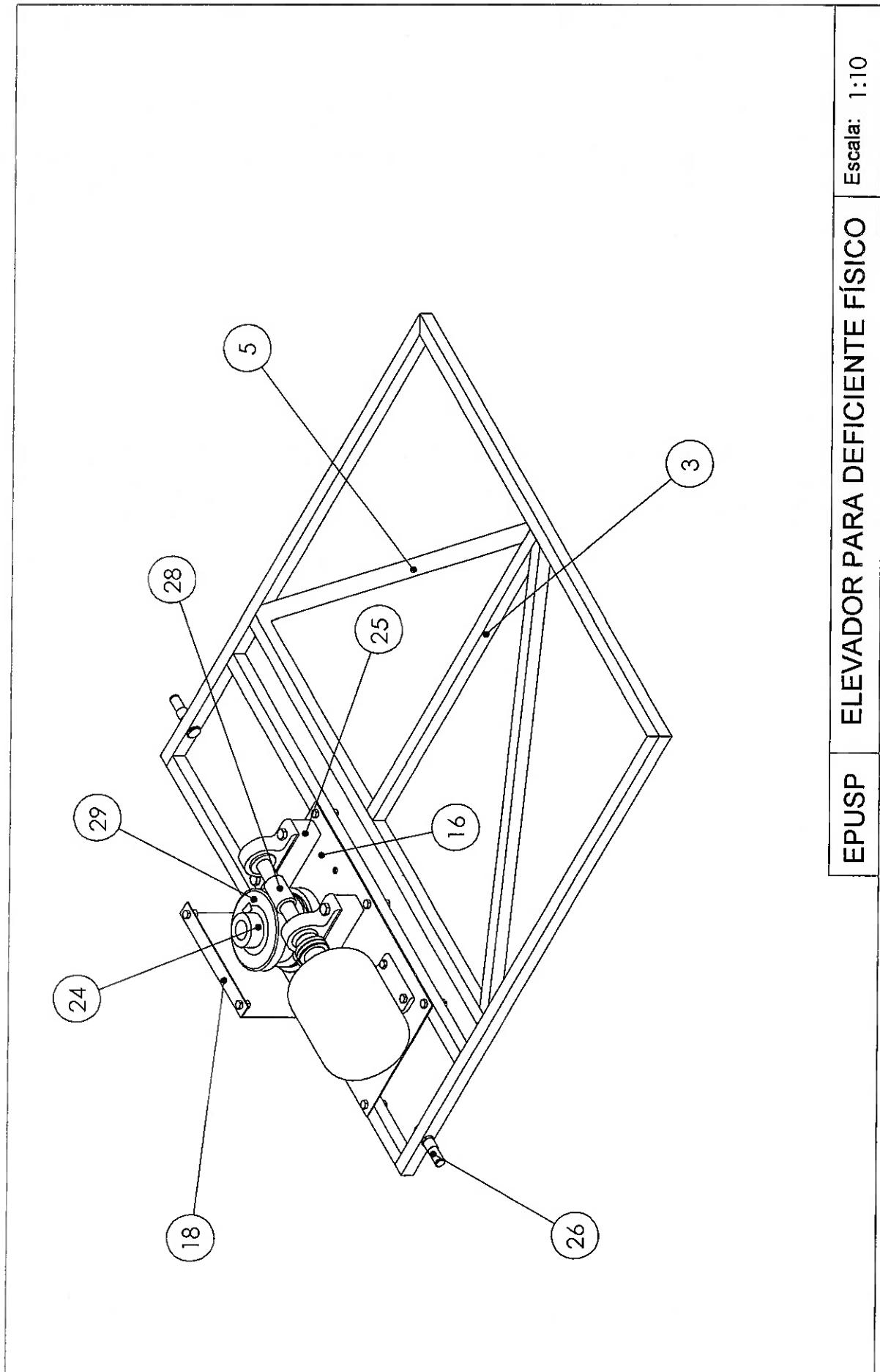
EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | Escala: 1:25



EPUSP

ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO

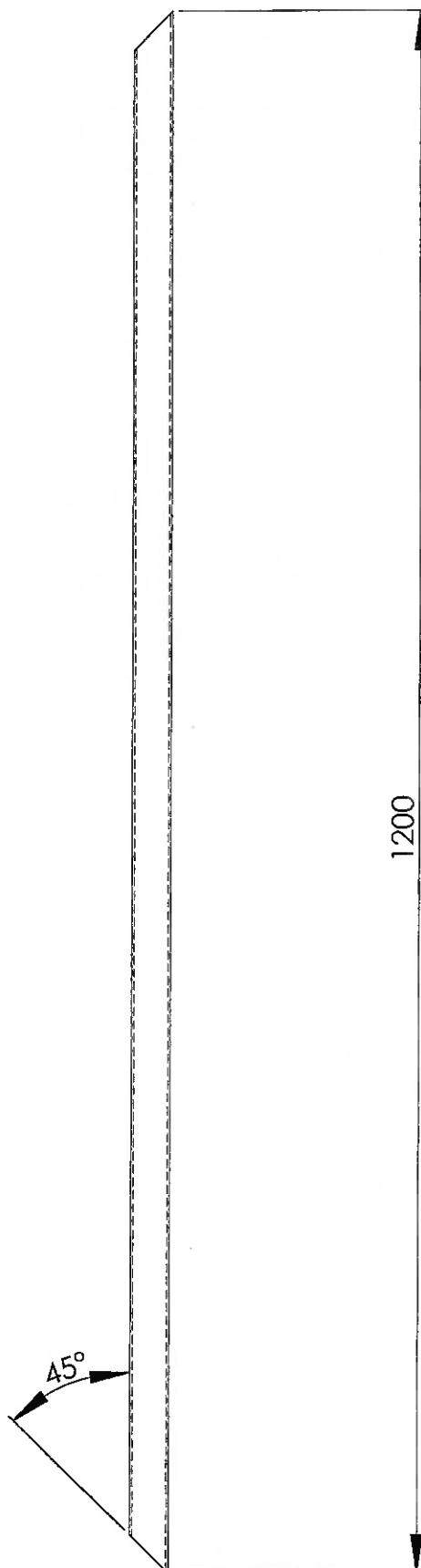
Escala: 1:20



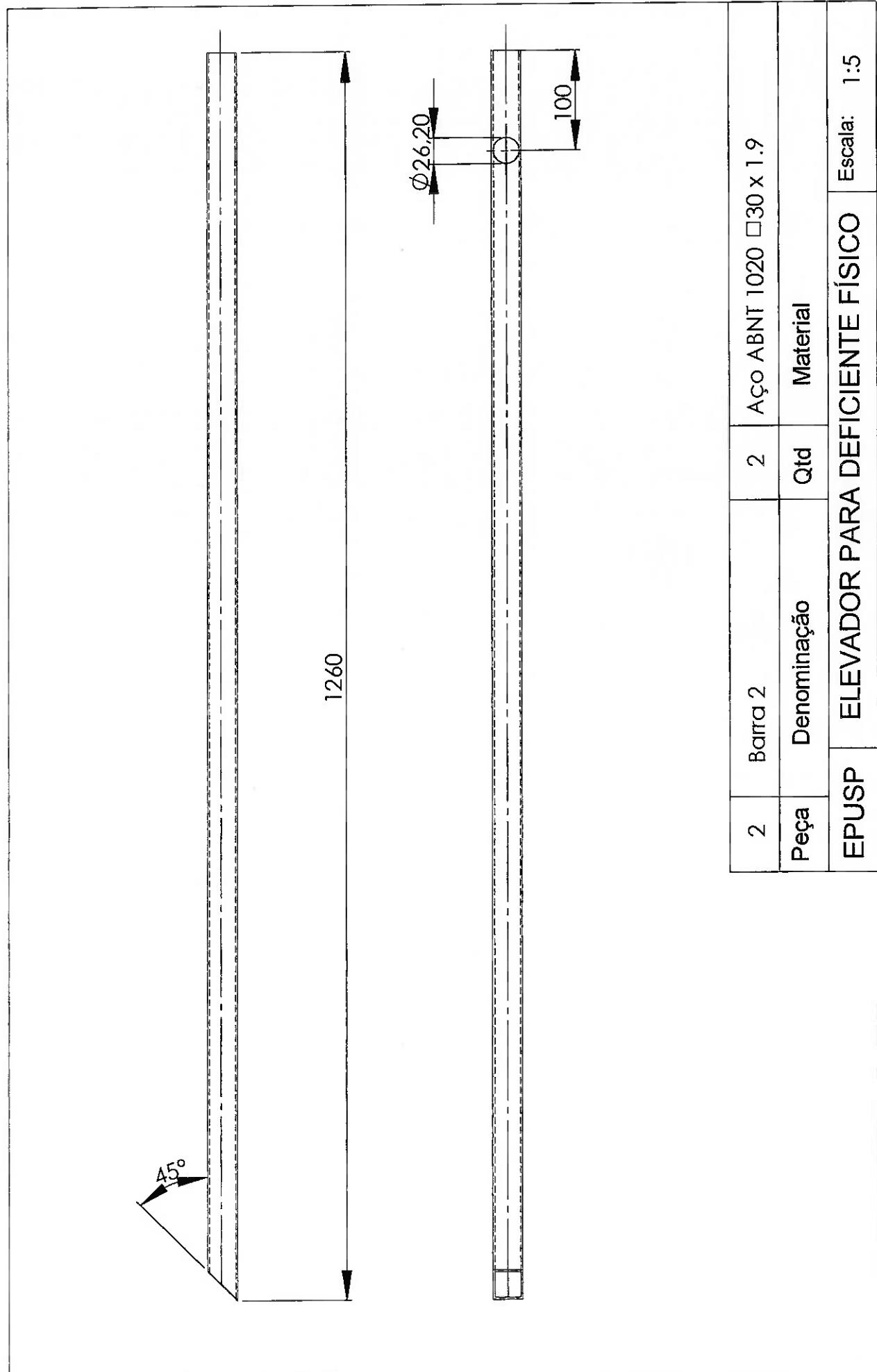
EPUSP

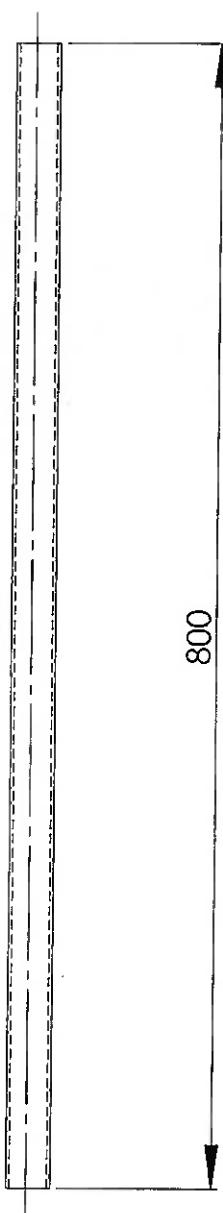
ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO

Escala: 1:10

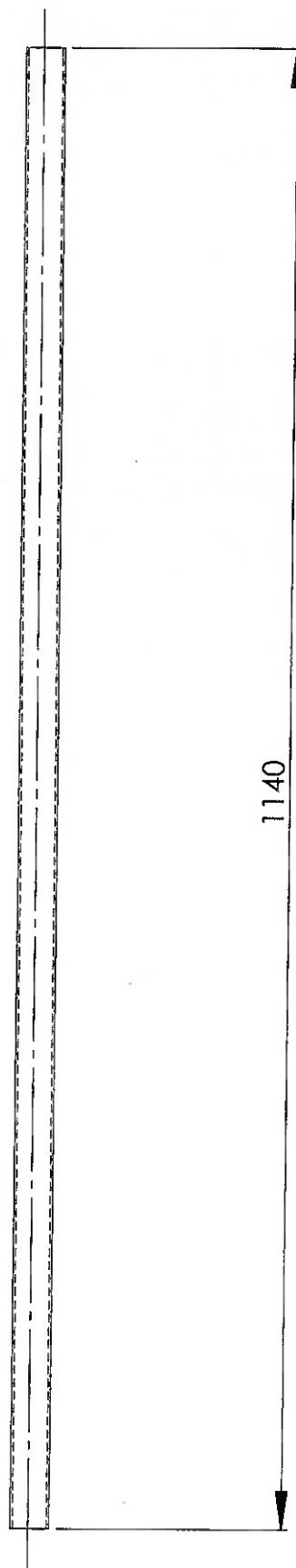


| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|-------------------------|
| 1 | Barra 1 | 1 | Aço ABNT 1020 □30 x 1.9 |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | Escala: 1:5 | | |

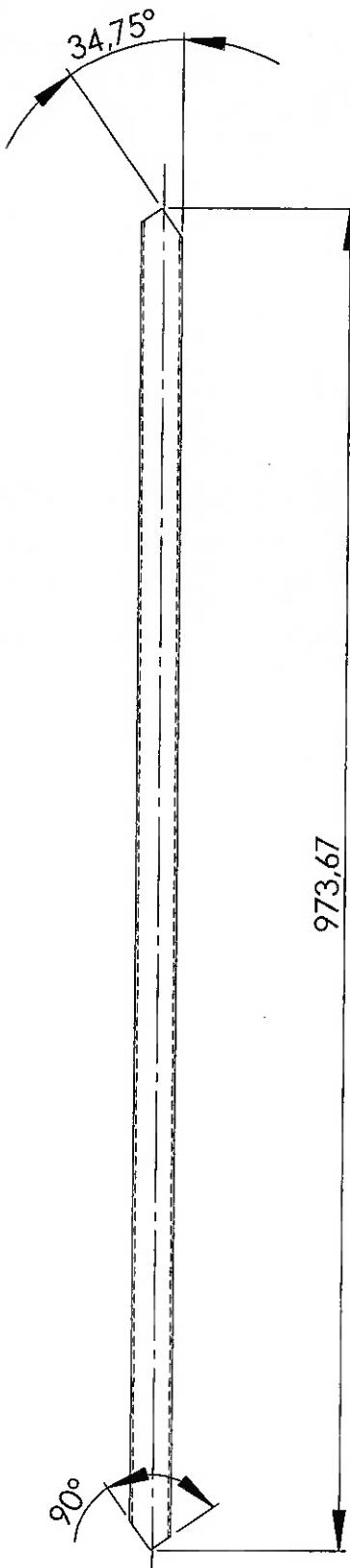




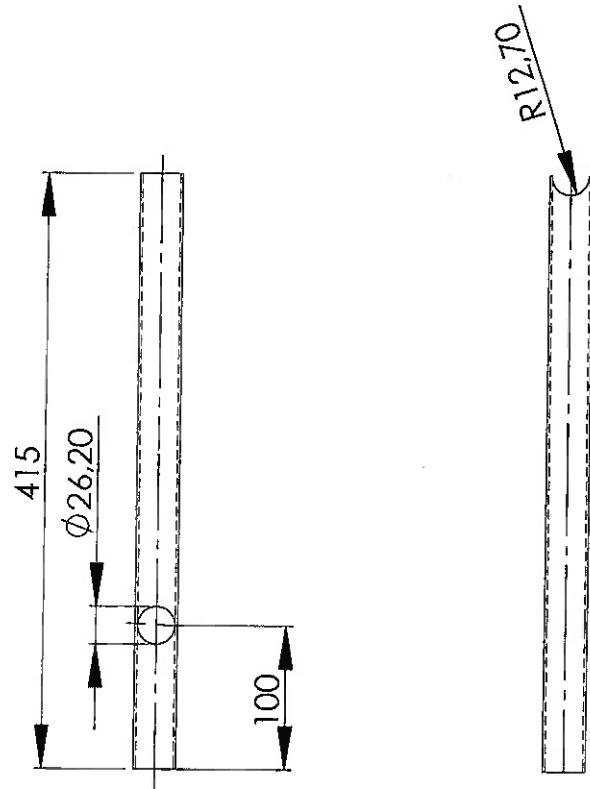
| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|-------------------------|
| 3 | Barra 3 | 1 | Aço ABNT 1020 □30 x 1.9 |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | Escala: 1:5 | | |



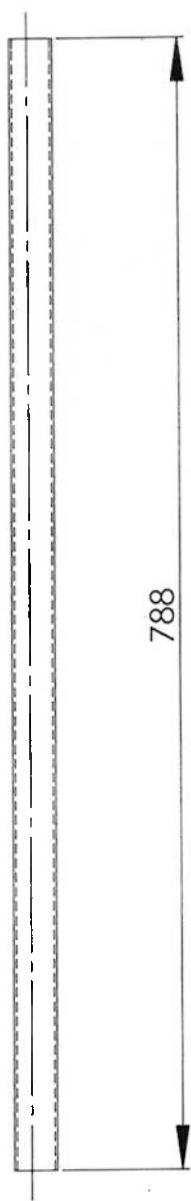
| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|-------------------------|
| 4 | Barra 4 | 4 | Aço ABNT 1020 □30 x 1.9 |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | | | Escala: 1:5 |



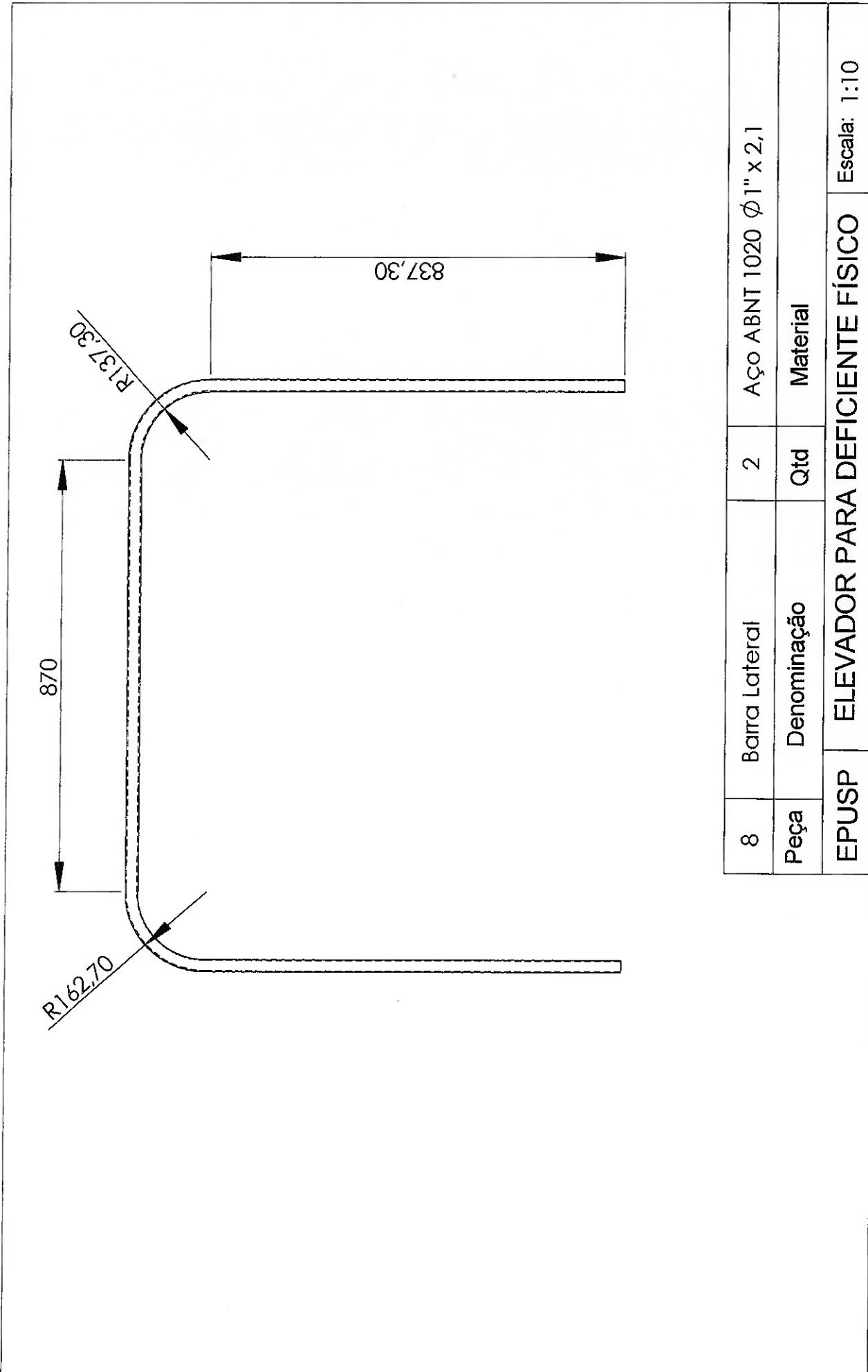
| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|-------------------------|
| 5 | Barra 5 | 2 | Aço ABNT 1020 □30 x 1,9 |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | | | Escala: 1:5 |

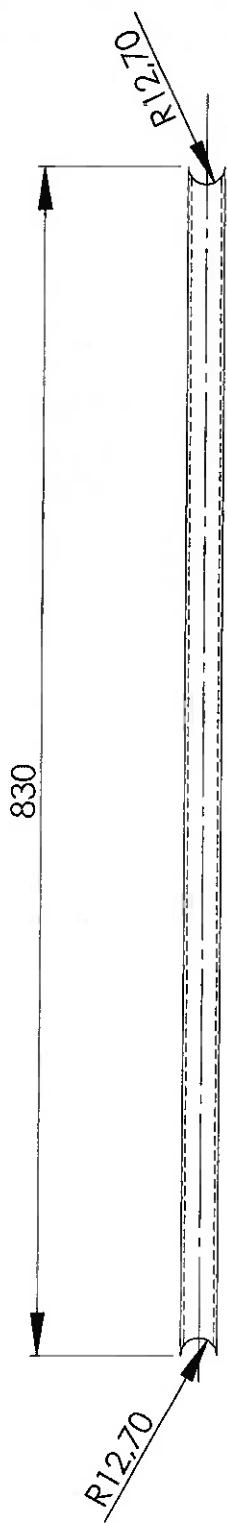


| | | | |
|---------------------------------------|-------------|-----|-------------------------|
| 6 | Barra 6 | 2 | Aço ABNT 1020 □30 x 1,9 |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | | Escala: 1:5 |

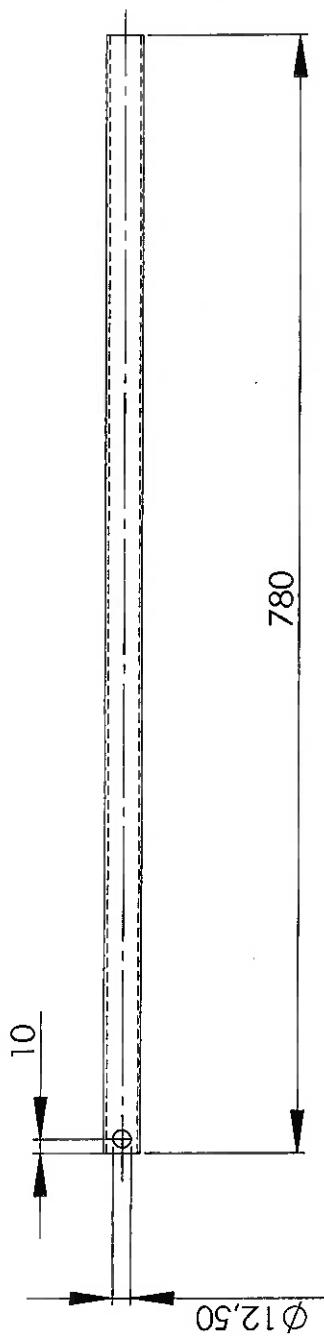


| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|-------------------------|
| 7 | Barra 7 | 2 | Aço ABNT 1020 □30 x 1.9 |
| Peça | Denominação | Qtd | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | Escala: 1:5 | | |

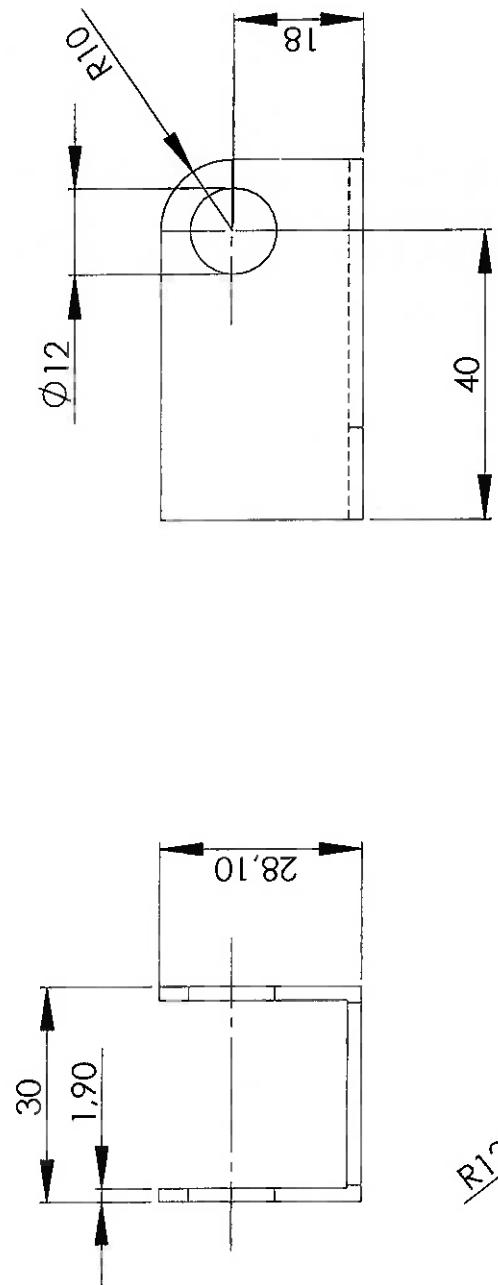




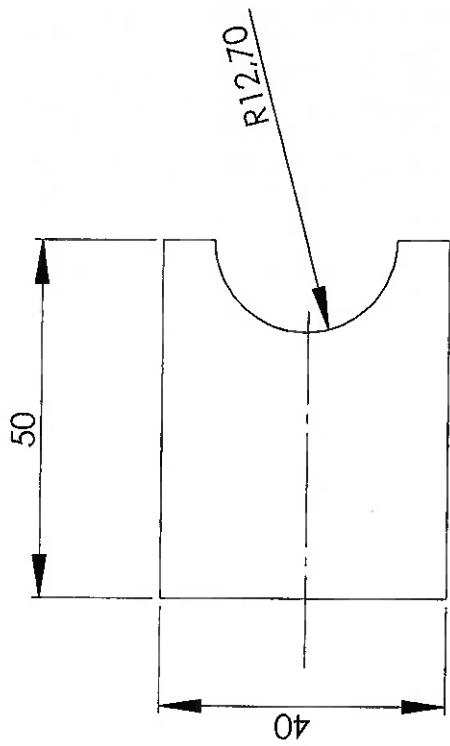
| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|--|
| 9 | Barra Superior | 1 | Aço ABNT 1020 $\phi 1^{\prime\prime} \times 2,1$ |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | | | Escala: 1:5 |



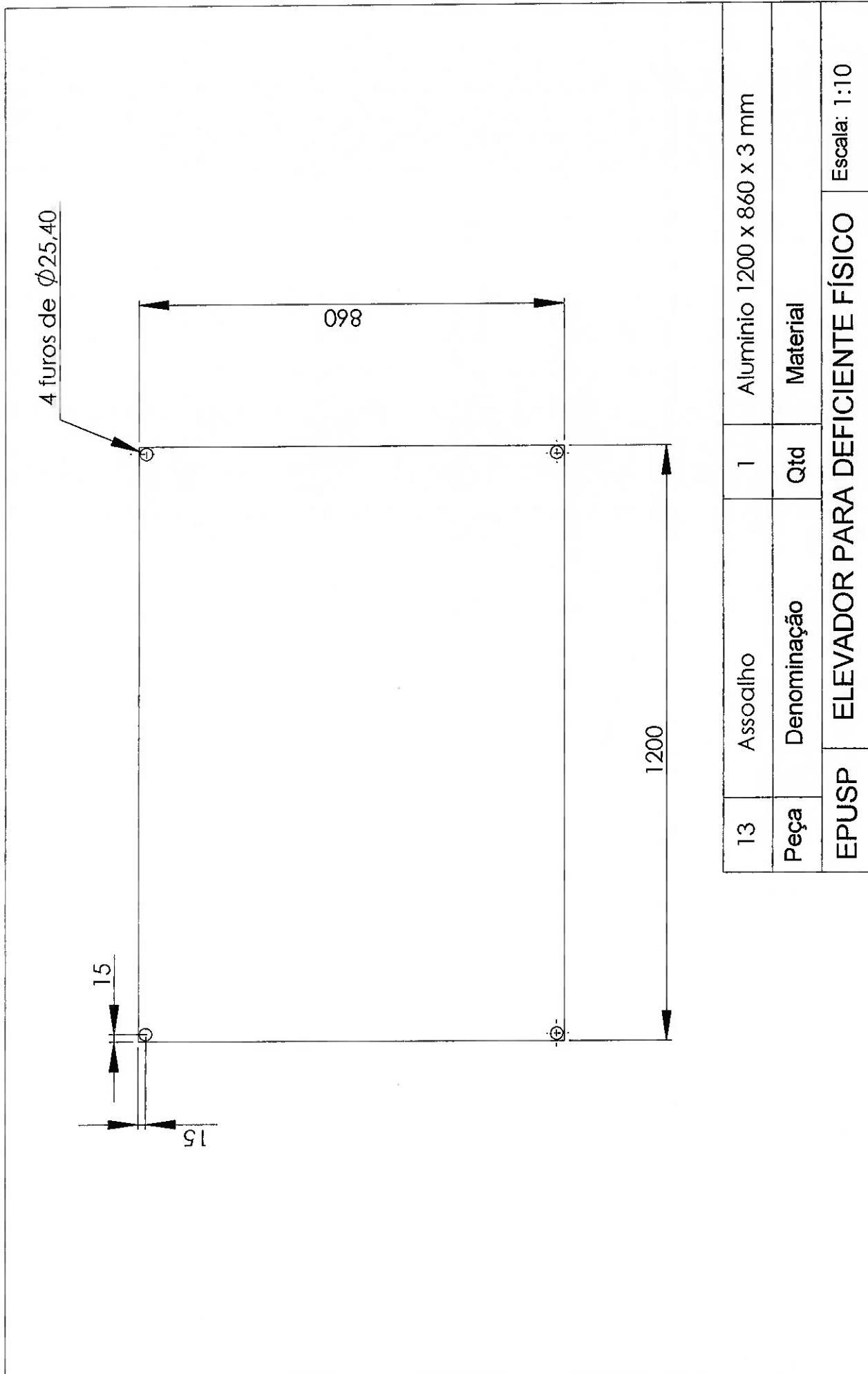
| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|--|
| 10 | Cancela | 1 | Aço ABNT 1020 $\varnothing 1'' \times 2,1$ |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | | | Escala: 1:5 |

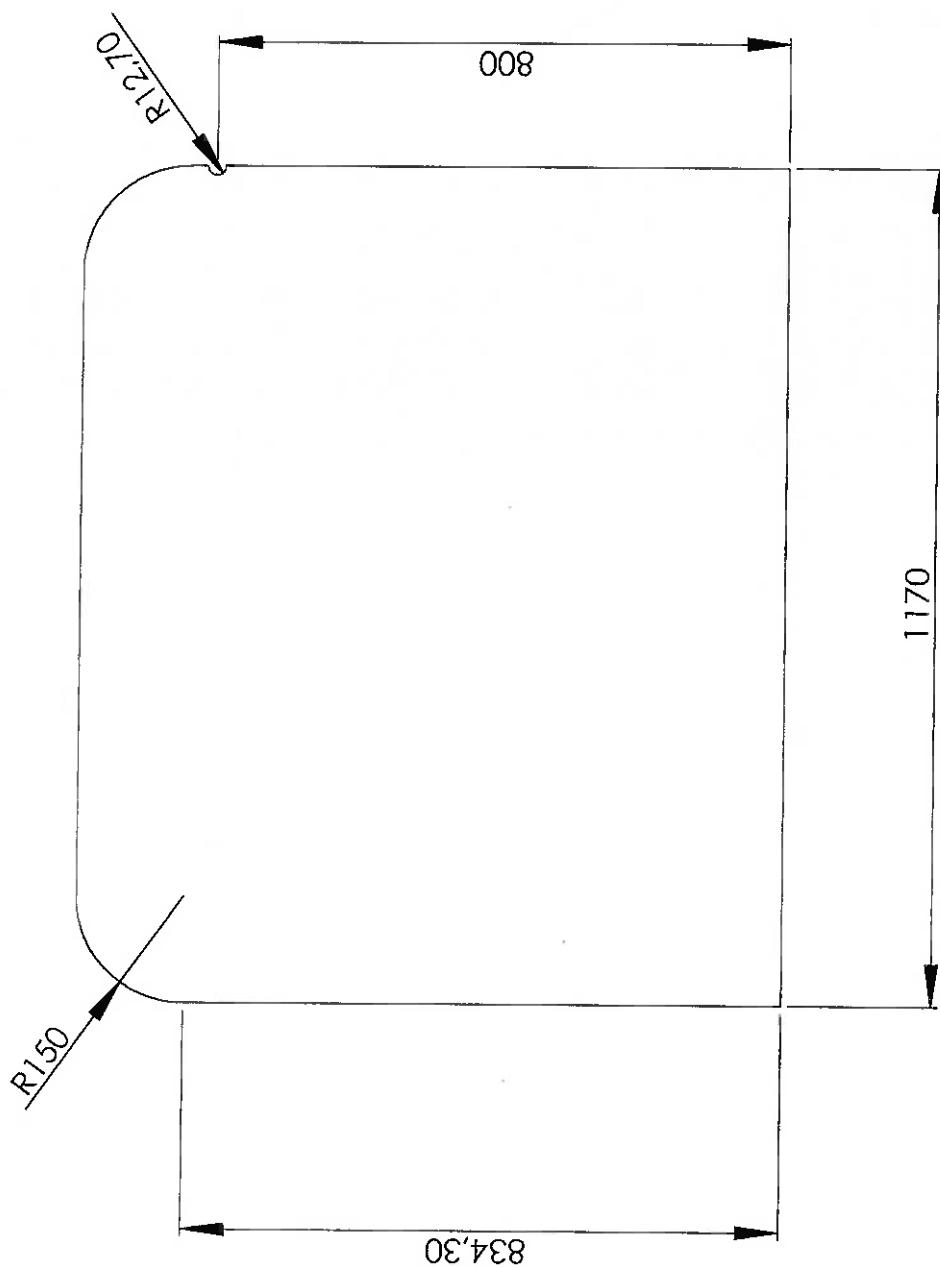


| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|---------------------------------------|
| 11 | Suporte da Cancela | 1 | Aço ABNT 1020 $\square 30 \times 1,9$ |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | | | Escala: 1:1 |



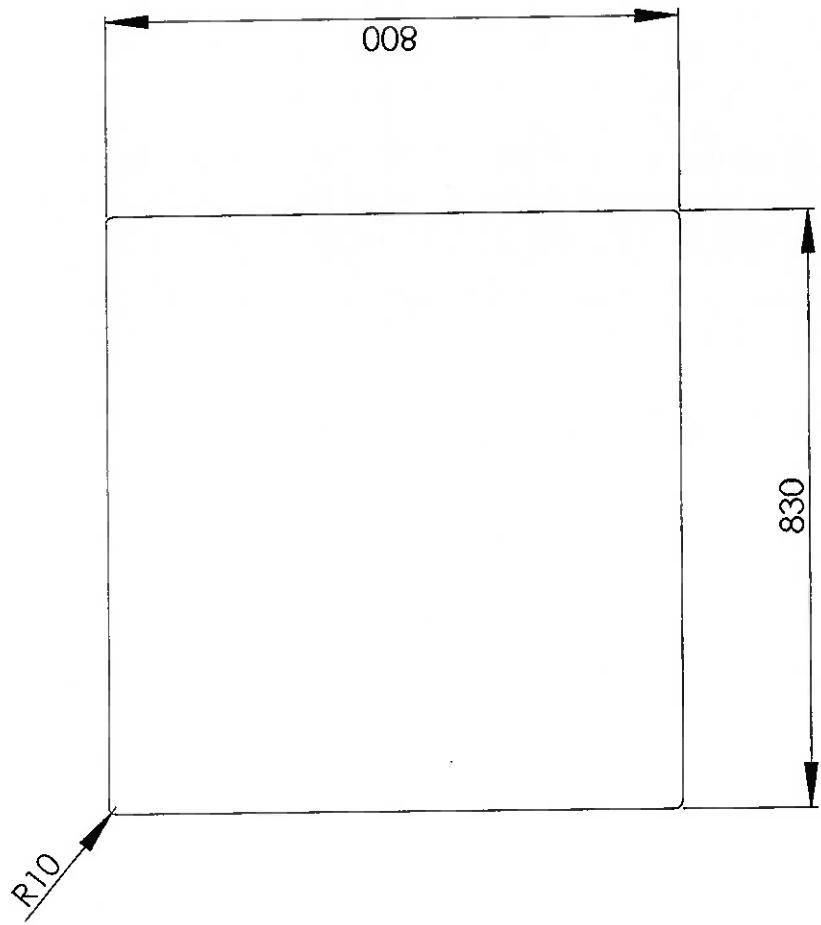
| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|------------------------------|
| 12 | Batente | 1 | Aço ABNT 1020 50 x 40 x 3 mm |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | Escala: 1:1 | | |



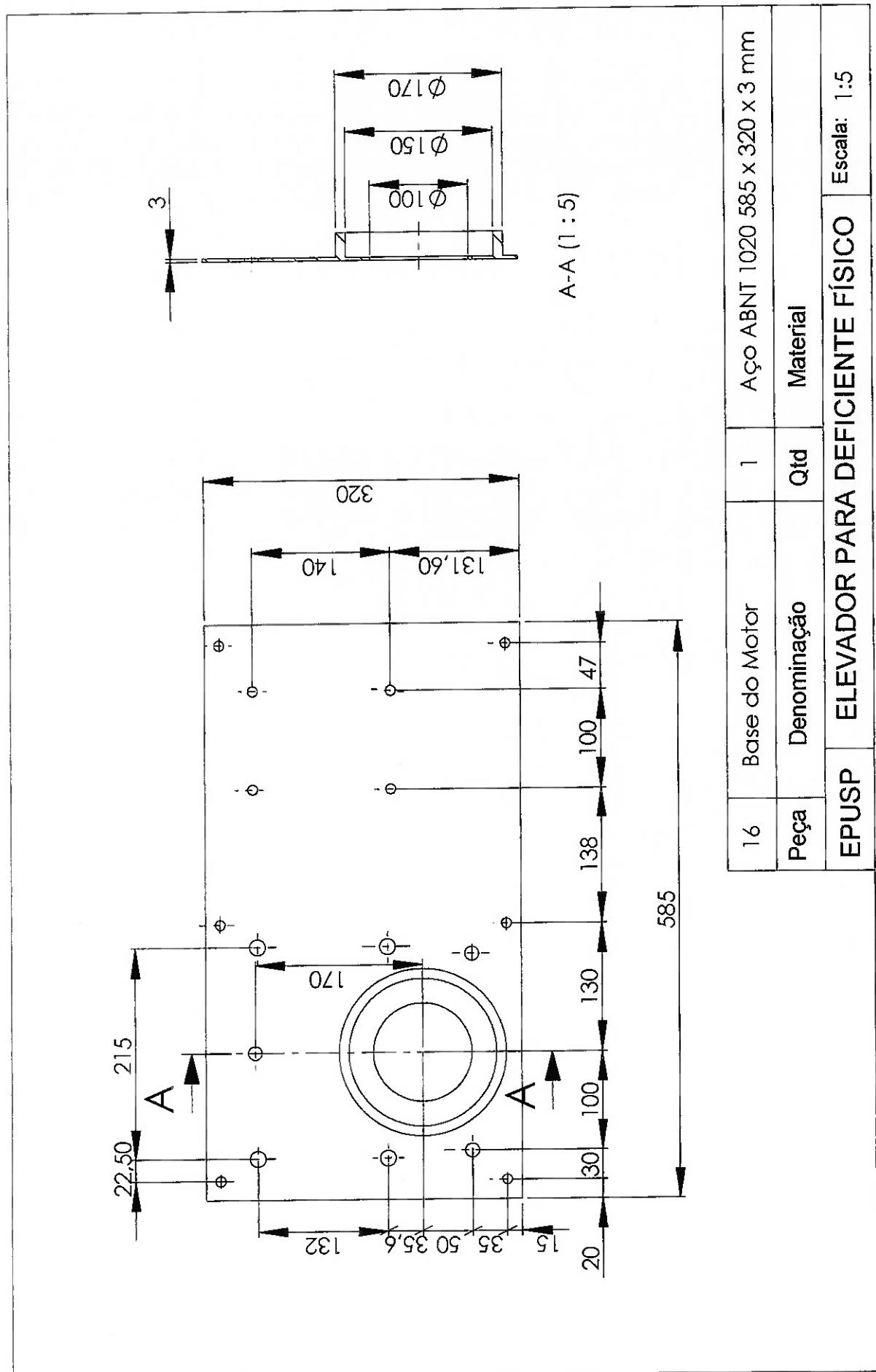


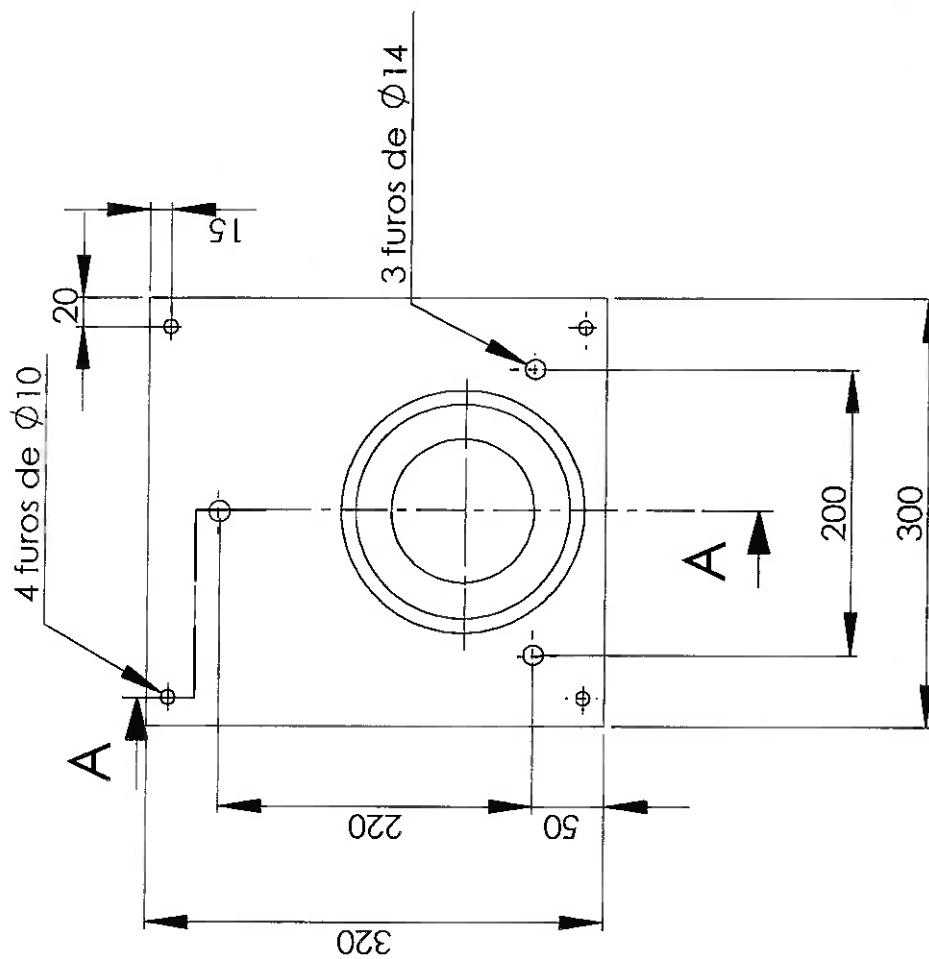
| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|------------------------------|
| 14 | Chapa de Proteção Lat. | 2 | Alumínio 1170 x 985 x 1,5 mm |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |

Escala: 1:10

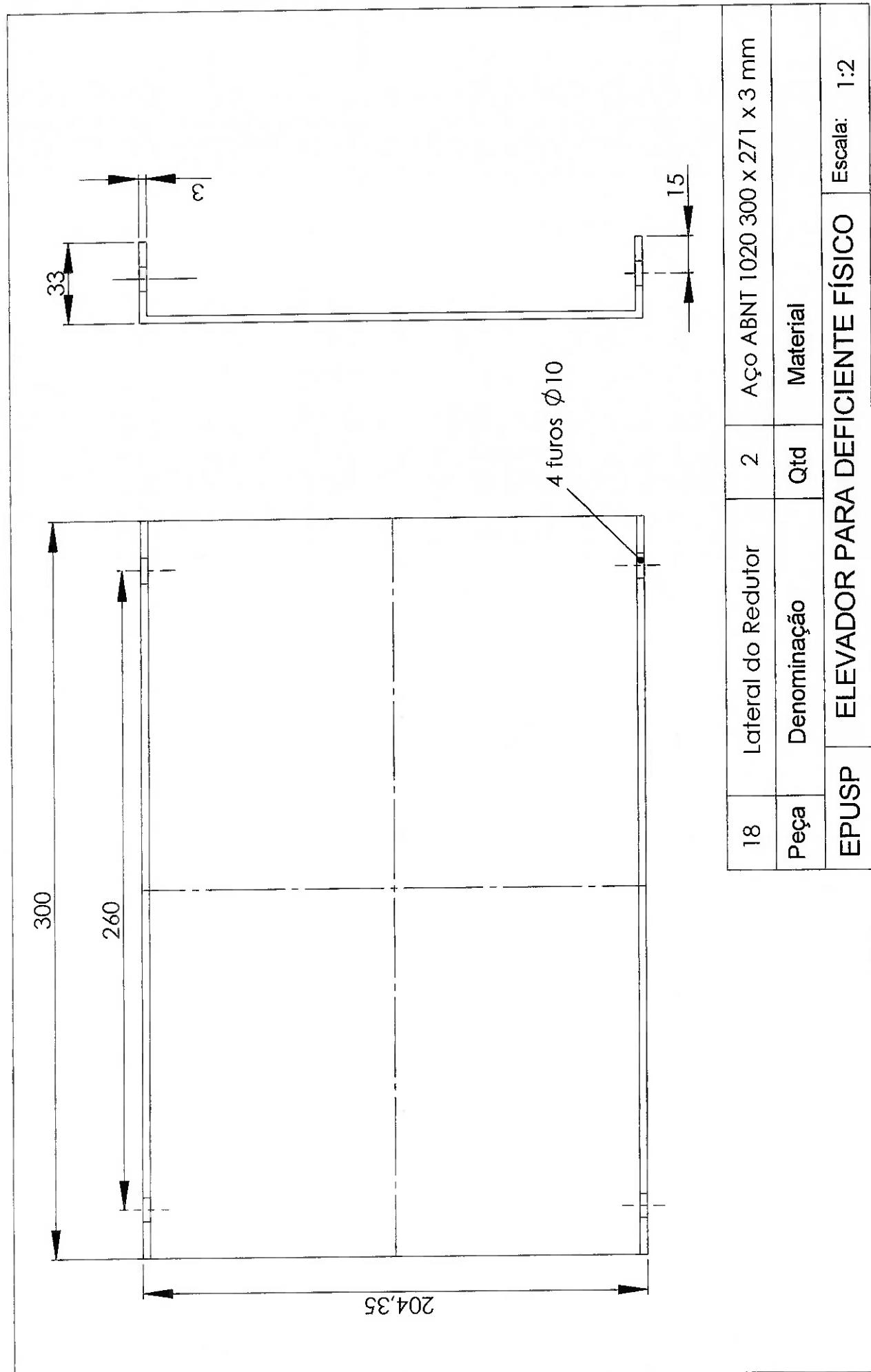


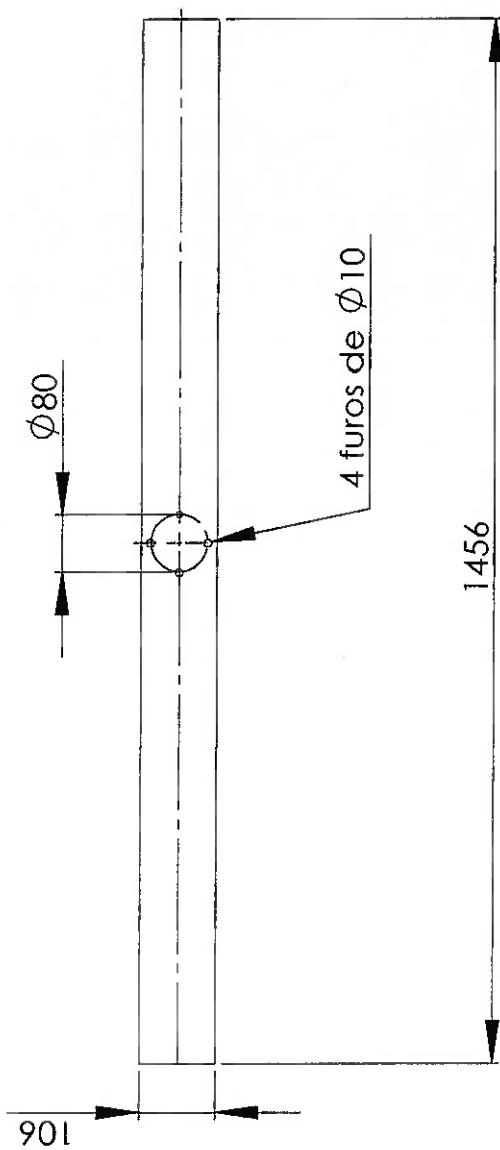
| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|-----------------------------|
| 15 | Chapa de Proteção Tras. | 1 | Alumínio 830 x 800 x 1,5 mm |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | | | Escala: 1:10 |



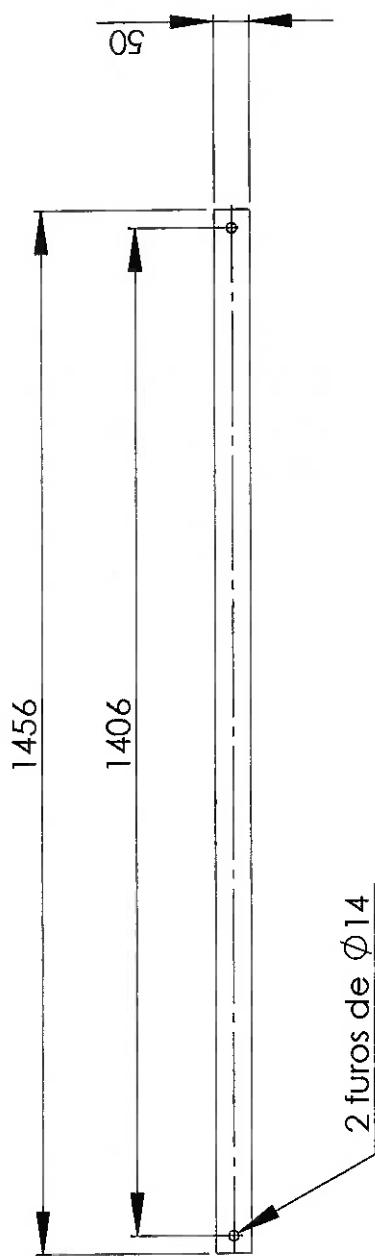


| | | | |
|---------------------------------------|------------------|-----|---------------|
| 17 | Tampa do Redutor | 1 | Aço ABNT 1020 |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | | Escala: 1:5 |



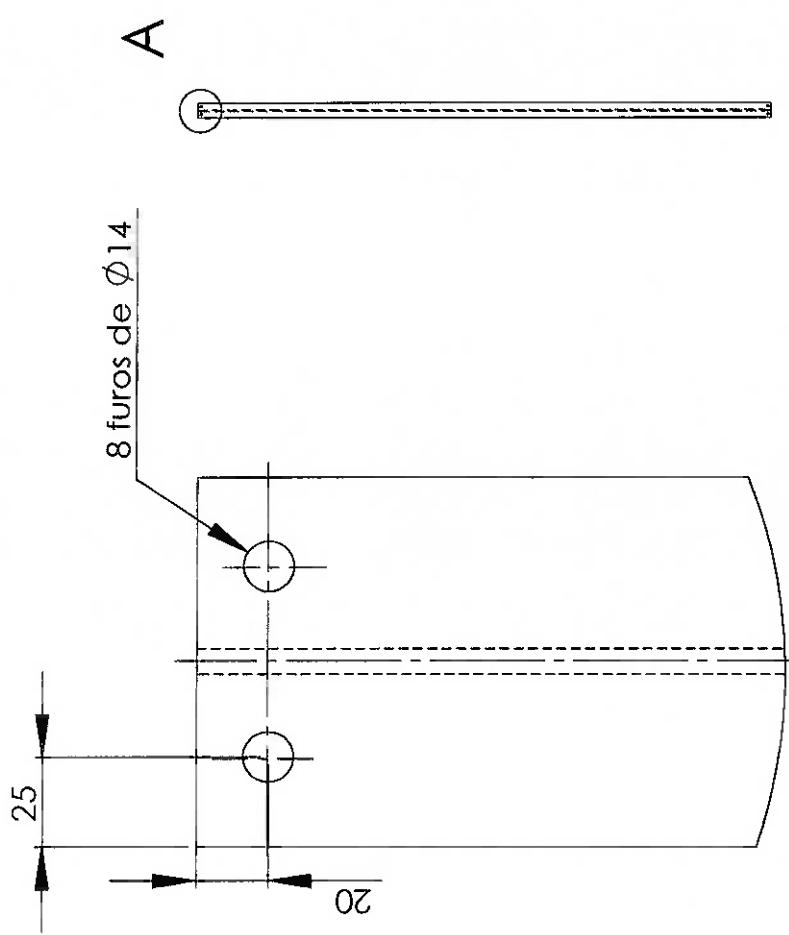


| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|---------------------------------|
| 19 | Base | 2 | Aço ABNT 1020 1456 x 106 x 5 mm |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | Escala: 1:10 | | |



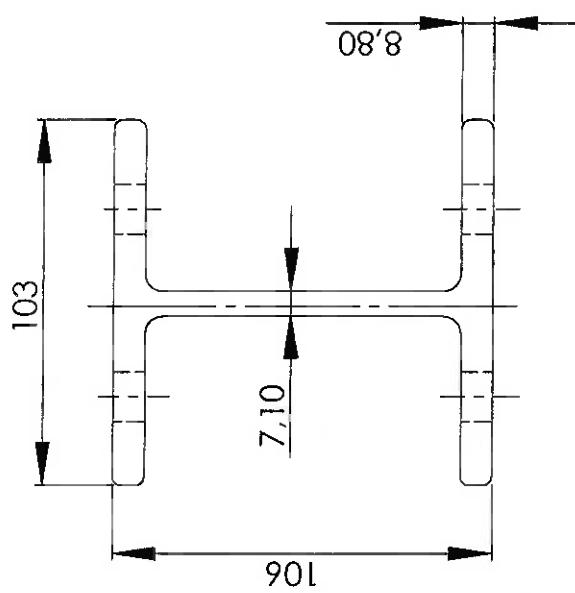
2 furos de $\phi 14$

| | | | |
|-------|--|-----|--------------------------------|
| 20 | Lateral da Base | 4 | Aço ABNT 1020 1456 x 50 x 5 mm |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | Escala: 1:10 | | |

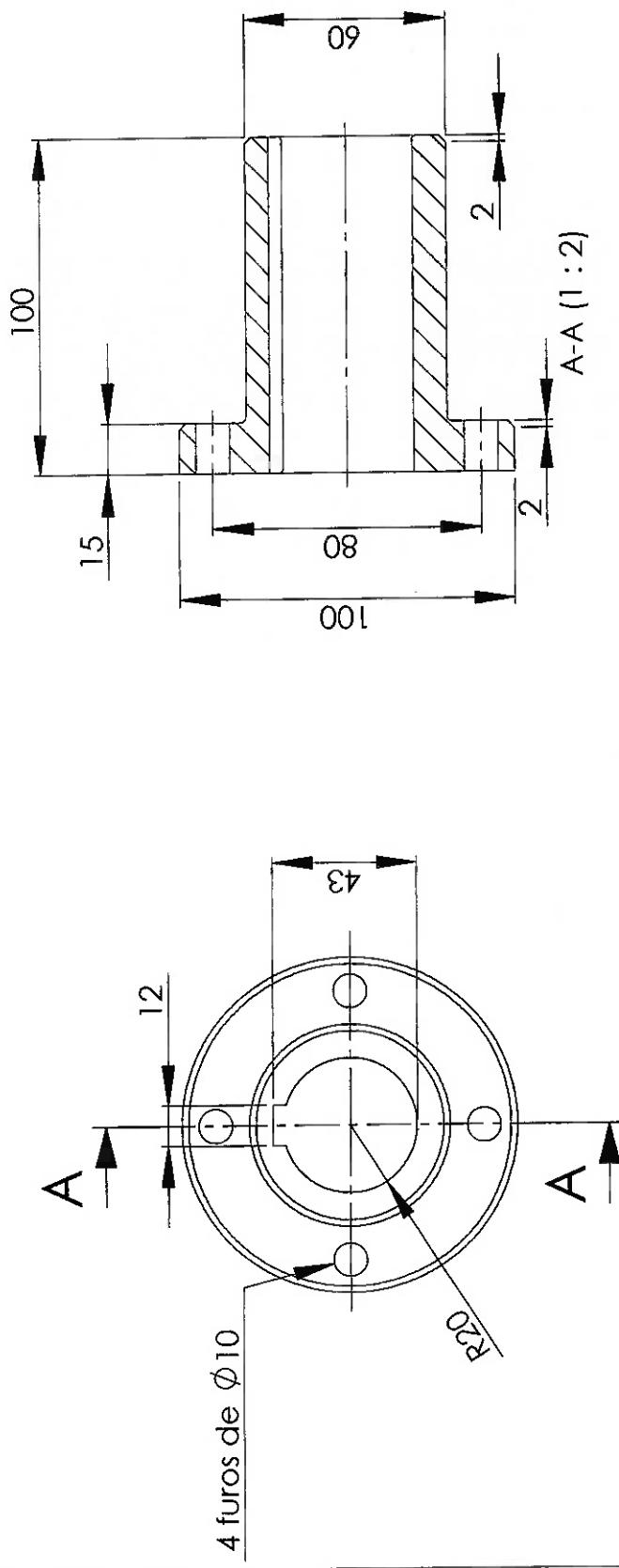


Escala 1:50

A (1 : 2)

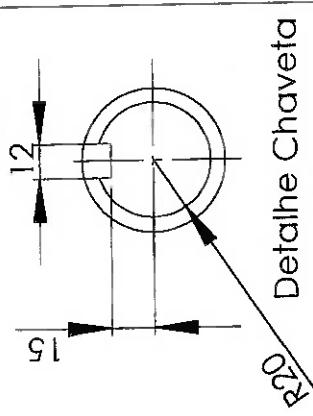


| | | | |
|---|-------------|-----|-------------|
| 21 | Trilho Guia | 2 | Comercial |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | | Escala: 1:2 |

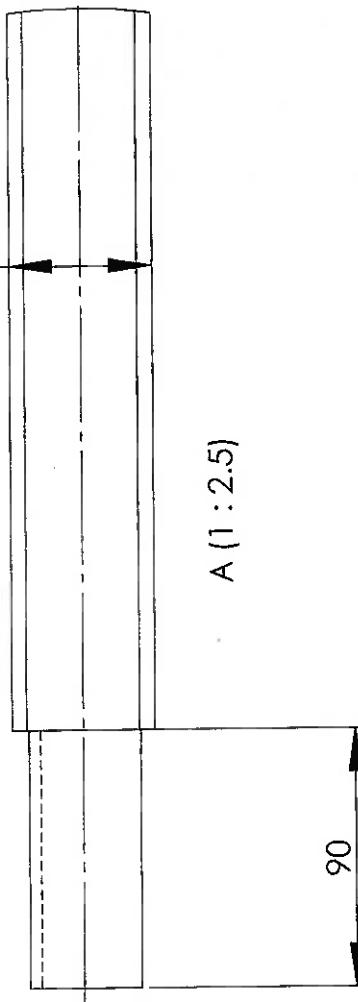


| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|--|
| 22 | Sapata do Fuso | 2 | Aço ABNT 1020 $\phi 100 \times 100$ mm |
| Peca | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | Escala: 1:2 | | |

A

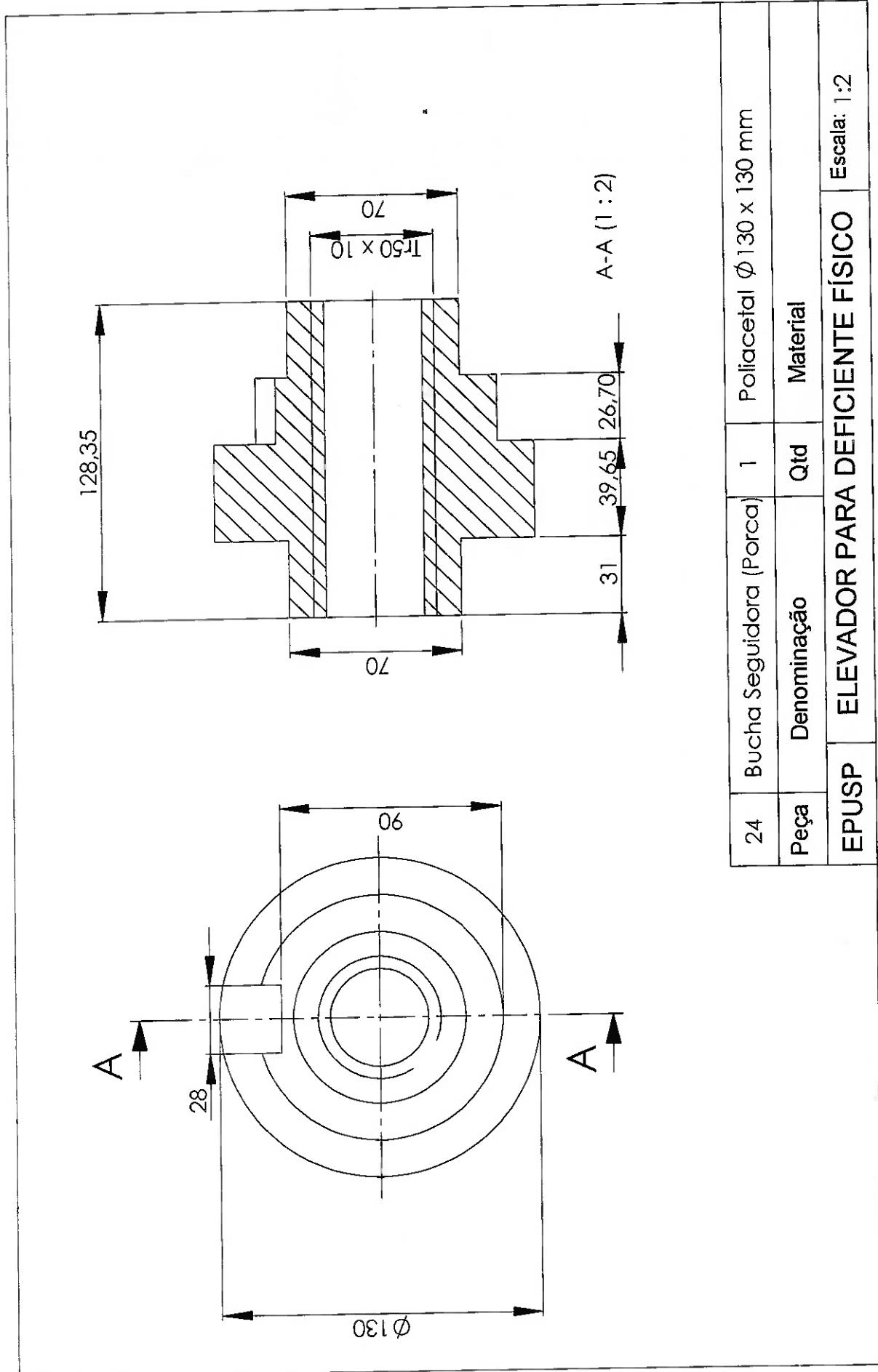


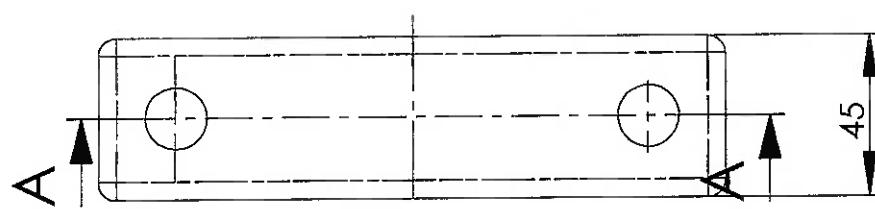
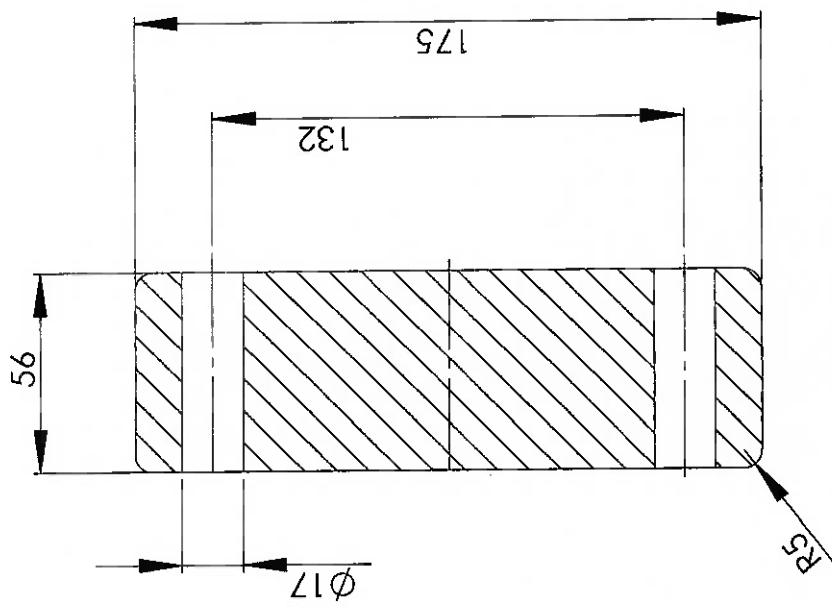
TR50 x 10



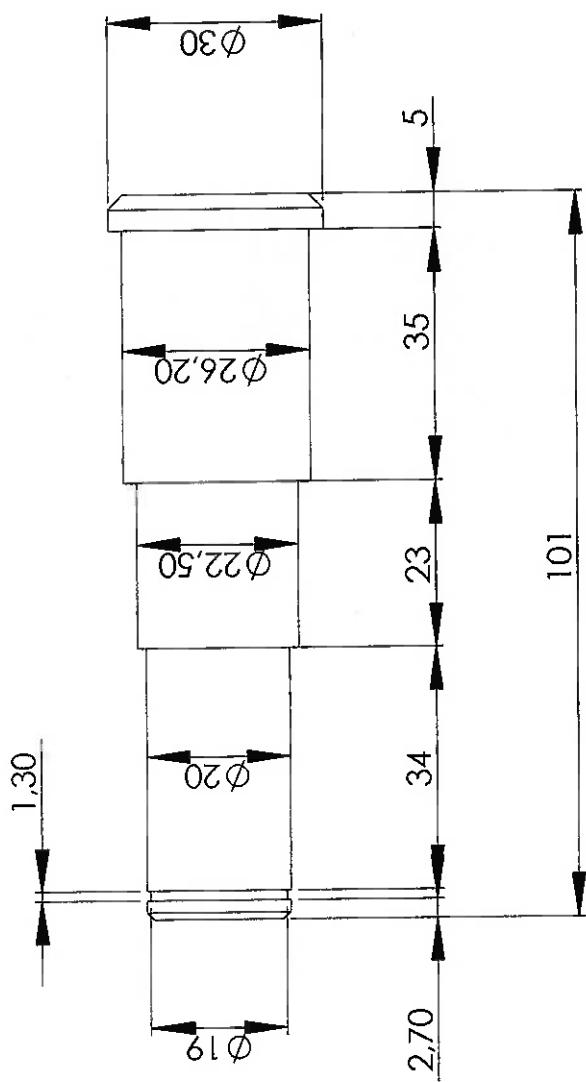
A (1 : 2.5)

| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|--|
| 23 | Fuso | 1 | Aço ABNT 1020 $\phi 50 \times 3800$ mm |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | Escala: 1:1 | | |

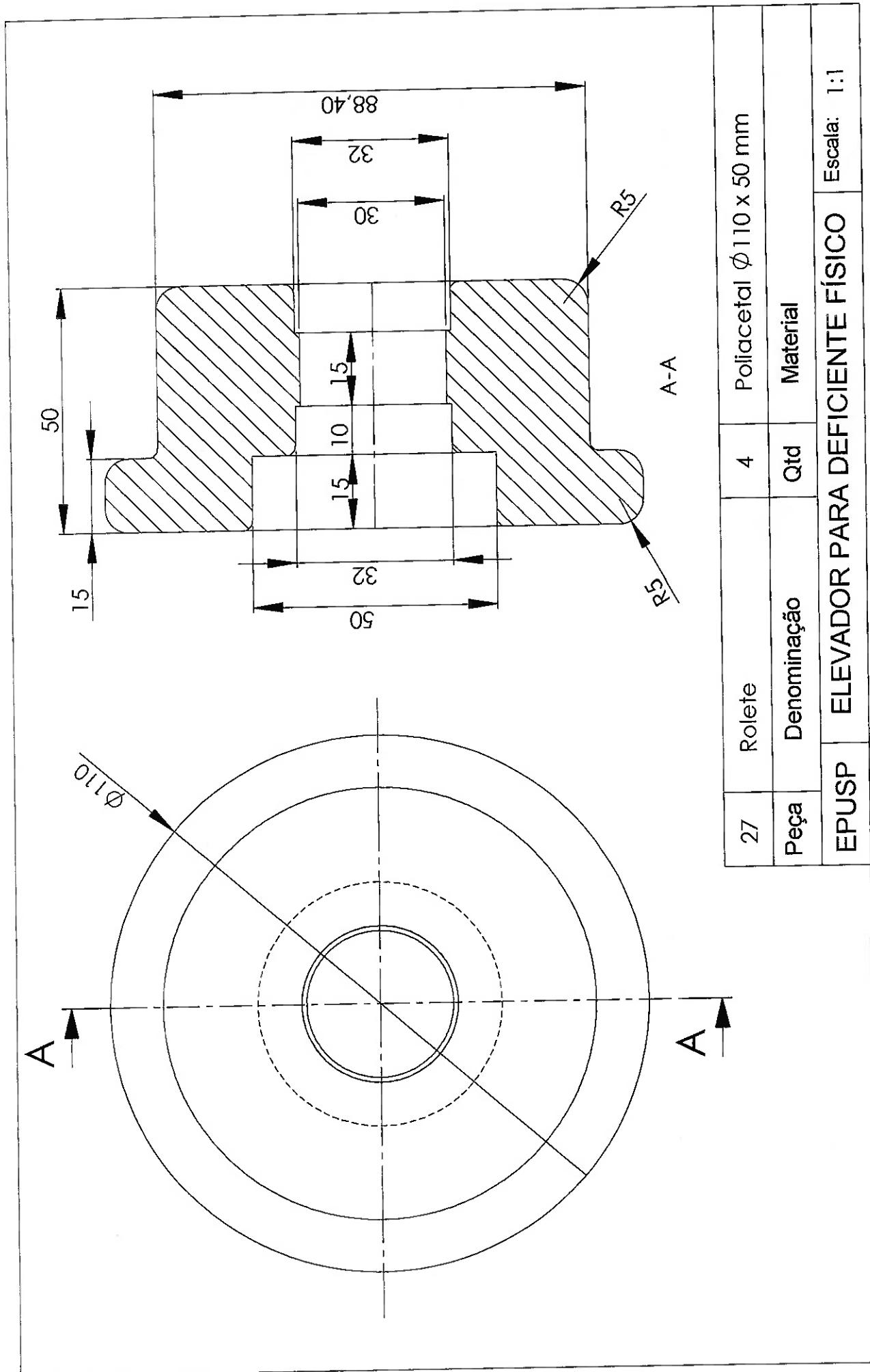


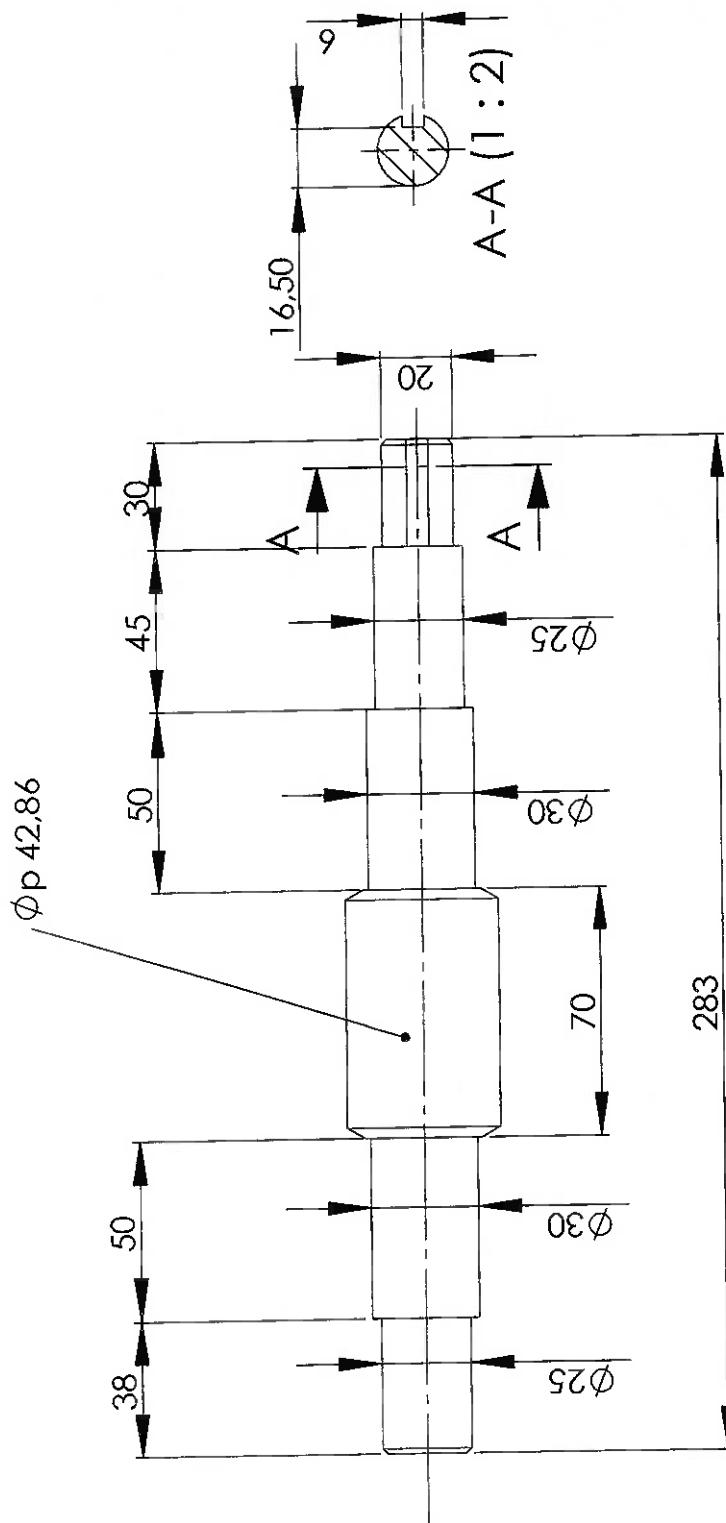


| | | | |
|---|-------------------|-----|---------------------------|
| 25 | Calço dos Mancais | 2 | Madeira 175 x 56 x 4.5 mm |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | | Escala: 1:2 |



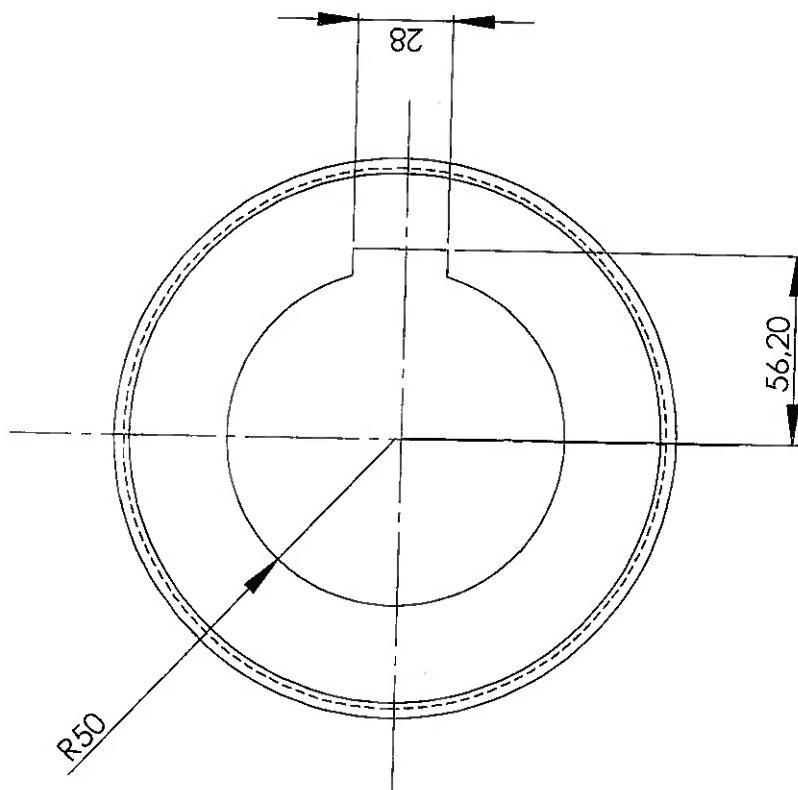
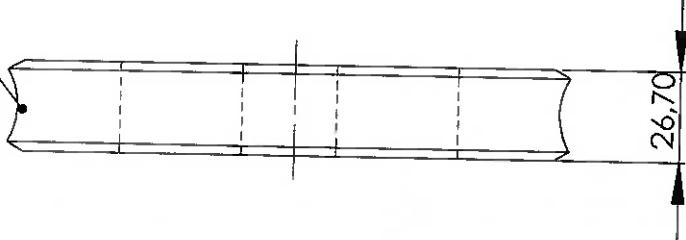
| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|--|
| 26 | Eixo do Rolete | 4 | Aço ABNT 1020 $\phi 11\frac{1}{4}'' \times 105$ mm |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | | | Escala: 1:1 |





| | | | |
|-------|--|-----|-----------------------------------|
| 28 | Sem Fim | 1 | Aço ABNT 4320 58/60 Rc 5 Entradas |
| Peça | Denominação | Qtd | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | Escala: 1:2 | | |

$\phi p 160,34$



| | | | |
|-------|---------------------------------|-----|------------------------------------|
| 29 | Coroa | 1 | Bronze centrifugado Bz12 30 dentes |
| Peça | Denominação | Qty | Material |
| EPUSP | ELEVADOR PARA DEFICIENTE FÍSICO | | |
| | Escala: 1:2 | | |

Agradecemos: ao Lab do Alberto, sem ele seria impossível a realização desse trabalho, ao Rc, que disponibilizou a chave do mesmo, ao Mala, por seus pitacos, ao Alceu e sua fantástica capacidade de não encontrar uma broca ou dar uma com o diâmetro errado, ao Careca Cabeludo, ao Brandão e seu tênis iluminado, ao Tostão ("Você sabe que tudo na vida amolece com o tempo..."), ao Doutor Albieri ("ABS é muito fácil"), a Deus(Aranha), ao CG(o homem que descobriu que uma caixa de sapatos não é aerodinâmica), ao pedreiro Simão, ao alemão cachaceiro ("500, 600, 700...", Marrcelou!), ao Massaroca, ao Furukawa ("Tem ingresso?" - e ao Yves com seu nome na lista), ao Woiler e sua lei("Quanto mais , mais. Quanto menos, menos"), ao Mr. Burns, ao Clodoaldo ("Zêro é Zêro!"), ao material do Brandi ("...ele peitou o pêndulo! Daqui você não passa!"), ao J(e as várias horas e campeonatos de CS, Half-Life, Day of defeat...), ao Tim Maia ("Desculpa aí pessoal"), ao Negão ("Porque nós ingenheros mecânicos precisam entender de carro"), ao Mini-craque, que mal consegue falar (sua voz é proporcional a sua altura), ao JB, que além de deixar o Chinello de DP consegue escrever na lousa com fonte tamanho 8, ao chefe do Cebola e seu cabelo quadradinho (praticamente um playmobil), ao Tanaka ("meu nome é Deniol, sou professor de MATERIOL"), ao Mariani e sua lágrima ("Porra Bixo! Tá excelente!"), as peregrinações do Mala, ao Garotinho, ao Raulzito (o de mentira), a Rosélia e BBB (Big Brother Biênio), a Idalina, que tirou o dela da reta, ao cinto do Clóvis, que insiste em fazer suas calças caírem, ao R2D2, ao André, que deixou o Chinello de Rec com 4,9 (mas reprovou o Thompson por duas vezes), ao Thompson e suas peripécias (a estrelinha ninja, a guerra de extintores, o carro no Tejo, os bebedouros da USP – São Carlos, o Scenic gangorra, o Scenic tanque de combustível, a porta do Toscano, a massagem cardíaca), aos tempos de baja (pizza com graxa, falange, "aquisição" noturna de materiais, ao Joel que continuou responsável pelas ferramentas do Alceu mesmo depois de formado, as milhares de noites viradas, Tutinha e Boza dividindo uma cama de solteiro), aos colegas da sala: Nôia, Samamba, Andradina, Mônica, Galera da Luz, Peixe (Dorme Sujo), Ken (Quem?), Célio (Me tose ou Mitose?), Sherikão (amigo dos holandeses), Yves (sua majestade), Doca ("Ela é liiiiinda!"), Léo ("Eu não sou goiano!"), Bundão, Boizona, BJ, Barriga de Chopp, Nazi, Martão, Jeff, Cebola ("Eu não pareço com cebola!"), Xerxes, Azuma (Zubi), Chefinho, Fabiani, Willian Wallace, Raupp e a

Ioucura pós vinho, Taubaté, Boi, Magrão, Beto (de quê?), Kiwi, Costela, Milhouse, Neo, Pepê, Polti, Turco, Stump (cotonete), Boza ("O Buk mandou errado, meu Barboza é com S"), Arthur, Viadinho, Mingau, e aos que não são da sala também, Tobal e os choques do exército, Cris, Ladrão, Minduim, Zé Colméia, galera do DZKN, Gabicha, Brunão e suas perguntas estúpidas, Barril e sua voz afinada, Coxãããão, Pinda, Bruxa, Parruda, Air Bag, Testão, PC, Suja, Porca, Mestre, Meps, Carlão, Marcão, Peitudinha (silicone ou enchimento?), Pessoa ("Quanto você tirou? Você acha que vai dar pra pegar?"), ao cara das Casas Bahia ("Quer pagar quanto? Quer pagar quando?"), ao Raulzito (o de verdade), a Jovem Guarda, Celly Campelo, Léo Jaime, Roupa Nova, Yahoo, Almir Rogério, Placa Luminosa, Kid Vinil, Gretchen, Rosana, Elino Julião, Carlos Alexandre, SPC, Katinguelê, Ginga Pura, Raça Negra e pagodeiros de plantão, ao Todo-Poderoso (único campeão mundial reconhecido pela FIFA), ao Tricolor (bicampeão mundial da Copa Toyota), aos técnicos do LMO: Laércio, Fidel (ele não lembra o Tiririca?), São Paulino, Gilberto, César, Lee ("Não tem eletropla pra usar a eletroelosão"), ao Penta, ao Felipão, ao Ronaldinho que graças a Deus não teve convulsão, e ao Galvão ("É amigo! Copa do mundo é copa do mundo"), ao Dadá ("O Ronaldinho entra no sentido horário, o Kleberson vem no sentido anti-horário....é gol!"), a meia do Arnaldo, ao Mução, ao Seu Cuca, ao seu Albertinho, a Têucu, a Minhápica, ao Eno e seu anel ("o Eno's ring dá dois de skill"), às capas da Playboy, da Sexy, da VIP, da Trip, do Morango, do The Girl, a viagem pra Porto Seguro, a Forma Turismo e suas guias, ao Ufa Lilás! do Léo, ao Doca capoeirista, aos bundalelês, ao Cristiano, nosso guia (coitado!), as minas locais, as minas da Hebraica ("Judeia deu!"), as marvadas, as Absoluts, a mãe Fabiani, aos Fabiani e suas casas fantásticas, ao verdão na segundona (ou seria verdinho?), ao povo da GM, à galera do 11E, às festas da Odonto (o único lugar onde você encontra mais políticos do que na Poli), às festas Juninas, à pior Comissão de Formatura de todos os Tempos (tinha que ser a nossa??!), ao churrasco no mangue (ou seria esgoto?), ao bota-fora aqui dentro num Sábado a tarde, enfim, ao final de mais um ciclo....e à pergunta que não quer calar: "Com quem ficou a flauta doce?".