

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

JULES RIMET NOGARA JUNIOR

**PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA DETERMINAR O
NÚMERO DE REYNOLDS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2018**

JULES RIMET NOGARA JUNIOR

**PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA DETERMINAR O
NÚMERO DE REYNOLDS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica - DAMEC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Marcio Tadayuki Nakaura

PATO BRANCO

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA DETERMINAR O NÚMERO DE REYNOLDS

JULES RIMET NOGARA JUNIOR

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 26/09/2018 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Luiz Carlos Martinelli Junior
(UTFPR - Depto. de Engenharia Mecânica)

Prof. Me. Roberto Nunes da Costa
(UTFPR - Depto. de Engenharia Mecânica)

Prof. Marcio Tadayuki Nakaura
(UTFPR - Depto. de Engenharia Mecânica)
Orientador

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Marcio Tadayuki Nakaura, pela disposição e orientação durante todas as etapas da elaboração deste trabalho.

Aos demais professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que ao longo de minha trajetória acadêmica pude aprender em sala de aula e também com os conselhos e experiências que recebi deles. Certamente este conhecimento levarei comigo por toda a vida.

Aos professores membros da banca examinadora, Luiz Carlos Martinelli Junior e Roberto Nunes da Costa, por aceitarem participar da minha apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso fora de época e em tão curto prazo.

Um obrigado aos meus amigos que sempre deram-me força quando faltava motivação e por todos os momentos de companheirismo.

Em especial, agradeço aos meus pais, Jules e Ruth, pelo suporte necessário que eu tive para viver e estudar em uma outra cidade e também por sempre acreditarem no meu potencial.

*“O primeiro passo é estabelecer que algo é possível.”
(Elon Musk)*

RESUMO

NOGARA JUNIOR, Jules Rimet. Projeto de uma bancada didática para determinar o número de Reynolds. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

O escoamento, de líquidos e gases, pode ser dividido basicamente em dois modos: 1. Laminar - quando o movimento do fluido é visto como altamente ordenado e as linhas de corrente são suaves, ou seja, sem alterações bruscas durante a sua trajetória; 2. Turbulento - quando fluido possui um movimento desordenado devido às flutuações de velocidade. Osborne Reynolds, por meio de sua pesquisa publicada em 1883, desenvolveu uma relação de alguns parâmetros para determinar o comportamento do escoamento de fluidos. Esta relação, hoje conhecida como Número de Reynolds, relaciona as forças de inércia com as forças viscosas do fluido, e resulta numa grandeza adimensional capaz de prever o modo de escoamento do fluido. O presente trabalho apresenta um projeto de uma bancada didática para reproduzir o experimento de Reynolds. Além da lista de materiais necessários para a fabricação da bancada foi feito um levantamento de custo. Espera-se que este projeto seja utilizado para a construção da bancada didática, trazendo desta forma benefícios ao aprendizado por meio de aulas práticas.

Palavras-chave: Número de Reynolds, Bancada Didática, Experimento de Reynolds, Escoamento Laminar, Escoamento Turbulento.

ABSTRACT

NOGARA JUNIOR, Jules Rimet. Design of a didactic equipment to determine the Reynolds number. 2018. Undergraduate Thesis – Mechanical Engineering Course, Federal University of Technology - Parana. Pato Branco, 2018.

The fluid flows of liquids and gases can be divided basically in two modes: 1. Laminar - when fluid movement is highly ordered and streamlines are smooth, i.e. without changes abruptly of the path lines; 2. Turbulent - when fluid has a disordered movement due to the velocity fluctuations. Osborne Reynolds, through his research published in 1883, developed a relationship of some parameters to determine the fluid flows behavior. This relationship, now known as Reynolds Number, relates the inertial forces with the viscous forces of the fluid, and it results in a dimensionless magnitude capable of predicting the fluid flows modes. The present work introduces a design of a didactic equipment to determine the Reynolds number. In addition to the list of materials, it was obtained a quotation for the equipment construction. It is expected that this project will be used for the construction of the didactic equipment and then bringing benefits to learning through practical classes.

Keywords: Reynolds Number, Didactic Equipment, Reynolds Experiment, Laminar Flow, Turbulent Flow.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – escoamento laminar	23
Figura 2 – escoamento de transição	23
Figura 3 – escoamento turbulento	23
Figura 4 – Primeiro aparato de Reynolds	24
Figura 5 – Aparato de Reynolds	24
Figura 6 – Aparato original de Reynolds na Universidade de Manchester	25
Figura 7 – Bancadas didáticas horizontais comerciais para o experimento de Reynolds	25
Figura 8 – Bancadas didáticas verticais comerciais para o experimento de Reynolds	26
Figura 9 – Perfil de velocidade do fluido em escoamento interno	27
Figura 10 – Perfil de velocidade do escoamento completamente desenvolvido	28
Figura 11 – Rotâmetro	29
Figura 12 – Válvula Esfera	30
Figura 13 – Válvula Globo	31
Figura 14 – Modelo de uma bomba centrífuga	32
Figura 15 – Projeto da bancada horizontal	33
Figura 16 – Propriedades da água a temperatura ambiente	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre as tubulações	36
Tabela 2 – Custo da bancada didática comercial (Dólar à R\$ 4,13)	47
Tabela 3 – Preço dos componentes	48

LISTA DE SÍMBOLOS

Re	Número de Reynolds
ρ	Densidade do fluido
v	Velocidade média do fluido
L	Comprimento característico
μ	Viscosidade dinâmica
ν	Viscosidade cinemática
m	Massa do fluido
V	Volume do fluido
$F_{inércia}$	Forças de inércia
$F_{viscosa}$	Forças viscosas
a	Aceleração do fluido
L^3	Volume
L^2	Área
t	Tempo
τ_v	Tensão viscosa do fluido
$\partial v / \partial y$	Gradiente de velocidade do escoamento na direção do eixo y
Re_{cr}	Número de Reynolds crítico
\dot{m}	Vazão mássica
A	Área da seção transversal
$u(r)$	Perfil de velocidade do escoamento
$X_{fd,l}$	Comprimento de entrada para escoamento laminar
$X_{fd,t}$	Comprimento de entrada para escoamento turbulento
\dot{V}	Vazão volumétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivos	20
1.1.1	Objetivo geral	20
1.1.2	Objetivos específicos	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	Número de Reynolds	21
2.2	Bancada de ensaio de Reynolds	23
2.3	Bancada Didática Horizontal	25
2.4	Bancada Didática Vertical	26
2.5	Escoamento Interno	27
2.6	Região de entrada	28
2.7	Medidores de Vazão	29
2.8	Válvulas	30
2.8.1	Válvulas de Bloqueio	30
2.8.2	Válvulas de Controle	31
2.9	Bombas Hidráulicas	32
3	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	35
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
6	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	41
	REFERÊNCIAS	43
	ANEXO A – PROPRIEDADES DA ÁGUA EM TEMPERATURA AMBIENTE	45
	APÊNDICE A – TABELAS DE CUSTOS	47
	APÊNDICE B – DETALHES DO PROJETO	49

1 INTRODUÇÃO

O escoamento de fluidos, como o ar e a água, está presente no cotidiano e muitos projetos de engenharia envolvem problemas de escoamento de algum fluido, seja ele um gás ou líquido. Na maioria dos cursos de graduação em engenharia como por exemplo, aeroespacial, mecânica, naval, civil, entre outras, o estudo é feito na disciplina denominada Mecânica dos Fluidos.

A condição de determinar se um escoamento é turbulento ou laminar, permite que o engenheiro utilize a literatura correta para cada caso, onde uma contempla comportamento diferente da outra. Isso possibilita que num projeto onde há interação com escoamento de fluido, tenha os valores calculados mais próximos do valor real da aplicação, reduzindo assim a necessidade de superdimensionar os componentes do projeto, o que resulta em um projeto mais econômico e capaz de atender satisfatoriamente a que se propõe. Osborne Reynolds, em 1883, publicou um artigo intitulado: “*An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels*” (REYNOLDS, 1883). Foi apresentado nesse estudo as relações que determinam o comportamento do escoamento do fluido.

Apresentar os resultados do trabalho de Reynolds e os problemas que envolvem escoamento de fluidos, em um curso de engenharia, e esperar que todos os estudantes compreendam o assunto não é tão simples. No ensino, os alunos podem ser divididos em dois grupos: alunos ativos e alunos reflexivos. Os alunos que aprendem de forma ativa são aqueles que retêm mais informação ao praticar, discutir, ensinar ou testar de alguma forma o conteúdo estudado; em outras palavras, realizar uma ação com o conhecimento adquirido. Alunos que aprendem de forma reflexiva, são aqueles que absorvem e entendem a informação introspectivamente. As aulas no curso de engenharia tendem a ser reflexivas, onde somente a teoria é enfatizada, mas estudos mostram que a maioria dos alunos desta área tendem a aprender de forma ativa, precisando assim de uma forma prática para aplicar o conteúdo estudado e assimilar de uma maneira mais eficiente o conteúdo visto (FELDER; SILVERMAN et al., 1988).

O autor deste trabalho, ao longo do curso de graduação em Engenharia Mecânica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB), vivenciou aulas que apresetaram uma grande quantidade de conteúdos teóricos dentro da sala de aula, mas com pouco contato com experimentos práticos. Por exemplo, seria interessante visualizar na prática (experimentação ativa) os regimes de escoamento como foi feito por Reynolds no século XIX. Assim, este trabalho de conclusão de curso visa projetar uma bancada didática para reproduzir o experimento de Reynolds, e para que futuramente possa ser construída e utilizada na UTFPR-PB.

1.1 **Objetivos**

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é projetar uma bancada didática para determinar o número de Reynolds, permitindo a visualização dos diferentes modos de escoamentos do fluido, a saber: laminar, turbulento, e transição. Espera-se que seja construído a bancada didática com este projeto, aumentando assim o número de aulas práticas do curso para aprimorar o entendimento dos conceitos estudados em Mecânica dos Fluidos.

1.1.2 Objetivos específicos

Para que se possa atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos devem ser seguidos:

- Pesquisar as bancadas didáticas existentes no mercado;
- Definir as condições de trabalho da bancada;
- Projetar, desenhar e especificar os componentes da bancada;
- Realizar um levantamento de custo para a construção da bancada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Número de Reynolds

Osborne Reynolds (1842-1912) foi um engenheiro e cientista britânico conhecido pelos seus trabalhos no campo da hidráulica e da hidrodinâmica. Em 1883 Reynolds, em seu estudo, observou que o escoamento interno da água tem dois modos distinguíveis, isto é, ou as partículas de fluido seguem as linhas de corrente de maneira mais direta ao seu destino, ou distorcem em caminhos sinuosos o mais indireto possível. Atualmente, estes modos são mais conhecidos como escoamentos laminar e turbulento. Reynolds mostrou que, para uma série de velocidades do escoamento, diâmetros de tubulação e viscosidades, a transição do modo anterior para o último ocorre aproximadamente no mesmo valor do parâmetro adimensional que hoje leva seu nome, Número de Reynolds (JACKSON; LAUNDER, 2007). O número de Reynolds é dado por:

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} = \frac{v L}{\nu} \quad (2.1)$$

onde,

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.2)$$

e

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.3)$$

Sendo:

Re : número de Reynolds;

ρ : densidade do fluido;

v : velocidade média do escoamento;

L : comprimento característico;

μ : viscosidade dinâmica;

ν : viscosidade cinemática;

m : massa do fluido;

V : volume do fluido.

O significado físico do número de Reynolds é a razão entre as forças de inércia e as forças viscosas, e portanto, é um número adimensional.

$$Re = \frac{F_{inércia}}{F_{viscosa}} \quad (2.4)$$

onde,

$$F_{inércia} = m a = \rho L^3 \frac{v}{t} \quad (2.5)$$

e

$$F_{viscosa} = \tau_v L^2 \quad (2.6)$$

A Equação 2.5 é a Segunda Lei de Newton, onde L^3 é o volume e t denota unidade de tempo. A Equação 2.6 é a força viscosa, onde L^2 é a área. A tensão viscosa (cisalhamento) do fluido, τ_v , é dado por:

$$\tau_v = \mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad (2.7)$$

onde $\partial v / \partial y$ é o gradiente de velocidade do escoamento na direção do eixo y . A Equação 2.7 é conhecida como Lei de Newton da Viscosidade. Reescrevendo a Equação 2.6, tem-se:

$$F_{viscosa} = \mu \frac{v}{L} L^2 = \mu v L \quad (2.8)$$

Assim, a razão das forças de inércia e viscosas fica:

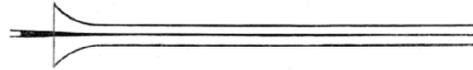
$$\frac{F_{inércia}}{F_{viscosa}} = \frac{\rho L^3 \frac{v}{t}}{\mu v L} = \frac{\rho L^2 \frac{L}{t} v}{\mu v L} = \frac{\rho L^2 v^2}{\mu v L} = \frac{\rho v L}{\mu} = Re \quad (2.9)$$

De fato, a razão entre as forças de inércia e viscosas atuantes no fluido resulta no número de Reynolds.

Reynolds observou em seu experimento que a transição de escoamento laminar para turbulento era influenciado por uma velocidade, chamando-a de Velocidade Crítica, hoje o termo usual é Número de Reynolds Crítico (Re_{cr}) (REYNOLDS, 1883). Reynolds também observou que o escoamento pode ter um terceiro modo com características intermediárias, ou seja, nem laminar, nem turbulento, chamado-o de Regime de Transição.

Os modos de escoamentos observados por Reynolds estão representados nas figuras a seguir.

Figura 1: Escoamento laminar



Fonte: (REYNOLDS, 1883).

Figura 2: Escoamento de transição



Fonte: (REYNOLDS, 1883).

Figura 3: Escoamento turbulento



Fonte: (REYNOLDS, 1883).

Na maioria dos casos de escoamento interno a faixa do número de Reynolds usualmente utilizado para a ocorrência destes três regimes são as seguintes (BISTAFA, 2018):

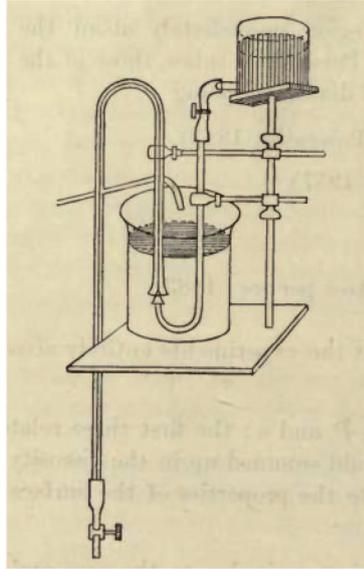
- $Re < 2300$, Escoamento laminar;
- $2300 \leq Re \leq 4000$, Escoamento de transição;
- $4000 < Re$, Escoamento turbulento.

2.2 Bancada de ensaio de Reynolds

O primeiro aparato utilizado por Reynolds, a seção de teste, consistia de um tubo de 1/4" de diâmetro que foi dobrado na forma de um sifão. Um lado do sifão tinha cerca de 2 pés de comprimento e outro lado por volta de 5 pés, como mostra a Figura 4 (REYNOLDS, 1883):

Utilizando este aparato Reynolds queria observar, a olho nú, a formação dos redemoinhos controlando facilmente a velocidade do escoamento. Este experimento foi motivado pelos resultados obtidos dos experimentos de Poiseuille e de Darcy (REYNOLDS, 1883).

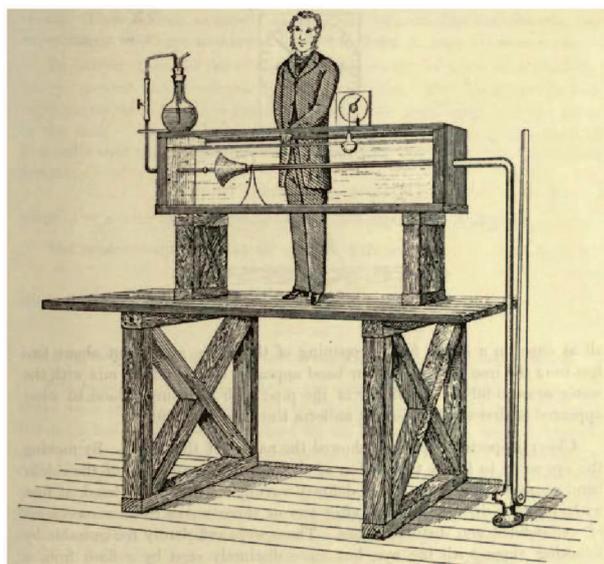
Figura 4: Primeiro aparato de Reynolds



Fonte: (REYNOLDS, 1883).

Um outro aparato foi construído depois, em uma escala maior para visualizar melhor as características do escoamento. As dimensões aproximadas da seção de teste do novo equipamento era, um tubo de 5 pés de comprimento com diâmetro de 1". O aparato pode ser visto na Figura 5 (REYNOLDS, 1883). A Figura 6 mostra o aparato original de Reynolds alocado na Universidade de Manchester no Reino Unido.

Figura 5: Aparato de Reynolds



Fonte: (REYNOLDS, 1883).

Figura 6: Aparato original de Reynolds na Universidade de Manchester



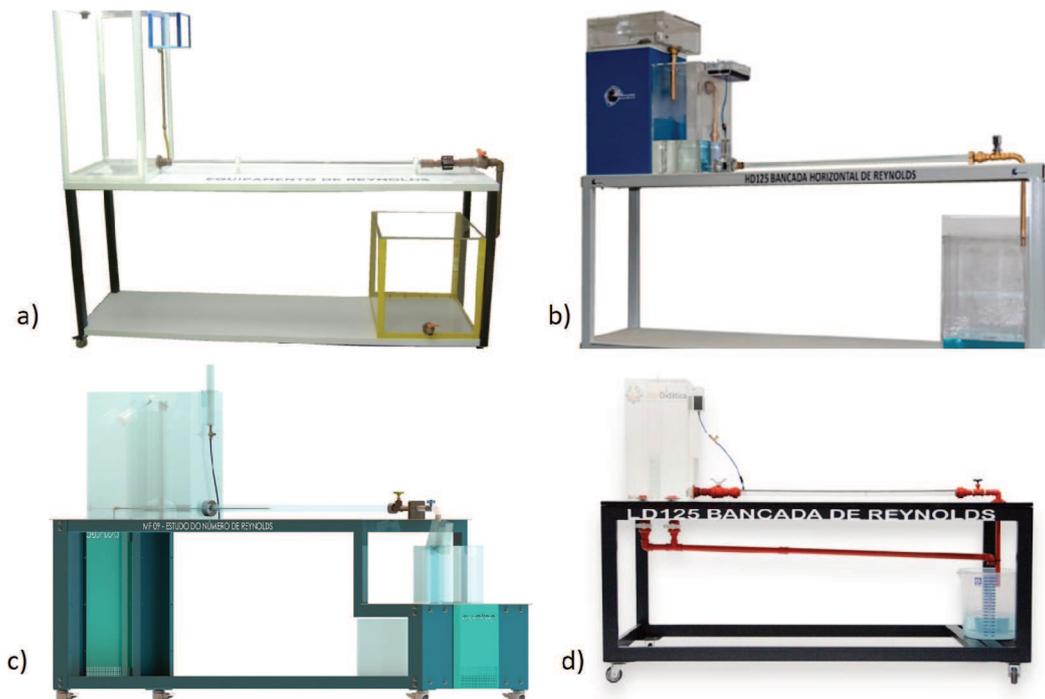
Fonte: (JACKSON; LAUNDER, 2007).

2.3 Bancada Didática Horizontal

As bancadas horizontais para experimento de número de Reynolds são assim denominadas pelo fato do tubo de visualização do escoamento estar na horizontal. Essas bancadas seguem a configuração original do aparato de Osborne Reynolds.

A Figura 7 mostra alguns modelos comercializados de bancadas horizontais para experimento de Reynolds.

Figura 7: Bancadas didáticas horizontais comerciais para o experimento de Reynolds



Fonte: a) AG-Didática b) Hidrodidática c) Owntec d) Líder Didática.

Entre os vários modelos comercializados, todas possuem características em comum, são montadas em uma estrutura metálica ou de alumínio. O comprimento da bancada pode variar de 1 m a 2 m e o diâmetro do tubo da seção de ensaio varia de 20 mm a 30 mm dependendo do fabricante.

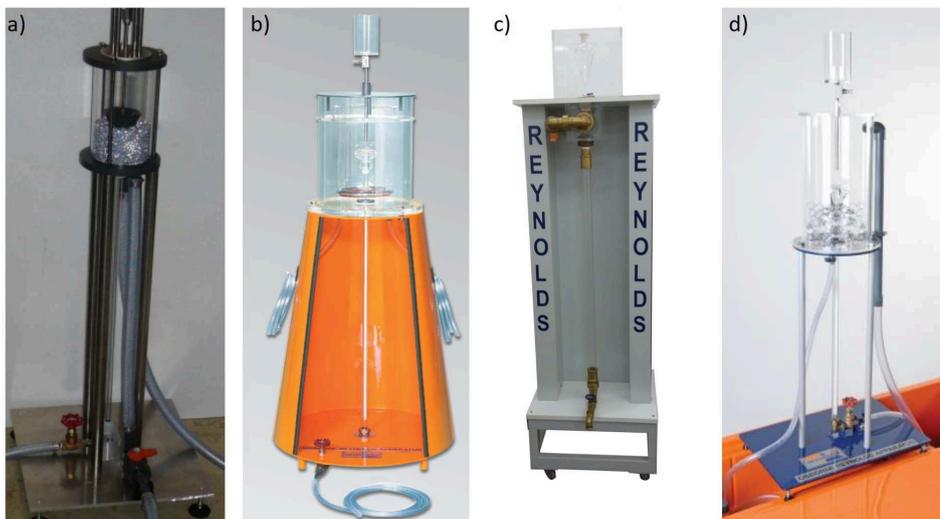
O corante fica em um reservatório diferenciado do reservatório de água e é injetado no escoamento por meio de uma agulha muito fina. A vazão do corante no experimento é controlada por uma válvula na saída do reservatório do corante.

Na saída do tubo de visualização, em alguns modelos, a água escoava para um recipiente graduado, onde é possível determinar a vazão medindo-se o volume e o seu tempo correspondente.

2.4 Bancada Didática Vertical

Esse modelo de bancada é menos comum que a bancada horizontal, mas existe no mercado. Uma vantagem deste tipo de configuração é o pouco espaço que bancada ocupa quando instalada. Alguns modelos comercializados são mostrados na Figura 8.

Figura 8: Bancadas didáticas verticais comerciais para o experimento de Reynolds



Fonte: a) Didatec b) Armfield c) Mlab d) Armfield.

A bancada vertical pode ter um reservatório de água na parte superior ou a alimentação de água pode ser diretamente do encanamento da rede de água. O diâmetro da tubulação da seção de teste, dependendo do fabricante, varia entre 10 mm e 20 mm .

O corante é injetado no experimento por meio de um tubo, onde em uma das extremidades tem um orifício muito pequeno. A vazão de alimentação do corante pode ser controlada por uma válvula localizada na saída do reservatório do corante.

A velocidade do escoamento na área de teste é controlada com uma válvula

localizada na base inferior do aparelho. Os vários modelos produzidos servem ao mesmo propósito e variam de uma empresa para outra no *design*, nas dimensões de altura, largura, diâmetro das tubulações e materiais utilizados.

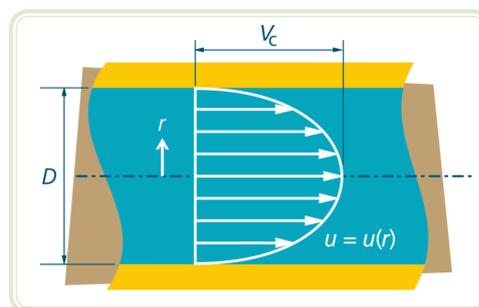
2.5 Escoamento Interno

O escoamento é classificado como externo e interno, e apresentam características muito diferentes (CENGEL; CIMBALA, 2007). Este trabalho lida somente com escoamentos internos, onde a tubulação é completamente preenchido pelo fluido.

No escoamento interno em tubos é sempre importante estar atento na queda de pressão e na perda de carga. Estas perdas são devido ao atrito, rugosidade do material do tubo, e componentes presentes na instalação da tubulação (válvulas, cotovelos, etc.). Uma vez determinada a perda de carga do escoamento na instalação da tubulação, pode-se escolher, por exemplo, uma bomba capaz de atender a necessidade da instalação (CENGEL; CIMBALA, 2007).

Segundo Cengel e Cimbala (2007), a velocidade do fluido em um tubo varia de zero junto à superfície interna, devido à condição de não-escorregamento, até o máximo na linha central do tubo como mostra a Figura 9. No escoamento de fluidos, embora a teoria seja bem estabelecida, normalmente simplifica-se as variáveis envolvidas baseado em dados experimentais, por exemplo a variação da velocidade é convertida para uma velocidade média (v) do fluido e sendo constante no escoamento incompressível, enquanto a área da seção do tubo não variar (CENGEL; CIMBALA, 2007). O valor de v em uma seção transversal do escoamento é determinado pelo princípio da conservação de massa, logo:

Figura 9: Perfil de velocidade do fluido em escoamento interno



Fonte: (VILANOVA, 2011)

$$\dot{m} = \rho v A = \int_A \rho u(r) dA \quad (2.10)$$

e então:

$$v = \frac{\int_A \rho u(r) dA}{\rho A} = \frac{\int_0^R \rho u(r) 2\pi r dr}{\rho \pi R^2} = \frac{2}{R^2} \int_0^R u(r) dr \quad (2.11)$$

onde,

\dot{m} : vazão em massa;

ρ : densidade do fluido;

A : área de seção transversal;

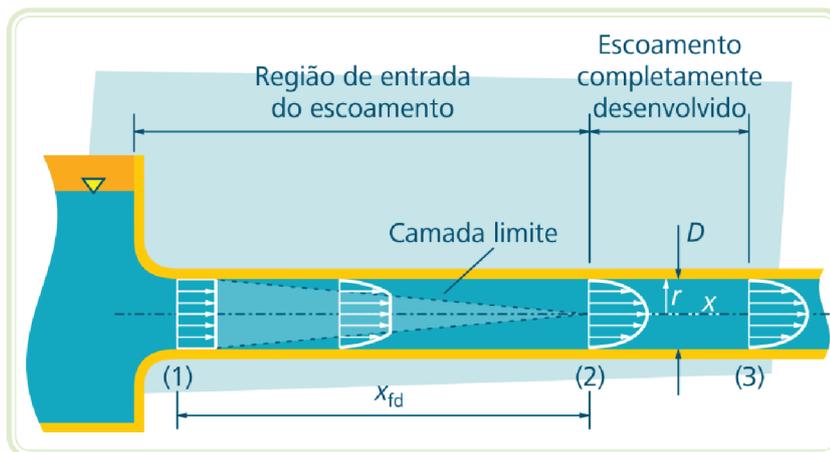
$u(r)$: perfil de velocidade do escoamento;

R : raio interno do tubo ($D/2$).

2.6 Região de entrada

O perfil de velocidade do escoamento de um fluido na entrada do tubo é praticamente uniforme. Devido a condição de não-escorregamento forma-se uma camada limite na parede do tubo, que gera uma força de cisalhamento contrária ao sentido do escoamento, reduzindo assim a velocidade do fluido na vizinhança da parede do tubo. Nos escoamentos incompressíveis, pela a lei conservação da massa, a velocidade próxima a parede que é reduzida deve ser compensada na velocidade na região central do escoamento (FOX et al., 2006).

Figura 10: Perfil de velocidade do escoamento completamente desenvolvido



Fonte: (VILANOVA, 2011).

O escoamento após um certo comprimento, X_{fd} , a partir da entrada do tubo, o perfil de velocidade passa a ser constante e é dito que o perfil está completamente desenvolvido, como mostra a Figura 10. A distância entre a entrada e o momento onde o perfil passa a ser completamente desenvolvido chama-se comprimento de entrada. O comprimento de entrada varia dependendo do escoamento ser laminar

ou turbulento. Segundo Cengel e Cimbala (2007), o comprimento de entrada pode ser determinado pela Equação 2.12 para escoamento laminar e Equação 2.13 para escoamento turbulento:

$$X_{fd,l} = 0,05 Re D \quad (2.12)$$

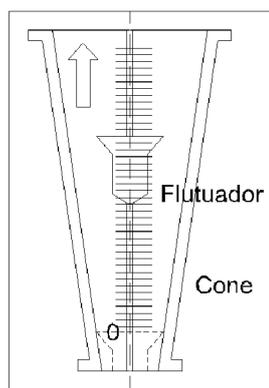
$$X_{fd,t} = 10 D \quad (2.13)$$

2.7 Medidores de Vazão

Existem diferentes tipos de medidores de vazão, os quais a especificação de um modelo depende da condição de trabalho e sua aplicação. Por exemplo, medidor de vazão por deslocamento positivo, medidor de vazão tipo turbina, medidor de vazão ultra-sônicos, medidores de vazão eletromagnéticos, medidor de vazão de vórtice, medidor de vazão de área variável, são os medidores mais conhecidos no mercado.

Neste projeto é utilizado o medidor de vazão de área variável, também conhecido como Rotâmetro. Este tipo de medidor é constituído de um tubo cônico vertical de material transparente (vidro ou plástico), contendo um flutuador que pode mover-se na vertical. A posição vertical do flutuador é lida numa escala graduada, que em geral, é marcada no próprio tubo de vidro ou plástico do medidor. O esquema do rotâmetro pode ser vista na Figura 11.

Figura 11: Rotâmetro



Fonte: (Marcos Carvalho Campos, 2015).

Quando não houver vazão, o flutuador permanece na posição inferior (0). Na existência de vazão, o flutuador sobe até uma posição tal que a força direcionada para cima, resultante do arrasto do fluxo, se torna igual à força peso. Em equilíbrio, a força vertical resultante que atua no flutuador é nula. O peso do flutuador não varia,

o que muda é a área da seção do fluxo, ou seja, quanto maior a vazão, maior a área necessária para o equilíbrio das forças (Marcos Carvalho Campos, 2015).

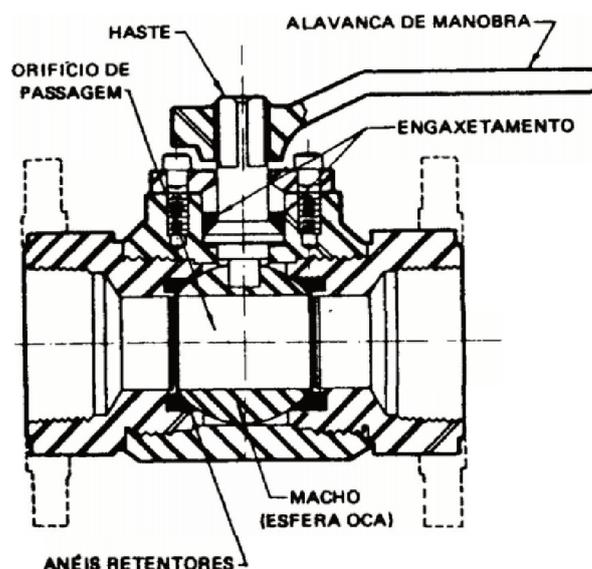
2.8 Válvulas

Segundo Telles (1997), as válvulas são dispositivos destinados a estabelecer, controlar e interromper o fluxo em uma tubulação. São um dos acessórios mais importantes existentes nas tubulações. Existem vários modelos de válvulas, dependendo da aplicação necessária, as mais usuais são as válvulas de bloqueio e as de controle.

2.8.1 Válvulas de Bloqueio

As válvulas de bloqueio servem essencialmente para interromper o fluxo, isto é, devem funcionar completamente abertas ou completamente fechadas. As válvulas de bloqueio podem ser utilizadas em ambientes amenos ou agressivos, em líquidos muito ou pouco densos, podendo ou não haver partículas e sedimentos dentro do escoamento. Para cada situação existe um modelo de válvula que melhor se adapta as circunstancias envolvidas. Os modelos mais comuns utilizados nas indústrias para aplicação de bloqueio são as válvulas esfera, gaveta, e macho (TELLES, 1997).

Figura 12: Válvula Esfera



Fonte: (TELLES, 1997).

Para fazer o bloqueio do escoamento neste projeto, foi escolhida a válvula esfera. Essa válvula é composta por uma esfera vazada que gira no seu eixo, deslizando entre anéis retentores de material resiliente não metálico, o que realiza o estanque do fluxo.

As válvulas de esfera possuem baixa perda de carga, garantem acionamento suave, aberturas e fechamentos rápidos (TELLES, 1997).

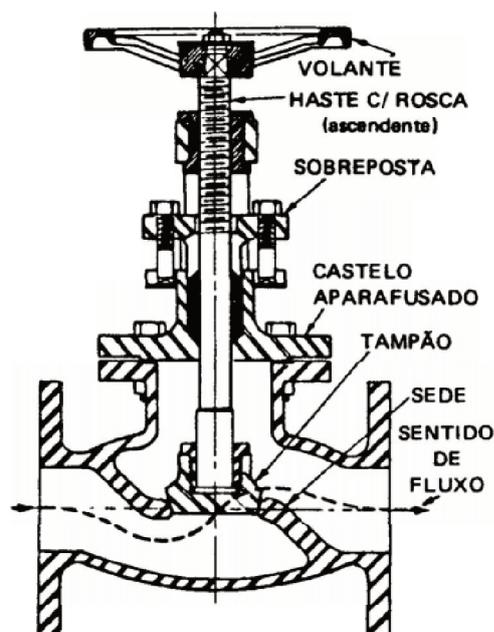
2.8.2 Válvulas de Controle

Válvulas de regulação ou válvulas de controle, são utilizadas unicamente para controlar o fluxo, podendo trabalhar em várias posições de fechamento parcial. Alguns modelos comercializados desse tipo de válvulas são as válvulas borboleta, válvulas globo, válvulas agulha, e válvulas de diafragma. Para o controle da vazão, é desejado uma válvula capaz de controlar o fluxo gradativamente. Tendo isso em vista, foi selecionada a válvula de globo para o projeto.

Na válvula globo o fechamento é feito por meio de um tampão que se ajusta contra uma única sede, cujo orifício está geralmente em posição paralela ao sentido geral de escoamento do fluido. A válvula globo pode trabalhar em qualquer posição intermediária, realizando assim o controle da vazão, além de poder trabalhar totalmente aberta e fechada. São normalmente empregadas em serviços que requerem operações frequentes de abertura e fechamento, bem como controle de vazão (TELLES, 1997).

Essa válvula tem grande perda de carga, devido a mudança de direção do fluido através da válvula, como mostra a Figura 13. Sendo o padrão para essas válvulas a montagem de forma que o fluido entra pela parte inferior do tampão.

Figura 13: Válvula Globo

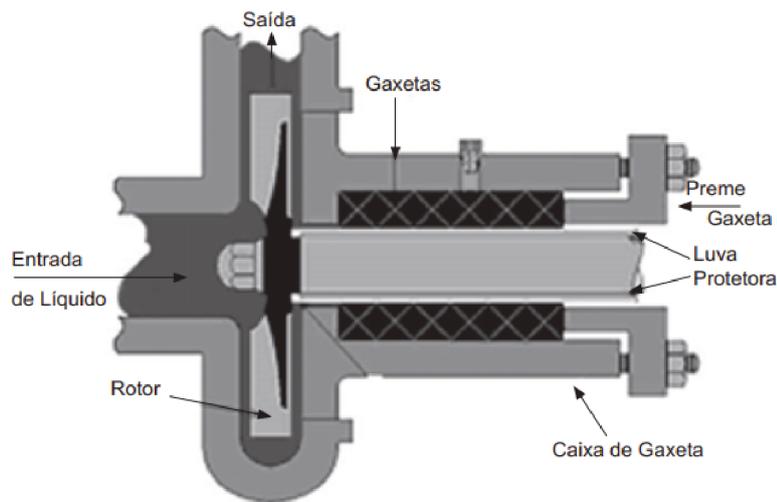


Fonte: (TELLES, 1997).

2.9 Bombas Hidráulicas

Bomba é uma máquina de fluido que adiciona energia ao fluido. As bombas podem ser classificadas pela forma com que elas transferem energia para o fluido. As classificações mais usuais são as turbomáquinas (bombas e turbinas) e as bombas de deslocamento positivo.

Figura 14: Modelo de uma bomba centrífuga



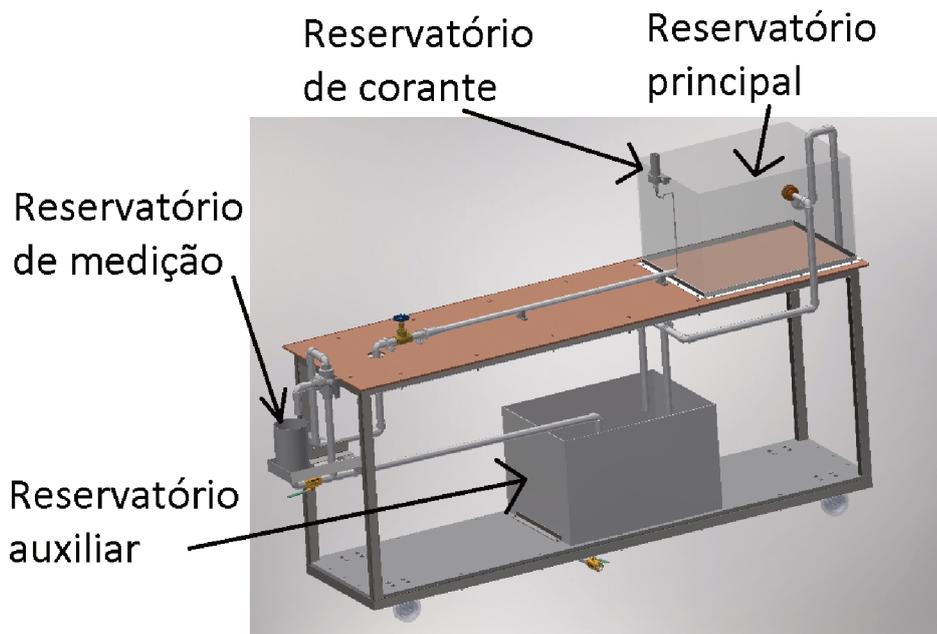
Fonte: (Gerner Valter Rubens, 2009).

Na bomba centrífuga a movimentação do líquido ocorre pela ação de forças que se desenvolvem na massa do líquido, consequência da rotação de um eixo no qual é acoplado um disco (rotor ou impulsor) dotado de pás (palhetas, hélice) que recebe o líquido pelo seu centro e o expulsa pela periferia, devido à ação da força centrífuga. Essas bombas são projetadas para possuir um melhor rendimento hidráulico, gerando economia de energia. É amplamente utilizada nas indústrias para transporte de água (Gerner Valter Rubens, 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Como visto, existem diferentes modelos de bancadas didáticas que possibilitam a realização do experimento de Reynolds. Neste projeto é adotado o modelo mais comum, a de bancada horizontal, similar ao aparato idealizado por Reynolds. Tem-se a seguir, Figura 15, uma visualização de como é a bancada.

Figura 15: Projeto da bancada horizontal



Fonte: Autoria própria.

A bancada didática possui três reservatórios de água no total. O primeiro reservatório (principal) é para armazenar a água que será utilizada no experimento. O segundo (reservatório de medição) é de plástico graduado para permitir determinar a vazão no experimento, além do uso do rotâmetro. O terceiro reservatório (auxiliar) é para coletar a água utilizada no experimento, que será transferida para o reservatório principal por meio de uma bomba centrífuga.

A utilização de um corante é necessária para visualização do escoamento dentro da tubulação. Nesse experimento é utilizado o permanganato de potássio diluído em água que é introduzida no escoamento por uma agulha.

O reservatório de corante é um recipiente de plástico fixado por meio de um suporte no reservatório principal da bancada, de maneira que ele possa ser retirado caso haja necessidade de manutenção e limpeza.

A estrutura metálica é constituída de perfis retangulares de aço carbono SAE 1020. A bancada tem rodízios em sua base para facilitar a sua locomoção, caso necessário.

O sistema hidráulico da bancada utiliza tubulações e joelhos de PVC, mangueira cristal, e um tubo de acrílico transparente para visualização do experimento.

A bancada contém válvulas esfera e globo, que permitem o bloqueio e o controle do fluxo de água visto no Apêndice B.

4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Para o projeto da bancada didática, algumas premissas devem ser tomadas seguindo o modelo apresentado no capítulo anterior, sendo elas:

- O fluido de trabalho utilizado no experimento;
- A vazão do escoamento;
- A amplitude que o número de Reynolds pode atingir no experimento.

O fluido a ser utilizado no experimento é a água em temperatura ambiente, devido a facilidade operacional de obtenção e descarte, assim como ter as propriedades bem estabelecidas na literatura. As propriedades da água encontram-se no Anexo A.

Após definido o fluido de trabalho, a bancada deve ser capaz de reproduzir os escoamentos laminar, transição, e turbulento. Assim, é necessário que o número de Reynolds varie de 0 (ausência de escoamento) até valores superiores a 4000 (escoamento turbulento).

O diâmetro da tubulação é um parâmetro importante na determinação do número de Reynolds. Dois diâmetros de tubo de acrílico comercial foram escolhidos para a seção de teste, sendo elas de 20 e 25 mm. Para cada diâmetro deve ser verificado qual atende melhor os critérios para o comprimento de entrada do escoamento, produzindo uma região maior para a visualização do experimento.

Utilizando a Equação 2.12 e Equação 2.13 para os diâmetros de 20 mm e 25 mm, o comprimento de entrada fica:

$$X_{fd,l} = 0,05 Re D = 0,05 \times 2300 \times 20 \text{ mm} = 2,30 \text{ m}$$

$$X_{fd,l} = 0,05 Re D = 0,05 \times 2300 \times 25 \text{ mm} = 2,88 \text{ m}$$

$$X_{fd,t} = 10 D = 10 \times 20 \text{ mm} = 0,20 \text{ m}$$

$$X_{fd,t} = 10 D = 10 \times 25 \text{ mm} = 0,25 \text{ m}$$

Após verificado quais os comprimentos de entrada para cada caso, é necessário calcular qual a velocidade e a vazão que o fluido irá atingir no experimento. A velocidade média pode ser determinada como:

$$v = \frac{Re \mu}{\rho D} \quad (4.1)$$

e a vazão volumétrica como:

$$\dot{V} = \frac{v \pi D^2}{4} \quad (4.2)$$

Assim tem-se na Tabela 1 um comparativo dos valores encontrados para os dois diâmetros estudados.

Tabela 1: Comparativo entre as tubulações

Tubulação (mm)	N_o Reynolds	Velocidade (m/s)	Vazão (L/h)	X_{fa} (m)
ϕ 20	2300	0,116	131	2,3
ϕ 20	5000	0,253	286	0,2
ϕ 25	2300	0,093	164	2,875
ϕ 25	5000	0,202	357	0,25

Fonte: Autoria própria

Comparando os dois diâmetros dos tubos, tem-se que a tubulação com o maior diâmetro possui um maior comprimento de entrada, e, com isso, uma maior área que possibilita a visualização do escoamento sem interferência da viscosidade, portanto, essa é a tubulação escolhida para ser utilizada na bancada didática.

Utilizando um reservatório comercial com capacidade de 150 L e estimando um volume de 120 L de água para o experimento, teria então cerca de 20 min para realizar o experimento com a vazão de 357 L/h, sem acionar a bomba para alimentar o reservatório principal.

A bomba utilizada tem capacidade de 400 L/h e pode trabalhar sempre ligada, já que no reservatório principal existe um extravasor, popularmente conhecido como "ladrão", para evitar que o nível de água não ultrapasse o limite máximo do reservatório.

Além da tubulação da seção de ensaio, a bancada possui tubulações de PVC com 25 mm de diâmetro conectando as diferentes partes da bancada, a primeira para ligar o tubo de acrílico ao reservatório de medição, outra conectando o reservatório de medição ao reservatório auxiliar, outra para permitir o esvaziamento do reservatório auxiliar e a última para permitir a circulação de água do reservatório auxiliar até o principal. Esta se conecta à bomba hidráulica por meio de adaptadores. E uma mangueira de silicone que liga o reservatório de corante a entrada da tubulação de acrílico.

Para controlar o fluxo do escoamento na seção de teste é utilizado uma válvula globo. Duas outras válvulas esfera permitem um estanque total do sistema. Uma é localizada na saída do reservatório de medição e a outra é fixada no reservatório auxiliar, sendo esta, utilizada para esvaziar a água do tanque auxiliar. A bancada tem uma válvula esfera de três vias em PVC que permite o direcionamento do fluxo. Uma válvula agulha é instalada na tubulação de corante para o controle da vazão do corante.

A bancada tem um rotâmetro na tubulação após a seção de ensaio para medir a vazão (além do reservatório de medição).

A estrutura da bancada é construída utilizando tubos de perfil retangular de aço SAE 1020, com espessura de $1/8$ ".

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As dimensões da bancada didática para o experimento de Reynolds ficaram: $2,5\text{ m}$ de comprimento, $0,7\text{ m}$ de largura e $1,7\text{ m}$ de altura. Foi utilizado um reservatório comercial de água de 150 L , para um volume útil estimado de 120 L . A seção de ensaio utiliza um tubo de acrílico de 25 mm de diâmetro, espessura de 3 mm , e tem $1,2\text{ m}$ de comprimento. A bomba utilizada tem capacidade de bombear até 400 L/h de água. O projeto detalhado da bancada com as dimensões de cada componente e a montagem das partes está demonstrado em sua totalidade no Apêndice B.

O valor da bancada previsto para este projeto é $R\$ 1.289,31$, enquanto uma no mercado custa de $R\$ 15.000,00$ a $R\$ 49.000,00$, dependendo do modelo e do fornecedor. O levantamento de custo pode ser observado na Tabela 3 do Apêndice A, onde estão listados todos os componentes utilizados. A Tabela 2 do Apêndice A, apresenta os valores cobrados pelas empresas especializadas em equipamentos didáticos.

Assim, espera-se que o projeto possa ser útil para construção de uma bancada e que possa ser utilizada nas aulas práticas, complementando a teoria vista em sala de aula no curso de Mecânica dos Fluidos.

6 SUGESTÃO PARA TABALHOS FUTUROS

Como é acrescentado corante ao fluido de trabalho, ao longo do tempo surgirá a necessidade de trocar a água da bancada. Neste sentido, existe a possibilidade de utilizar elementos químicos para retirar a coloração da água causada pelo corante, o que permitiria que o experimento pudesse ser continuado sem a necessidade da troca da água. Alguns componentes levantados para realizar essa função são: água oxigenada com vinagre e sal azedo. Poderia ser pesquisado mais alguns componentes e também o quanto de cada um seria necessário para tornar a água incolor novamente, e ainda, o quanto esses elementos químicos influenciariam nas propriedades da água.

REFERÊNCIAS

BISTAFA, S. R. **Mecânica dos fluidos: noções e aplicações**. [S.l.]: Editora Blucher, 2018. Citado na página 23.

CENGEL, Y.; CIMBALA, J. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações**. McGraw-Hill, 2007. ISBN 9788586804588. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=utWVPgAACAAJ>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 29.

FELDER, R. M.; SILVERMAN, L. K. et al. Learning and teaching styles in engineering education. **Engineering education**, v. 78, n. 7, p. 674–681, 1988. Citado na página 19.

FOX, R. W. et al. Mecânica dos fluidos. **Livros Técnicos e Científicos**, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 45.

Gerner Valter Rubens. **Bombas Guia Básico/Eletróbás [et al]. Brasília:IEL/NC.2009**. [S.l.: s.n.], 2009. 56–156 p. ISBN 9788587257321. Citado na página 32.

JACKSON, D.; LAUNDER, B. Osborne reynolds and the publication of his papers on turbulent flow. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 39, n. 1, p. 19–35, 2007. ISSN 0066-4189. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.fluid.39.050905.110241>>. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 25.

Marcos Carvalho Campos. Apostila - Sistemas de Medicao . 2015. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.

REYNOLDS, O. Xxix. an experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, The Royal Society, v. 174, p. 935–982, 1883. Citado 4 vezes nas páginas 19, 22, 23 e 24.

TELLES, P. da S. **Tubulações industriais: materiais, projeto, montagem**. LTC, 1997. ISBN 9788521611196. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=HvI9kQEACAAJ>>. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.

VILANOVA, L. C. Mecânica dos Fluidos. p. 82, 2011. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

ANEXO A – PROPRIEDADES DA ÁGUA EM TEMPERATURA AMBIENTE

Figura 16: Propriedades da água a temperatura ambiente

Temperatura $T(^{\circ}\text{C})$	Massa Específica, ρ (kg/m^3)	Viscosidade Dinâmica, μ ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)	Viscosidade Cinemática, ν (m^2/s)	Tensão Superficial, σ (N/m)	Pressão de Vapor, $p_v(\text{kPa})$	Módulo de Compressibilidade, $E_v(\text{GPa})$
0	1000	1,76E-03	1,76E-06	0,0757	0,661	2,01
5	1000	1,51E-03	1,51E-06	0,0749	0,872	
10	1000	1,30E-03	1,30E-06	0,0742	1,23	
15	999	1,14E-03	1,14E-06	0,0735	1,71	
20	998	1,01E-03	1,01E-06	0,0727	2,34	2,21
25	997	8,93E-04	8,96E-07	0,0720	3,17	
30	996	8,00E-04	8,03E-07	0,0712	4,25	
35	994	7,21E-04	7,25E-07	0,0704	5,63	
40	992	6,53E-04	6,59E-07	0,0696	7,38	
45	990	5,95E-04	6,02E-07	0,0688	9,59	
50	988	5,46E-04	5,52E-07	0,0679	12,4	2,29
55	986	5,02E-04	5,09E-07	0,0671	15,8	
60	983	4,64E-04	4,72E-07	0,0662	19,9	
65	980	4,31E-04	4,40E-07	0,0654	25,0	
70	978	4,01E-04	4,10E-07	0,0645	31,2	
75	975	3,75E-04	3,85E-07	0,0636	38,6	
80	972	3,52E-04	3,62E-07	0,0627	47,4	
85	969	3,31E-04	3,41E-07	0,0618	57,8	
90	965	3,12E-04	3,23E-07	0,0608	70,1	2,12
95	962	2,95E-04	3,06E-07	0,0599	84,6	
100	958	2,79E-04	2,92E-07	0,0589	101	

Fonte: (FOX et al., 2006).

APÊNDICE A – TABELAS DE CUSTOS

Tabela 2: Custo da bancada didática comercial (Dólar à R\$ 4,13)

Empresas	Preço (R\$)	Preço (U\$)
Empresa A	15.000,00	3.632,00
Empresa B	16.000,00	3.874,10
Empresa C	29.450,00	7.130,75
Empresa D	30.999,00	7.505,80
Empresa E	49.000,00	11.864,40

Fonte: Autoria própria.

Componente	Quantidade	Descrição	Preço un (R\$)	Preço (R\$)	Preço (\$)
Parafuso Frances	29	M8 x 65mm	0,60	17,40	4,21
Arruela lisa	29	φ 8,5 mm	0,12	3,48	0,84
Porca sextavada	29	M8	0,30	8,70	2,11
Parafuso allen	42	M6 x 10	0,55	23,10	5,59
Parafuso allen	3	M6 x 30	0,24	0,72	0,17
Parafuso allen	2	M6 x 50	0,34	0,68	0,16
Arruela lisa	2	φ 6,5 mm	0,12	0,24	0,06
Porca sextavada	2	M6	0,04	0,08	0,02
Tubo PVC	2	6 metros com φ 1"	19,90	39,80	9,64
Cola PVC	1	175g	12,90	12,90	3,12
Valvula esfera PVC	2	φ 1"	7,90	15,80	3,83
Valvula esfera PVC	1	3 Vias, φ 1"	156,00	156,00	37,77
Joelho PVC	18	Soldavel com φ 1"	1,00	18,00	4,36
Joelho PVC	1	Uma entrada com rosca interna e com φ 1"	2,00	2,00	0,48
Nipple	2	M32 com rosca externa e φ 1"liso	1,50	3,00	0,73
Abraçadeira	7	Clip PVC φ 1"	4,12	28,84	6,98
Rodizios	4	Roda de φ 3"com freios	23,50	94,00	22,76
Tê de PVC	1	φ 1"	1,57	1,57	0,38
Conjunto de Flange PVC	1	φ 1"	12,00	12,00	2,91
Valvula globo PVC	1	φ 1"	8,00	8,00	1,94
Reservatorio principal	1	0,765 x 0,56 x 0,49 m	55,00	55,00	13,32
Reservatorio auxiliar	1	76,5 x 56 x 49 cm	55,00	55,00	13,32
Reservatorio medição	1	12 litros, graduado	30,00	30,00	7,26
Bomba hidráulica	1	Vazão de 400 L/h	18,00	18,00	4,36
Adaptador da bomba	1	Nylon	10,00	10,00	2,42
Chapa de compensado naval	1	1,6 x 2,3 x 0,015 m	129,00	129,00	31,23
Tubo de acrilico	1	2000 x 25 x 3mm	90,00	90,00	21,79
Suporte de acrilico	2	usinado	10,00	20,00	4,84
mangueira cristal	1	φ 4 mm, comprimento de 0,5m	8,00	8,00	1,94
Componente de injeção de corante	1	mangueira de silicone de φ4 mm com válvula de agulha	2,00	2,00	0,48
Suporte do corante	1	nylon ou acrilico	15,00	15,00	3,63
Perfil quadrado de aço 1020 vazado	3	barra de 6 metros perfil 2"x 1.1/2"	32,00	96,00	23,24
Adaptador da bomba	1	parker barb to pipe 28 - 5/32"	15,00	15,00	3,63
Rotâmetro	1	conexao φ 1"vazão de 65 a 650 L/h	300,00	300,00	72,64
VALOR TOTAL			1.289,31	312,18	

Tabela 3: Preço dos componentes

APÊNDICE B – DETALHES DO PROJETO

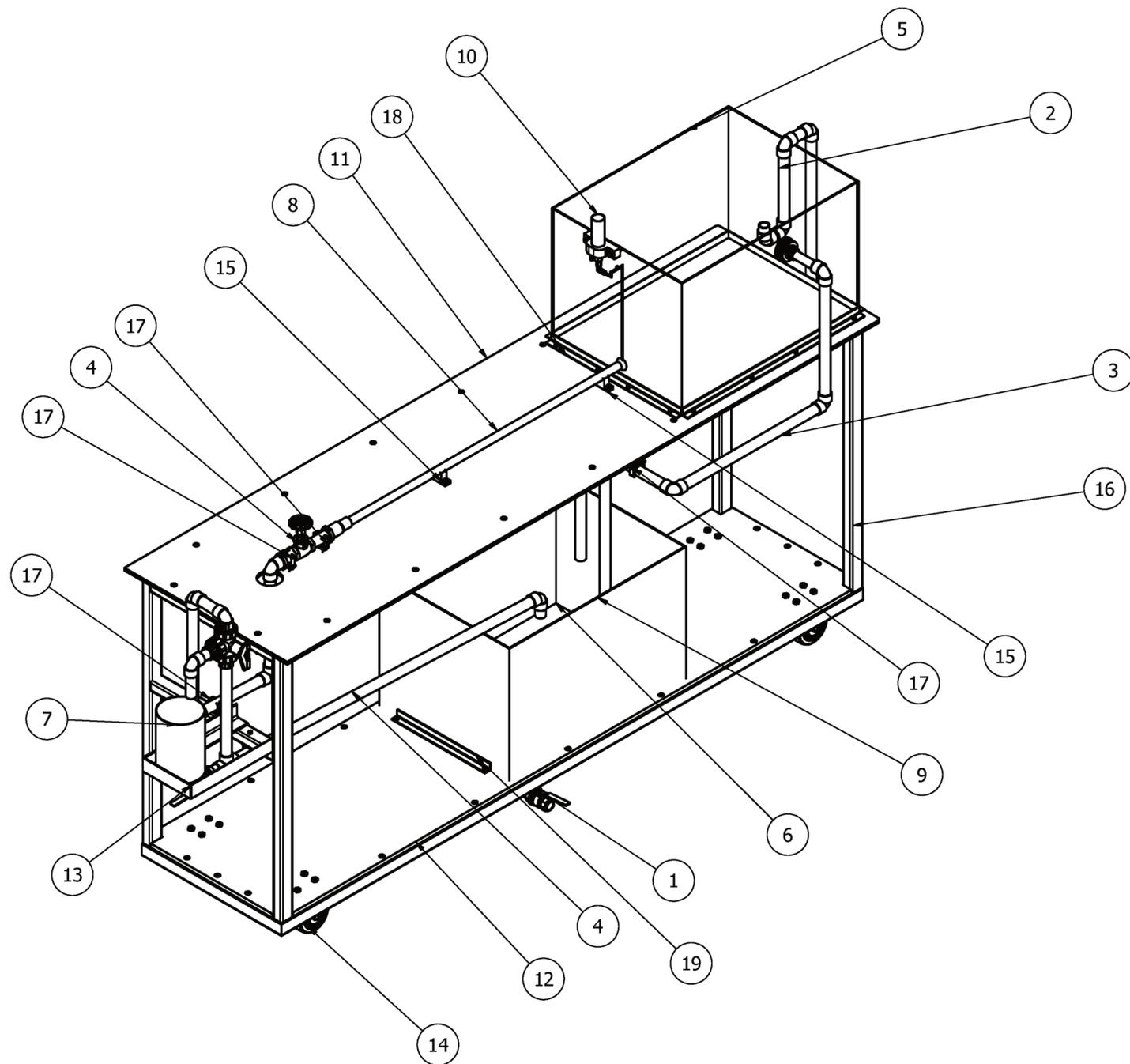
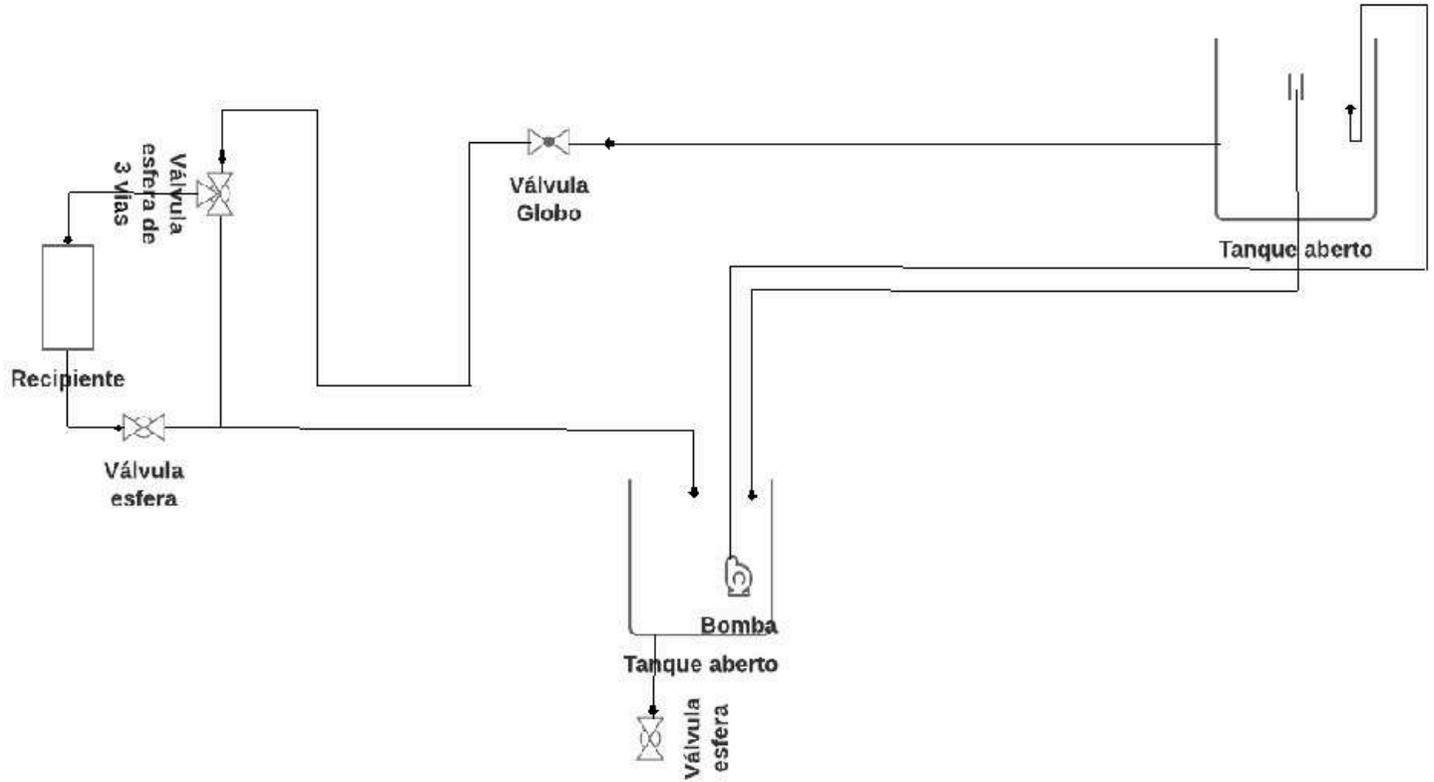
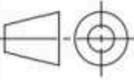


TABELA DE COMPONENTES			
ITEM	QTDE	COMPONENTE	DIMENSÃO
1	1	Tubulação de descarga	
2	1	Tubulação de fornecimento de água	
3	1	Tubulação de retorno	
4	1	Tubulação de saída	
5	1	Reservatório principal	
6	1	Reservatório auxiliar	
7	1	Reservatório de medição	
8	1	Tubo de acrílico	
9	1	Bomba hidráulica	
10	1	Alimentação de corante	
11	1	Tampo superior	
12	1	Tampo inferior	
13	1	Suporte do reservatório de medição	
14	4	Rodozio	
15	2	Suporte do acrílico	
16	1	Estrutura da bancada	
17	6	Abraçadeira para tubo de 1"	
18	1	Trava do reservatório principal	
19	1	Trava do reservatório auxiliar	

	Escala 1:12	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura



	Escala 	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº 	Componente DIAGRAMA DA TUBULAÇÃO
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura

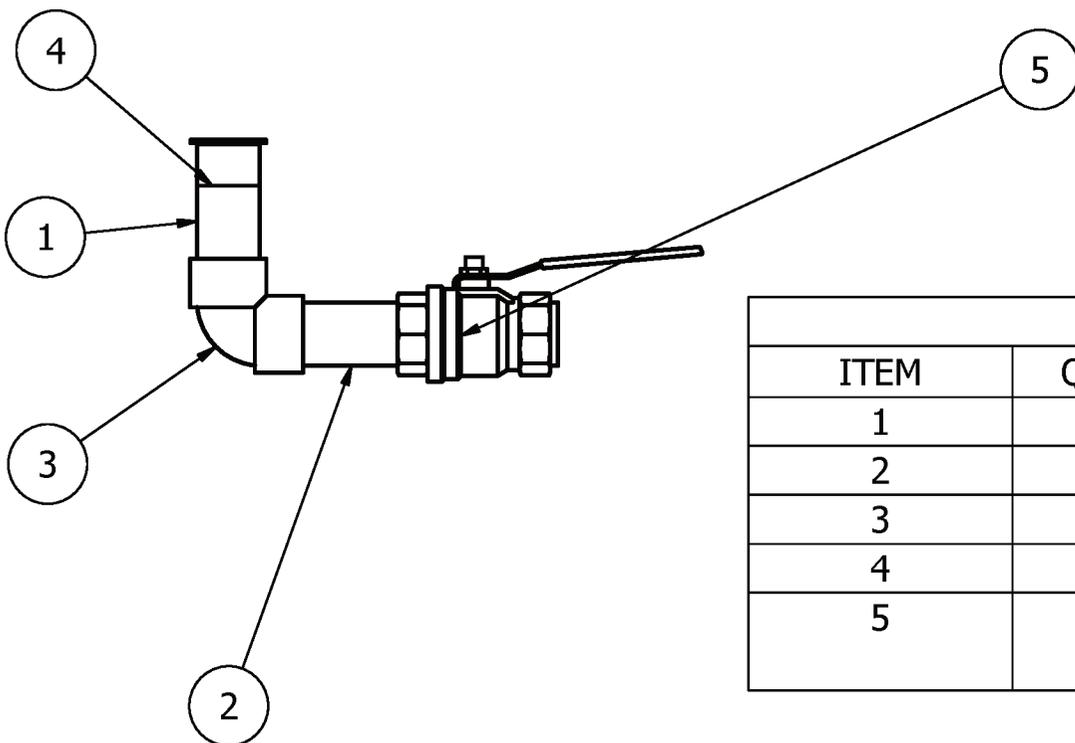


TABELA DE COMPONENTES			
ITEM	QTDE	COMPONENTE	DIMENSÃO
1	1	Tubo PVC	1" X 81,28 mm
2	1	Tubo PVC	1" X 157,5mm
3	1	Joelho de PVC	1"
4	1	Redutor de PVC	1"x3/4
5	1	Válvula esfera de PVC soldavel	1"

Obs: As tubulações são fixadas com cola para PVC

	Escala 1 : 4	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente TUBULAÇÃO DE DESCARGA
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura

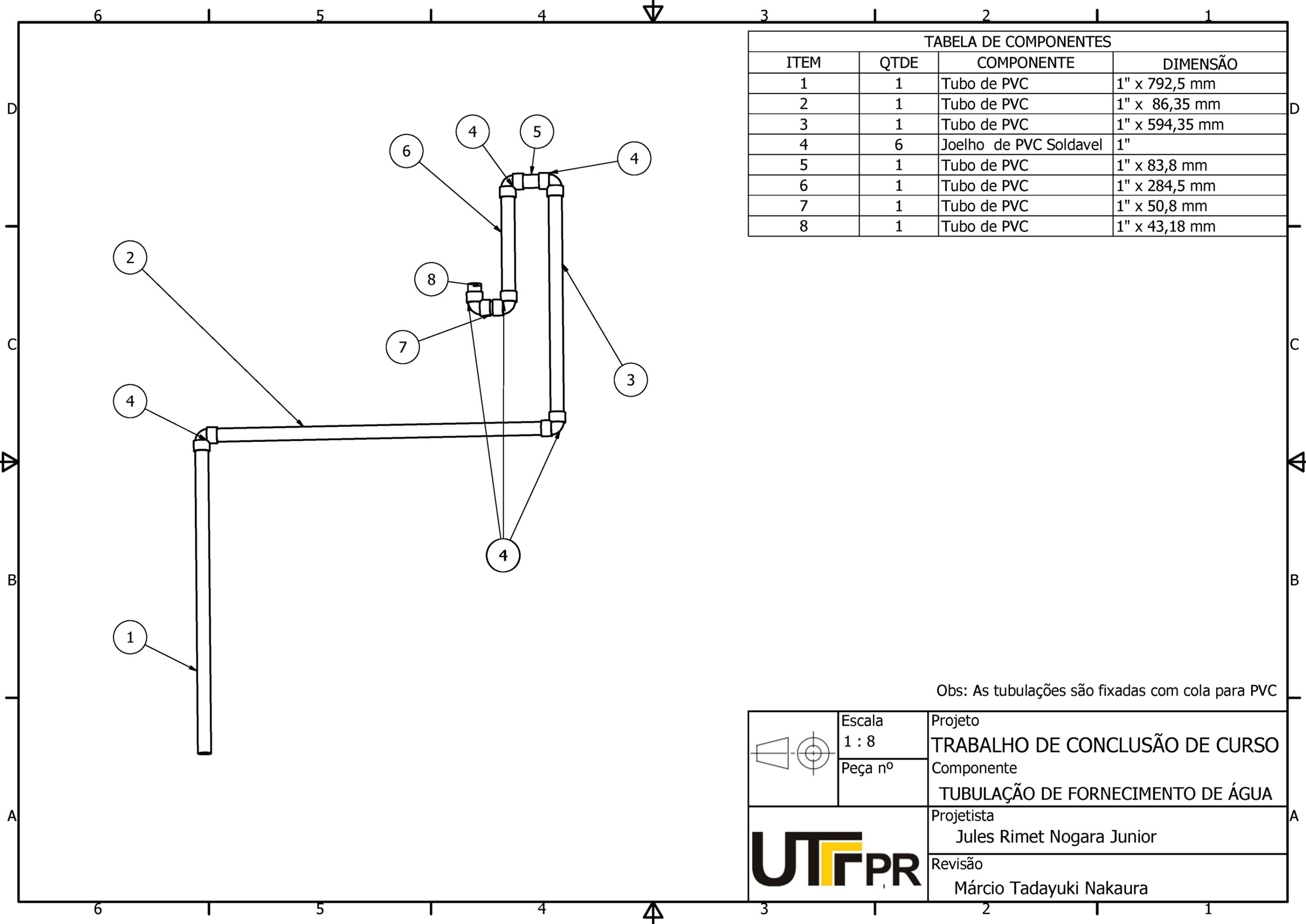


TABELA DE COMPONENTES			
ITEM	QTDE	COMPONENTE	DIMENSÃO
1	1	Tubo de PVC	1" x 792,5 mm
2	1	Tubo de PVC	1" x 86,35 mm
3	1	Tubo de PVC	1" x 594,35 mm
4	6	Joelho de PVC Soldavel	1"
5	1	Tubo de PVC	1" x 83,8 mm
6	1	Tubo de PVC	1" x 284,5 mm
7	1	Tubo de PVC	1" x 50,8 mm
8	1	Tubo de PVC	1" x 43,18 mm

Obs: As tubulações são fixadas com cola para PVC

	Escala 1 : 8	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente TUBULAÇÃO DE FORNECIMENTO DE ÁGUA
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura

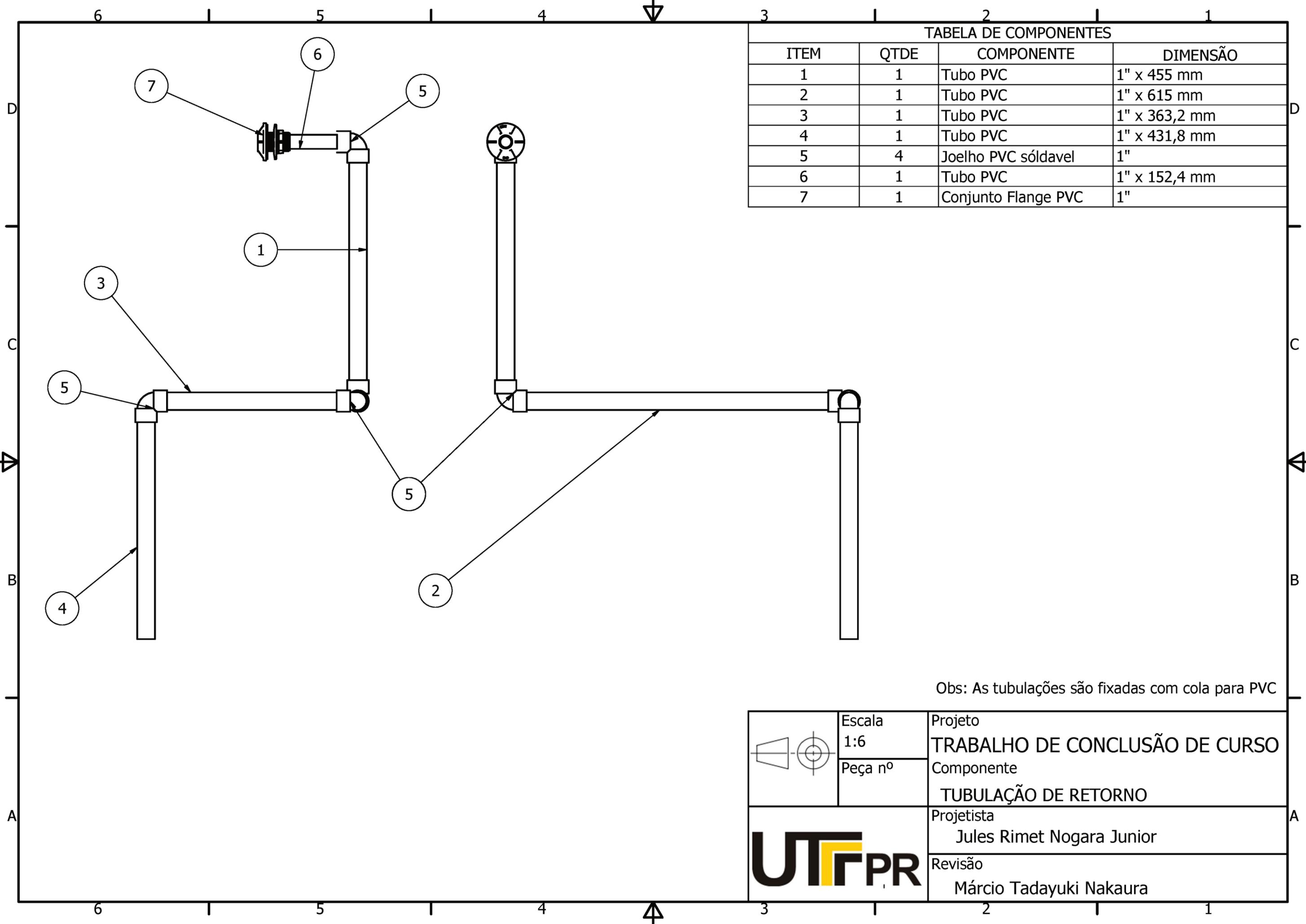


TABELA DE COMPONENTES			
ITEM	QTDE	COMPONENTE	DIMENSÃO
1	1	Tubo PVC	1" x 455 mm
2	1	Tubo PVC	1" x 615 mm
3	1	Tubo PVC	1" x 363,2 mm
4	1	Tubo PVC	1" x 431,8 mm
5	4	Joelho PVC sóldavel	1"
6	1	Tubo PVC	1" x 152,4 mm
7	1	Conjunto Flange PVC	1"

Obs: As tubulações são fixadas com cola para PVC

	Escala 1:6	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente TUBULAÇÃO DE RETORNO
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura

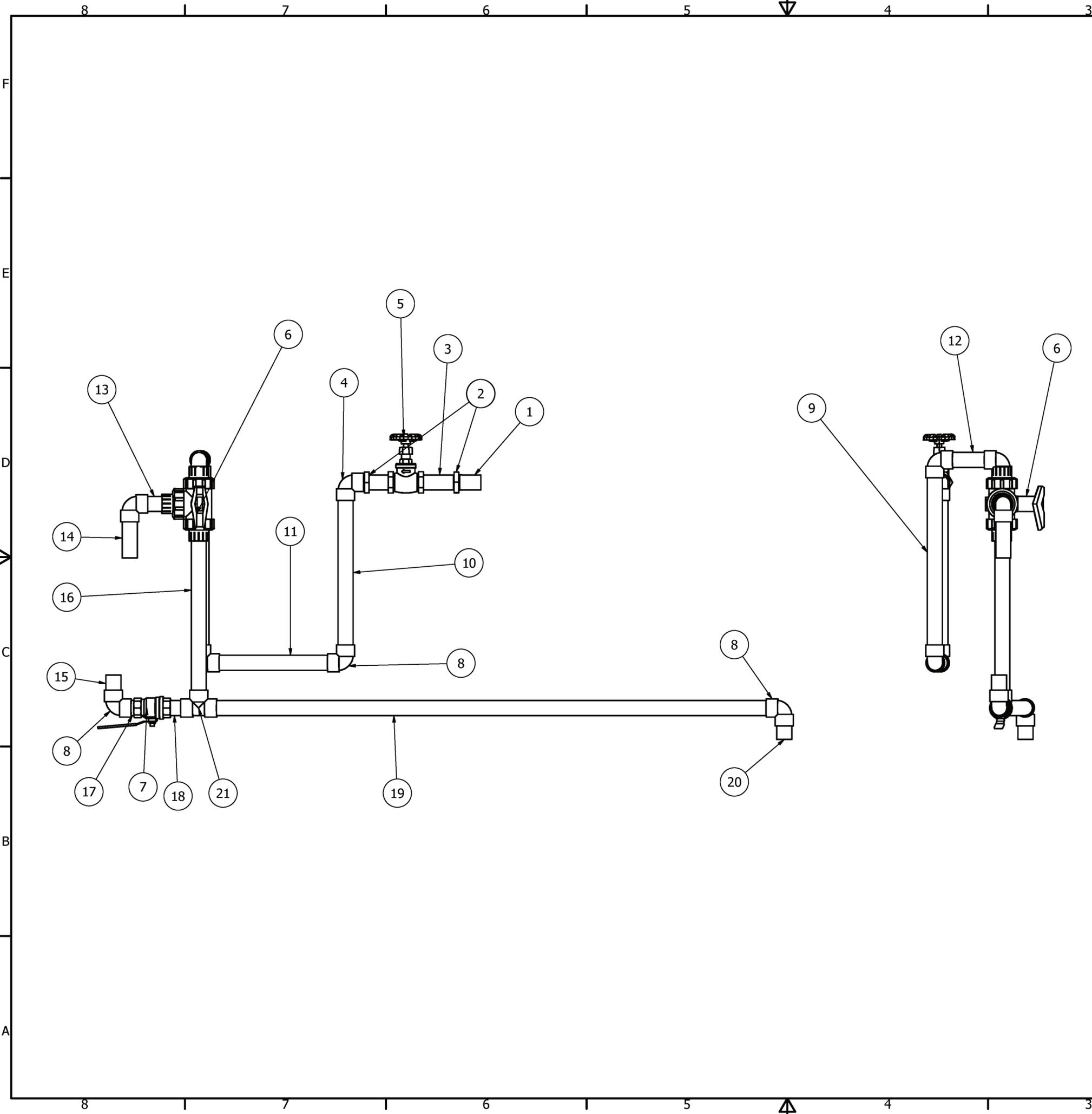
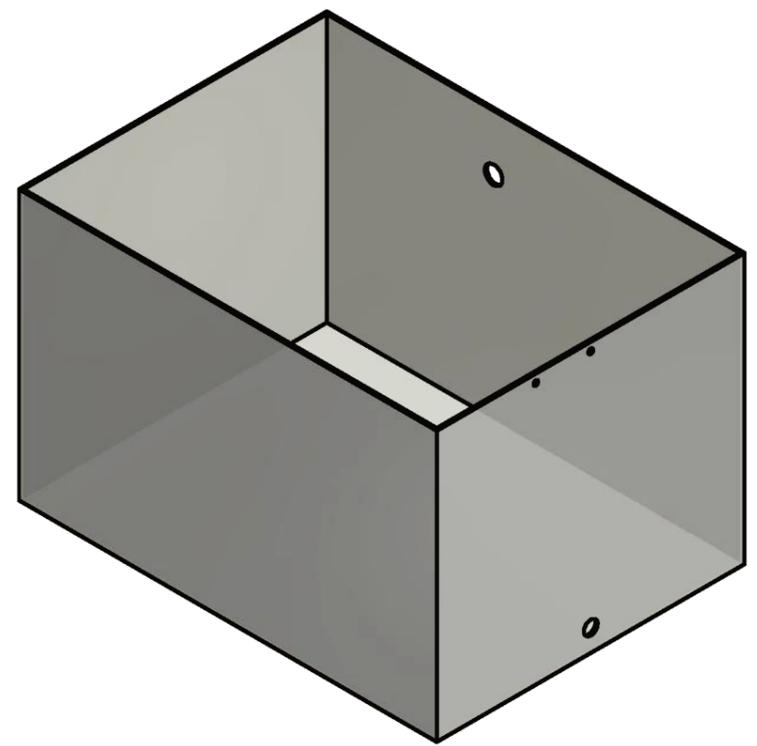
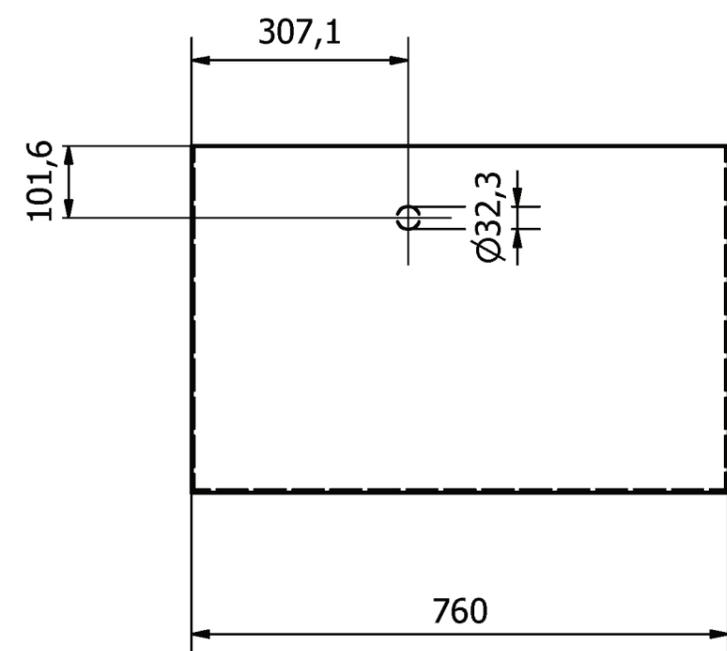
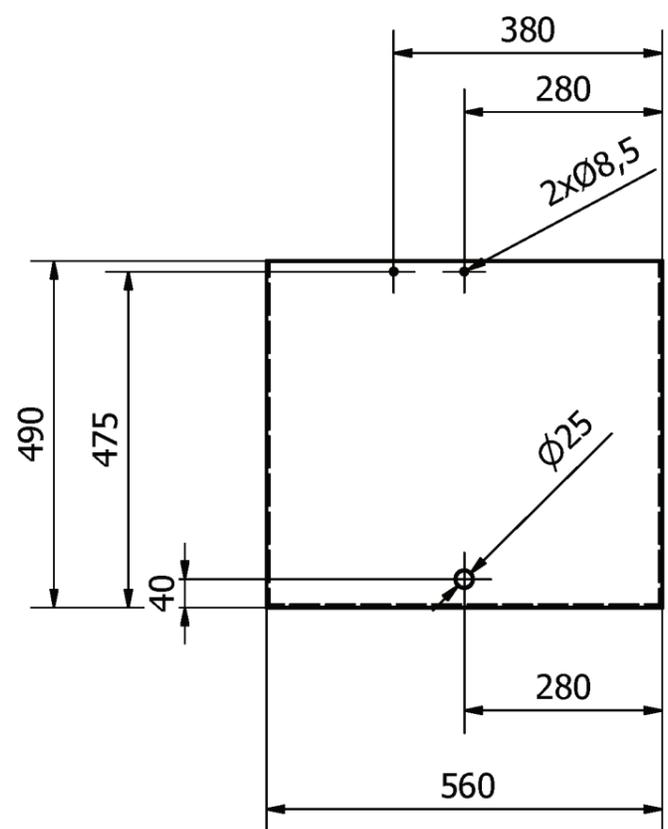


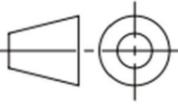
TABELA DE COMPONENTES			
ITEM	QTDE	COMPONENTE	DIMENSÃO
1	1	Tubo PVC	1" x 45,75 mm
2	2	GF CPVC Adaptor Nipple	1" - 32mm
3	1	Tubo PVC	1" x 220,98 mm
4	1	Joelho de PVC rosca interna em uma extremidade	1"
5	1	Válvula globo PVC sódavel	1"
6	1	Válvula de 3 vias de PVC sódavel	1"
7	1	Válvula esfera PVC sódavel	1"
8	7	Joelho PVC sódavel	1"
9	1	Rotametro	1" x 357 mm
10	1	Tubo PVC	1" x 363,22 mm
11	1	Tubo PVC	1" x 284,26 mm
12	1	Tubo PVC	1" x 114,21 mm
13	1	Tubo PVC	1" x 81,26 mm
14	1	Tubo PVC	1" x 101,6 mm
15	1	Tubo PVC	1" x 53,34 mm
16	1	Tubo PVC	1" x 513,08 mm
17	1	Tubo PVC	1" x 43,15 mm
18	1	Tubo PVC	1" x 38,07 mm
19	1	Tubo PVC	1" x 1263,93 mm
20	1	Tubo PVC	1" x 50,8 mm
21	1	Tê de PVC sódavel	1"

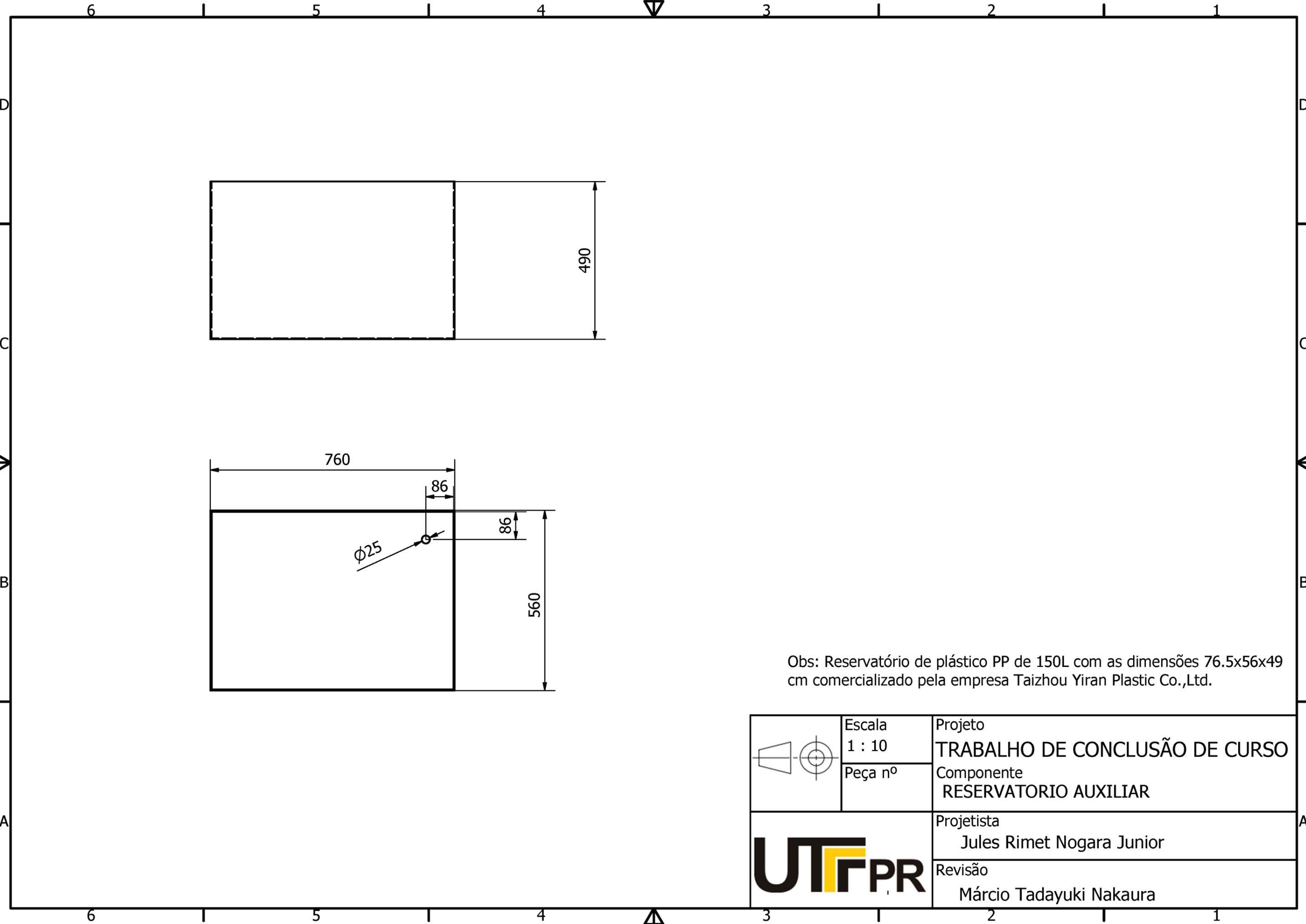
Obs: As tubulações são fixadas com cola para PVC

	Escala 1:6	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente TUBULAÇÃO DE SAIDA DE ÁGUA
	Projeta Jules Rimet Nogara Junior	
	Revisão Márcio Tadayuki Nakaura	

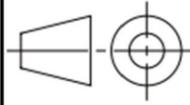


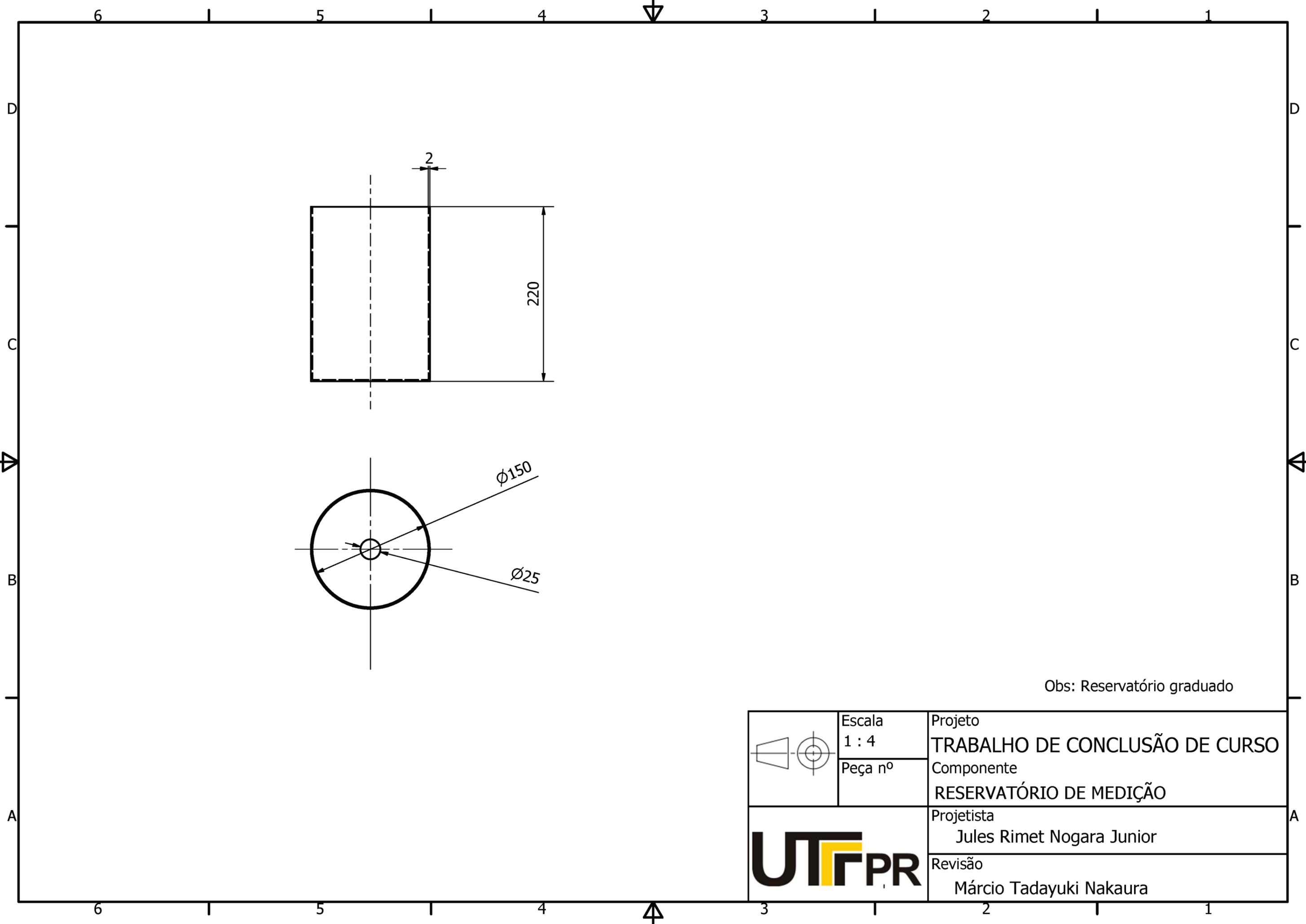
Obs: Reservatório de plástico PP de 150L com as dimensões 76.5x56x49 cm comercializado pela empresa Taizhou Yiran Plastic Co.,Ltd.

	Escala 1:10	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente RESERVATÓRIO PRINCIPAL
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura

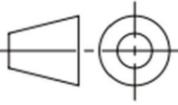


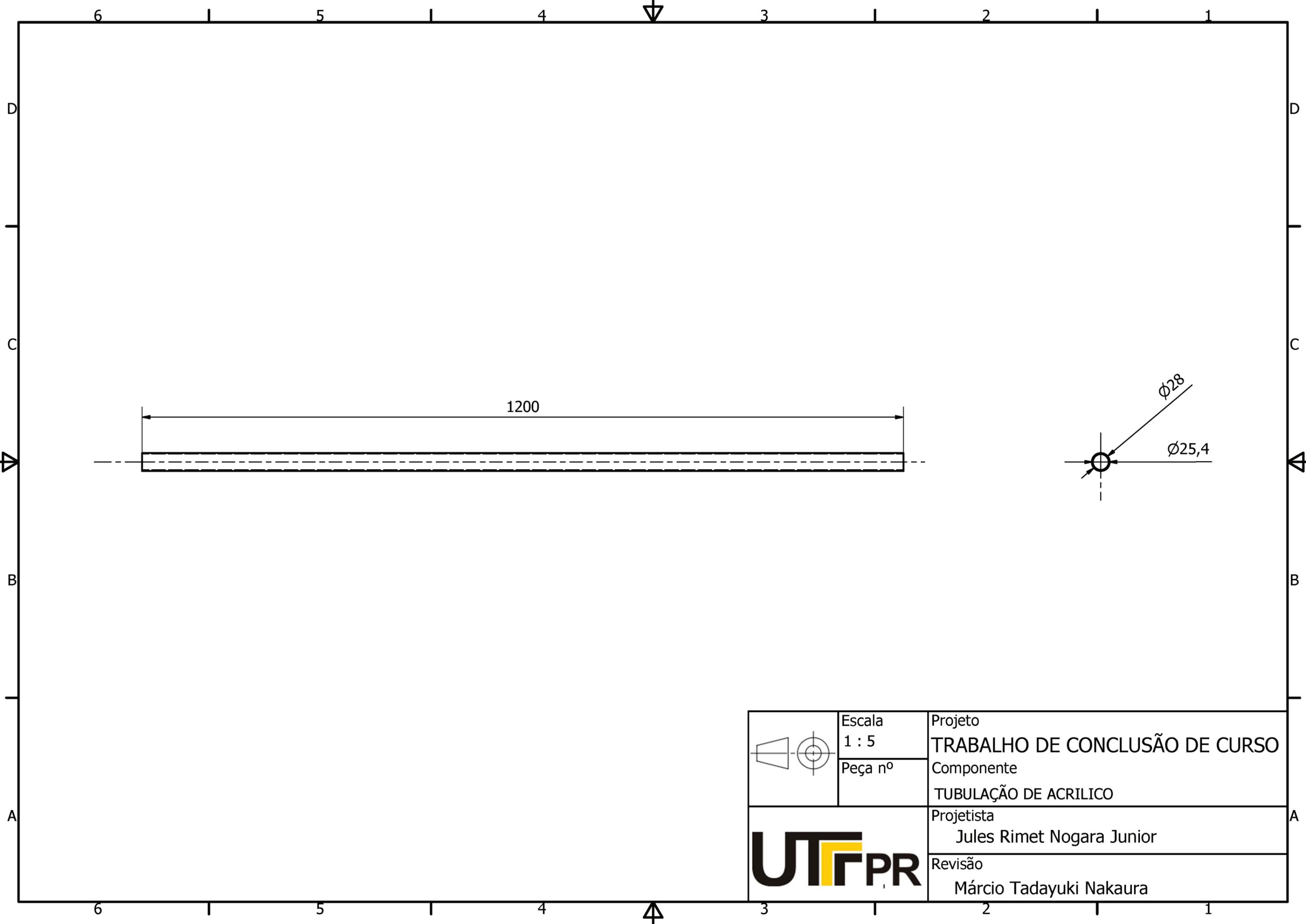
Obs: Reservatório de plástico PP de 150L com as dimensões 76.5x56x49 cm comercializado pela empresa Taizhou Yiran Plastic Co.,Ltd.

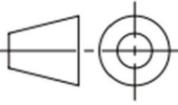
	Escala 1 : 10	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente RESERVATORIO AUXILIAR
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura



Obs: Reservatório graduado

	Escala 1 : 4	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente RESERVATÓRIO DE MEDIÇÃO
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura



	Escala 1 : 5	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente TUBULAÇÃO DE ACRILICO
	Projetista Jules Rimet Nogara Junior	
	Revisão Márcio Tadayuki Nakaura	

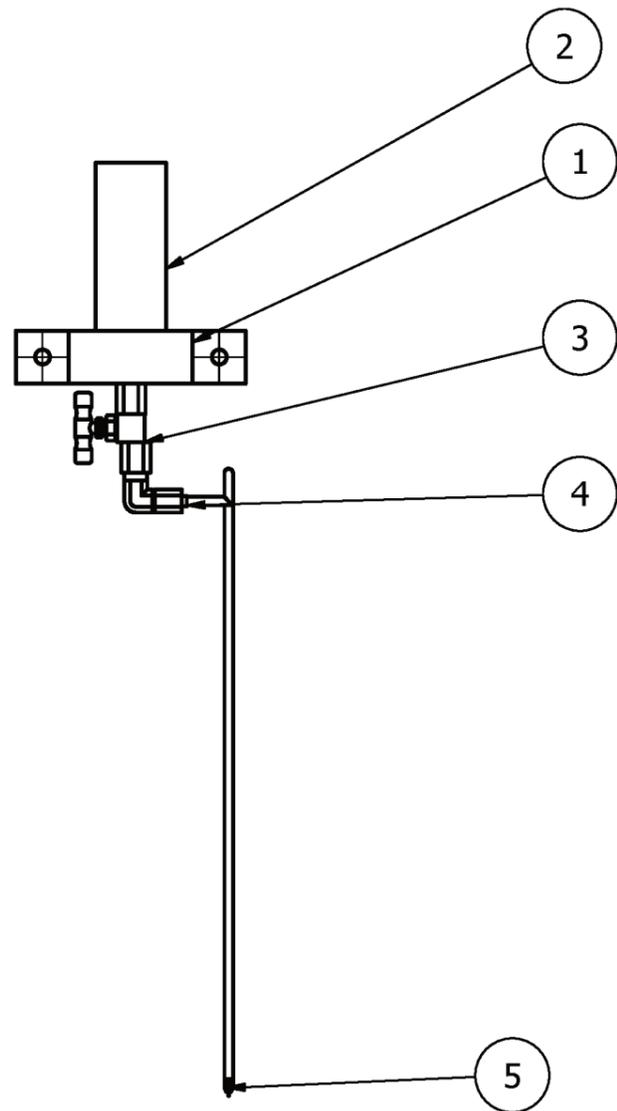
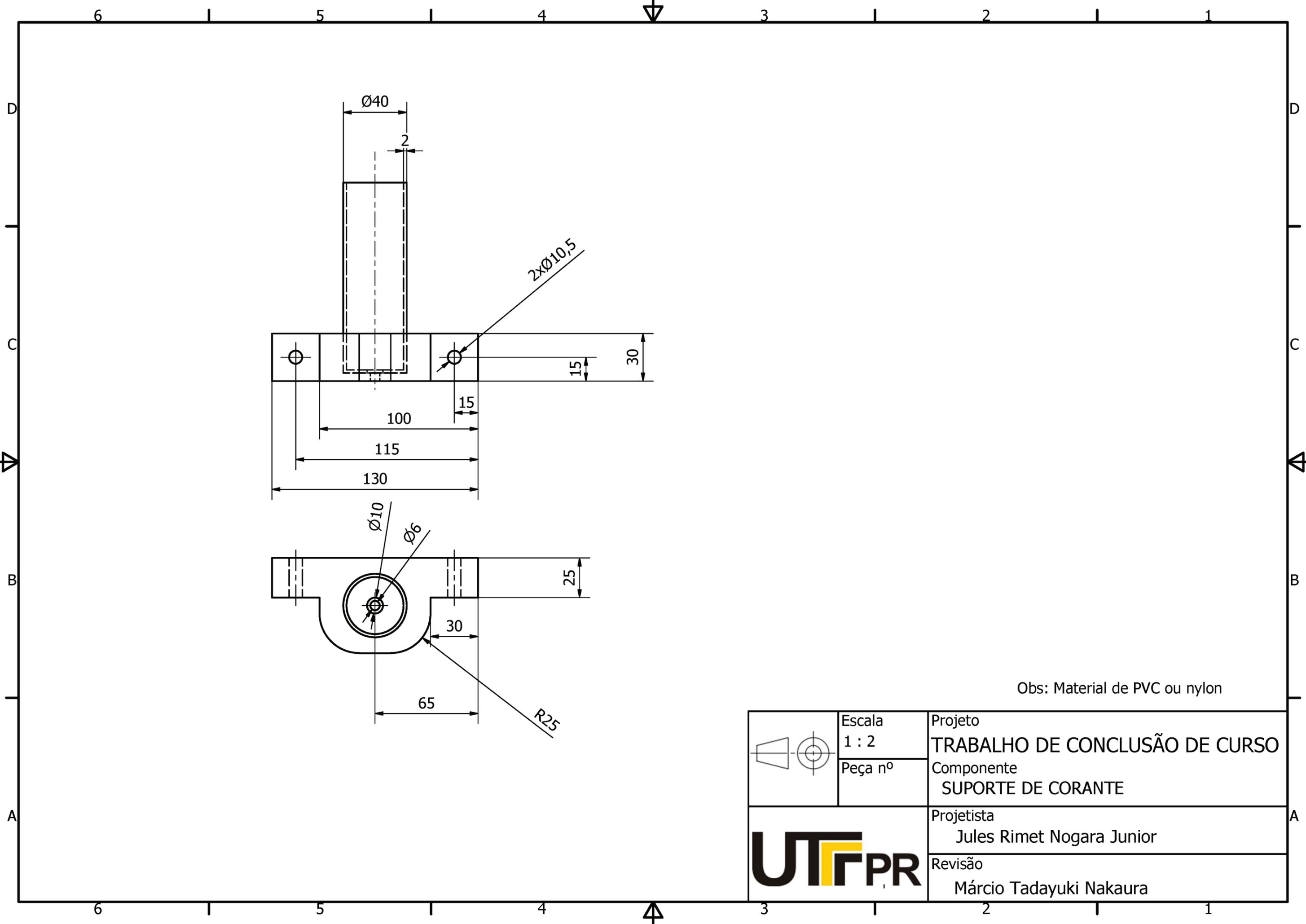
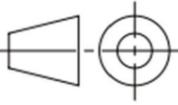


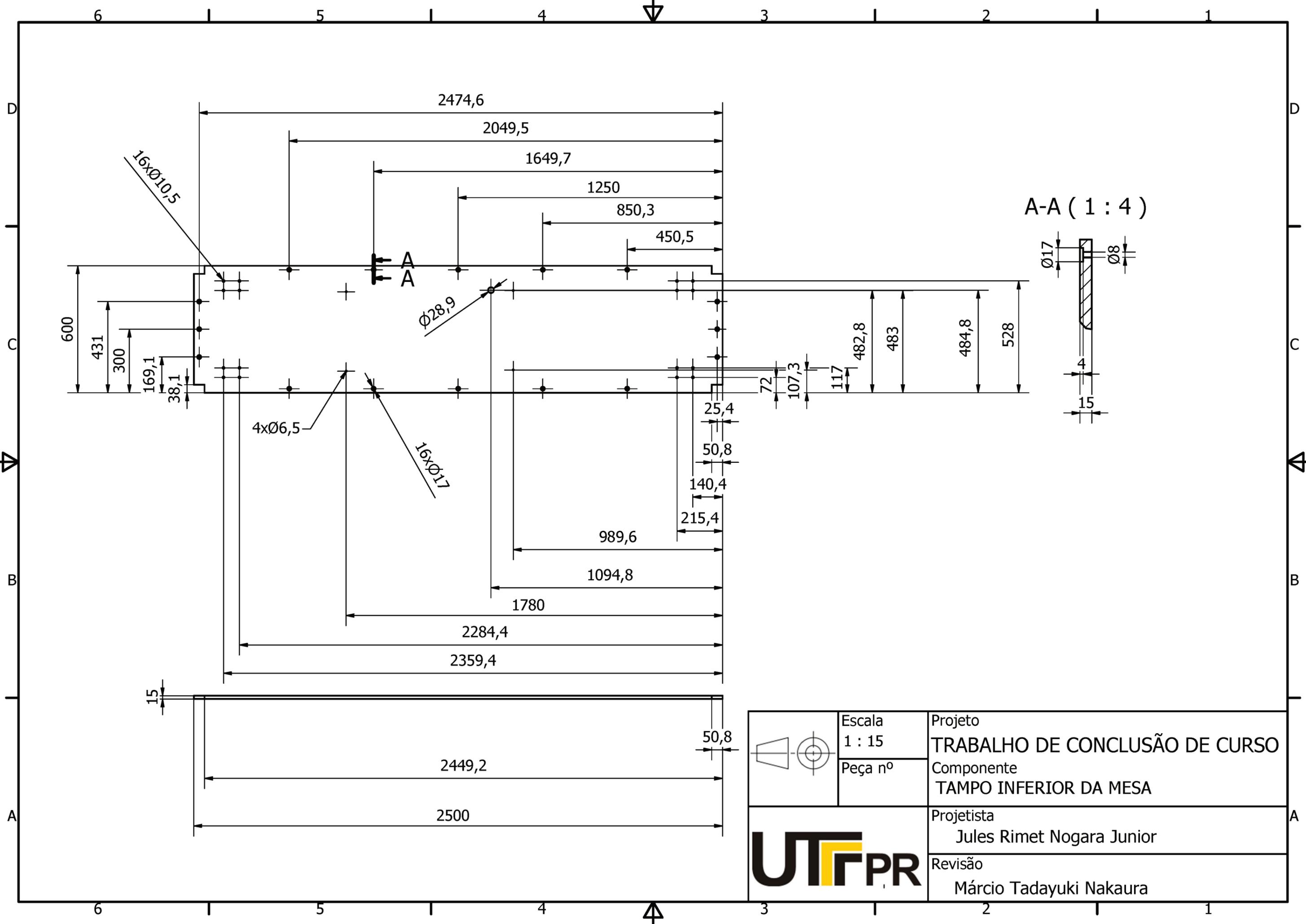
TABELA DE COMPONENTES			
ITEM	QTDE	DESCRIÇÃO	DIMENSÃO
1	1	Base do suporte de corante	
2	1	Reservatório do corante	
3	1	Válvula agulha de regulagem	
4	1	Mangueira silicone	4x415 mm
5	1	Agulha de infusão	0,5 mm de diâmetro

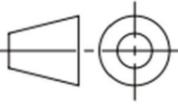
	Escala 1 : 4	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente SISTEMA DE FORNECIMENTO DE CORANTE
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura



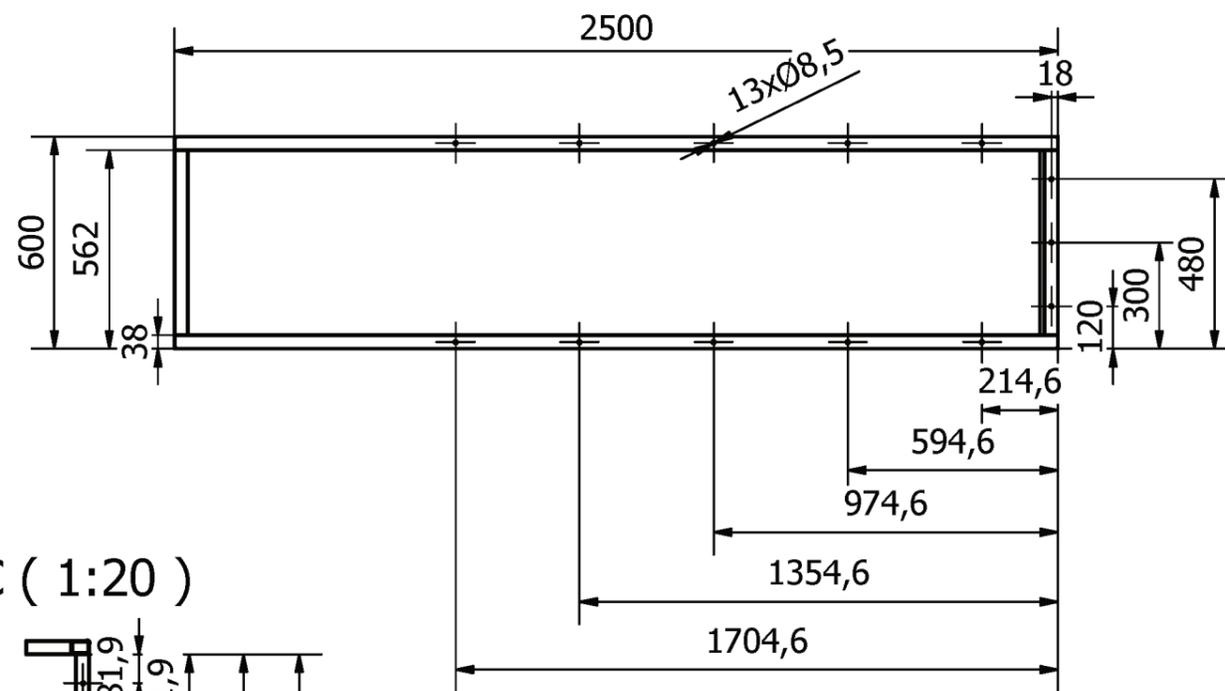
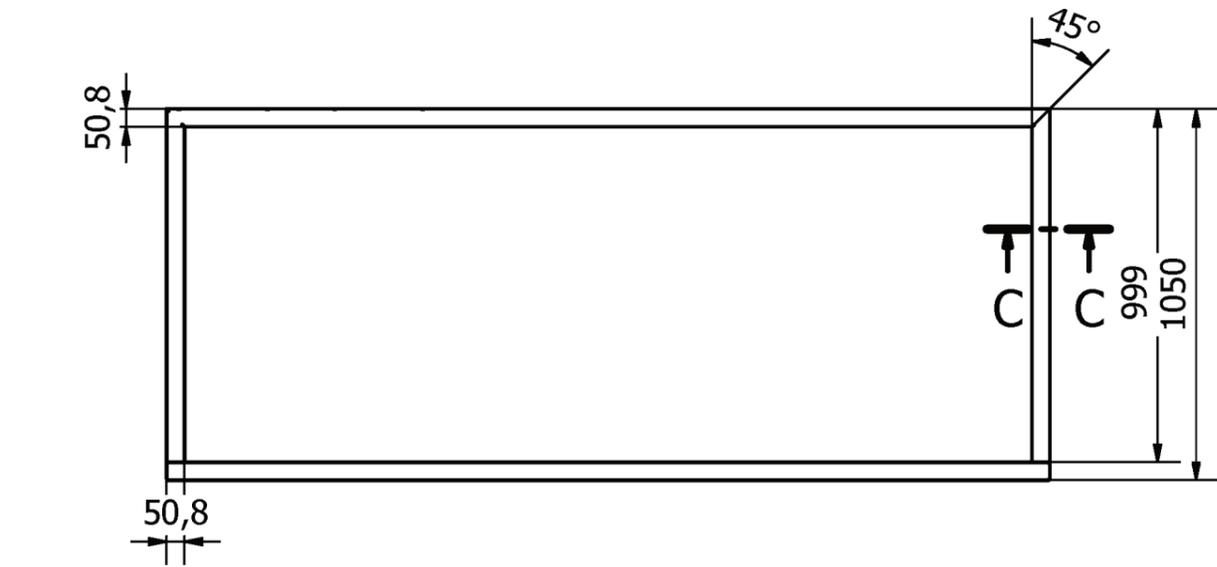
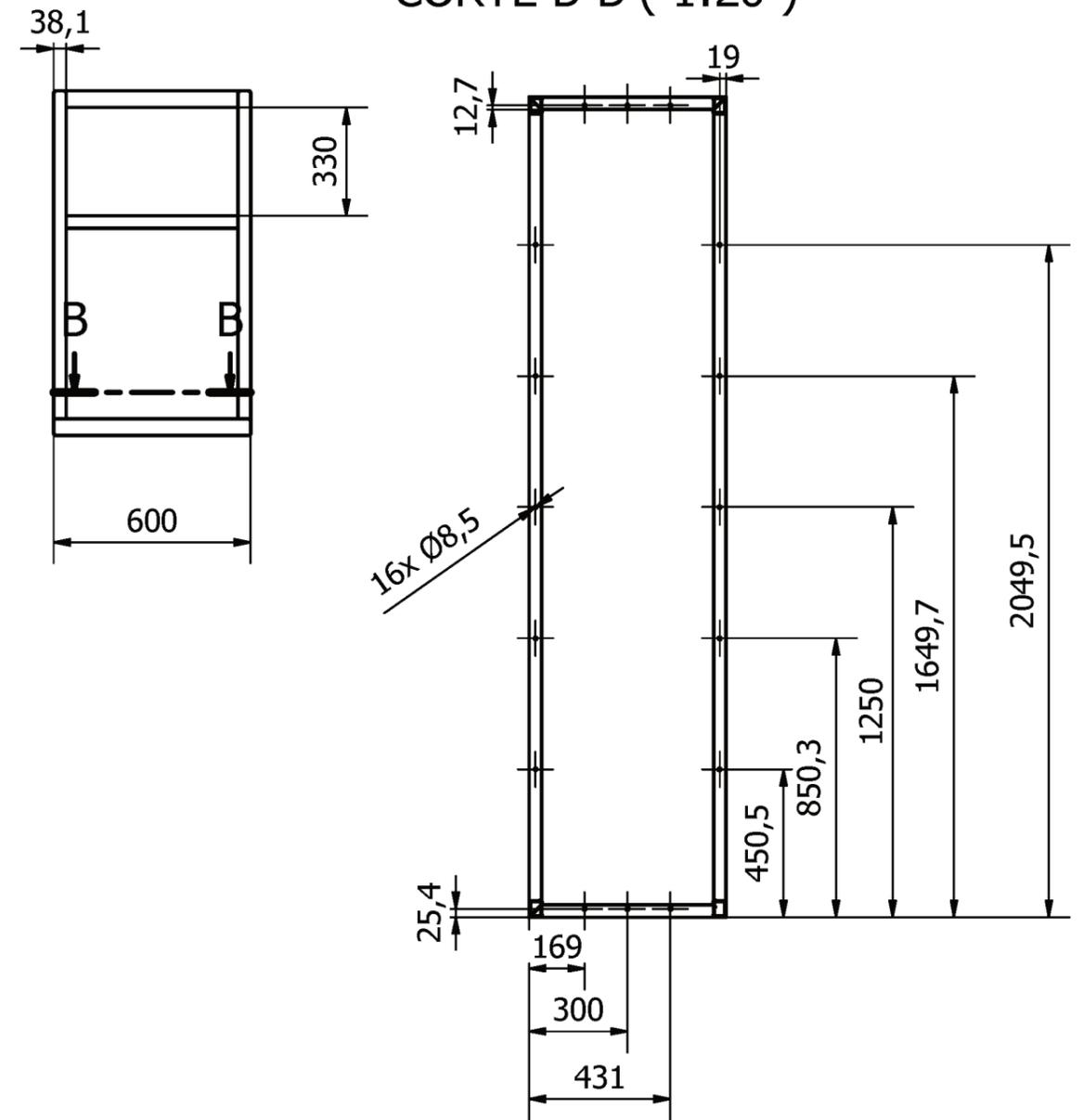
Obs: Material de PVC ou nylon

	Escala 1 : 2	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente SUORTE DE CORANTE
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura

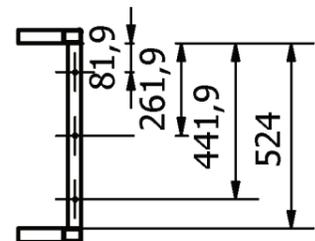


	Escala 1 : 15	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente TAMPO INFERIOR DA MESA
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura

CORTE B-B (1:20)

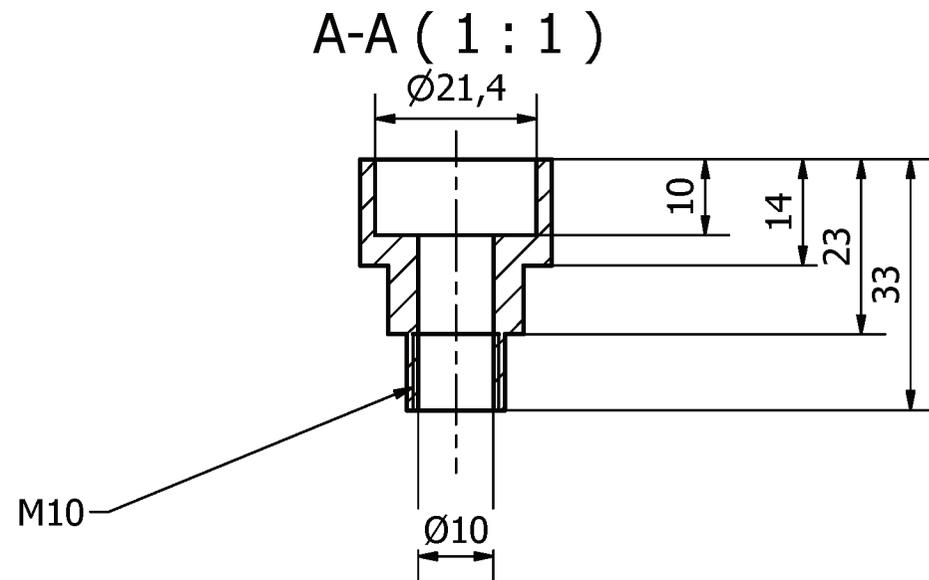
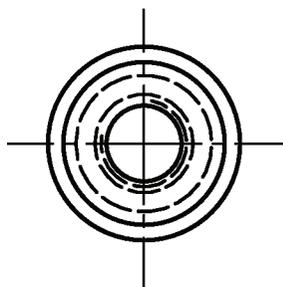
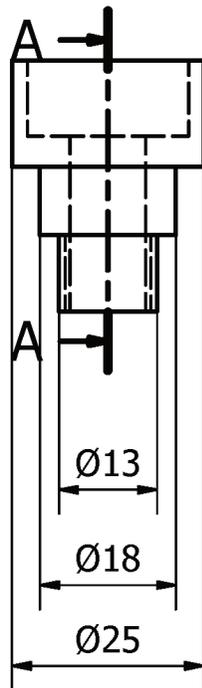


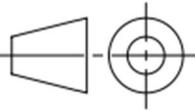
C-C (1:20)

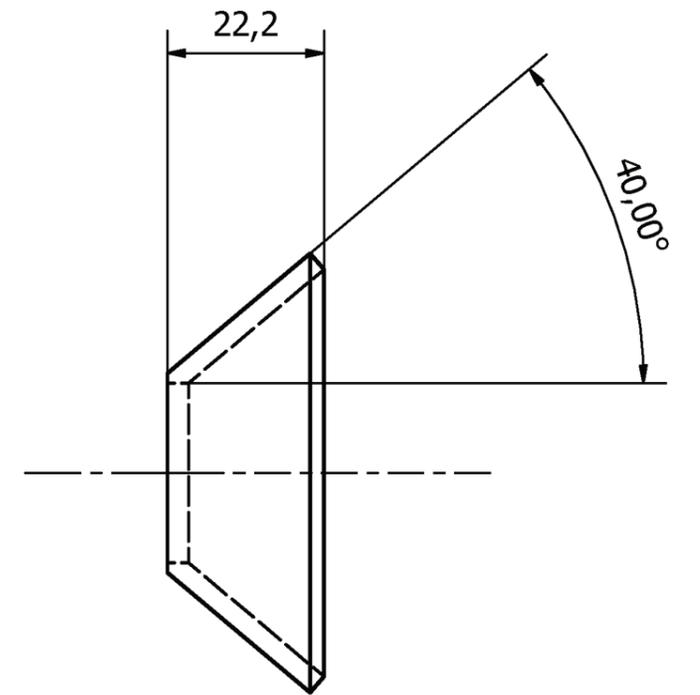
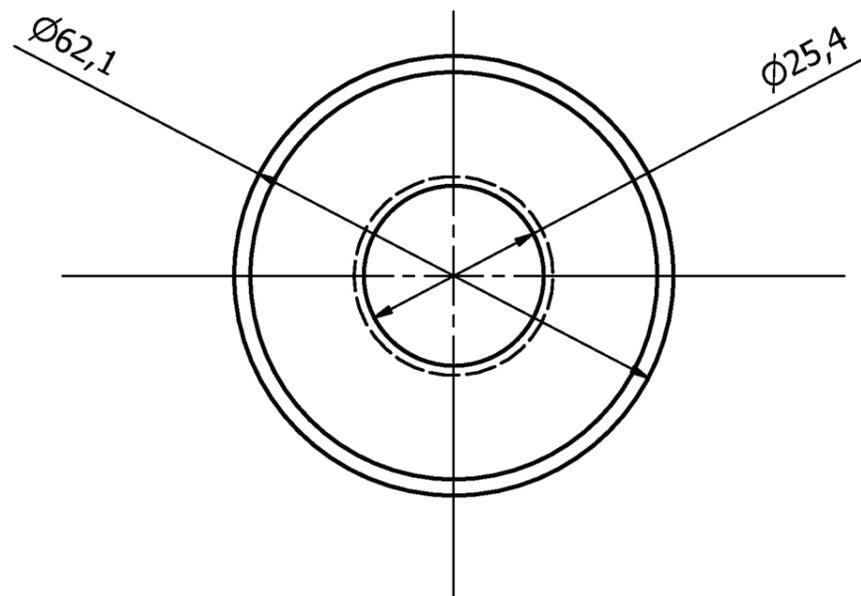


Obs: Material dos perfis é aço 1020, 2" x 1" 1/2 x 3,2mm e todas as junções entre as barras são feitas por soldagem

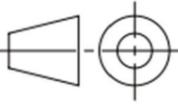
	Escala 1:20	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente ESTRUTURA DA BANCADA
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura

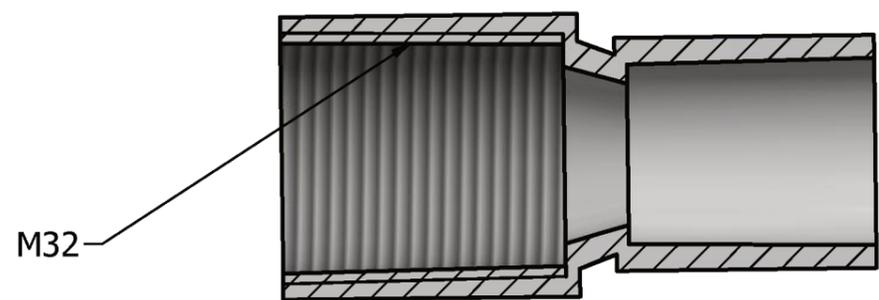
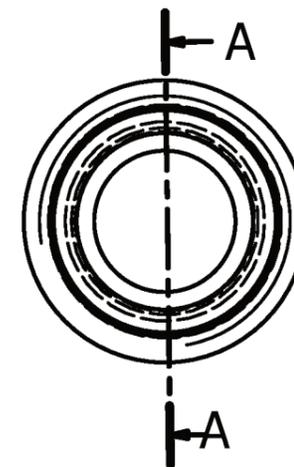
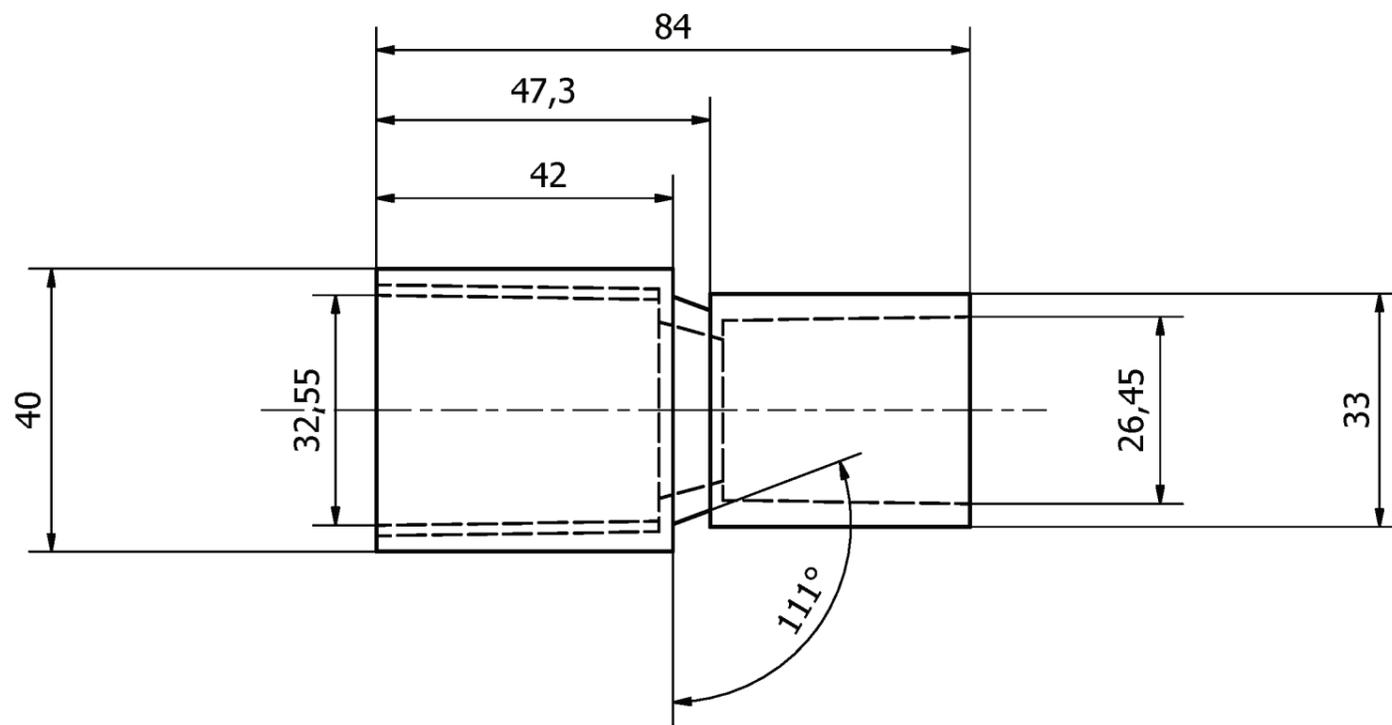


	Escala 1 : 1	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente ADAPTADOR DA MANGUEIRA DA BOMBA
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura



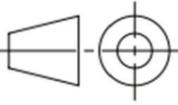
Obs: Espessura de 3 mm

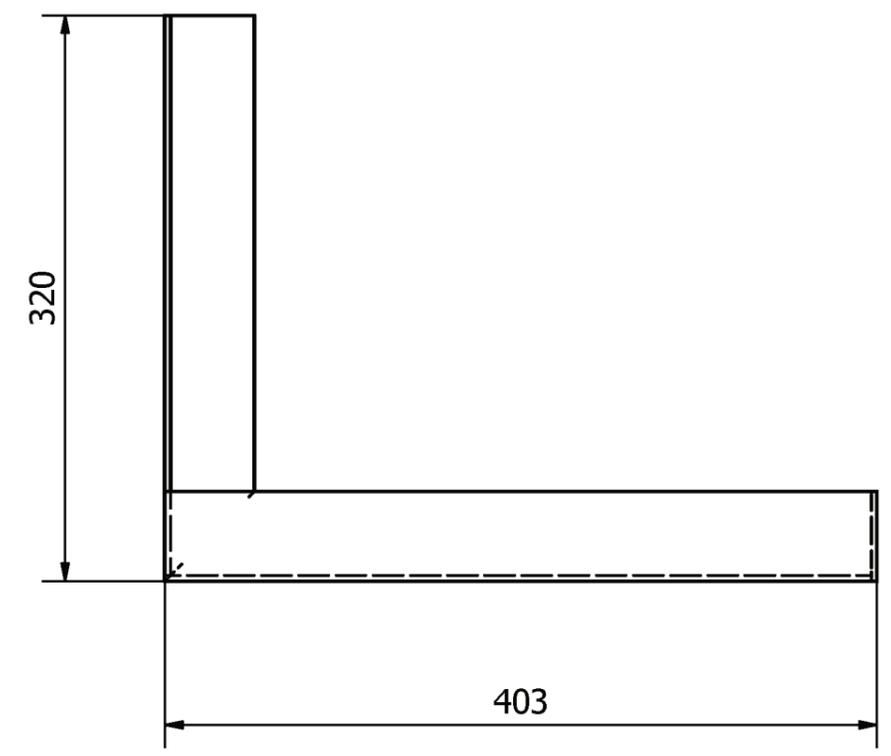
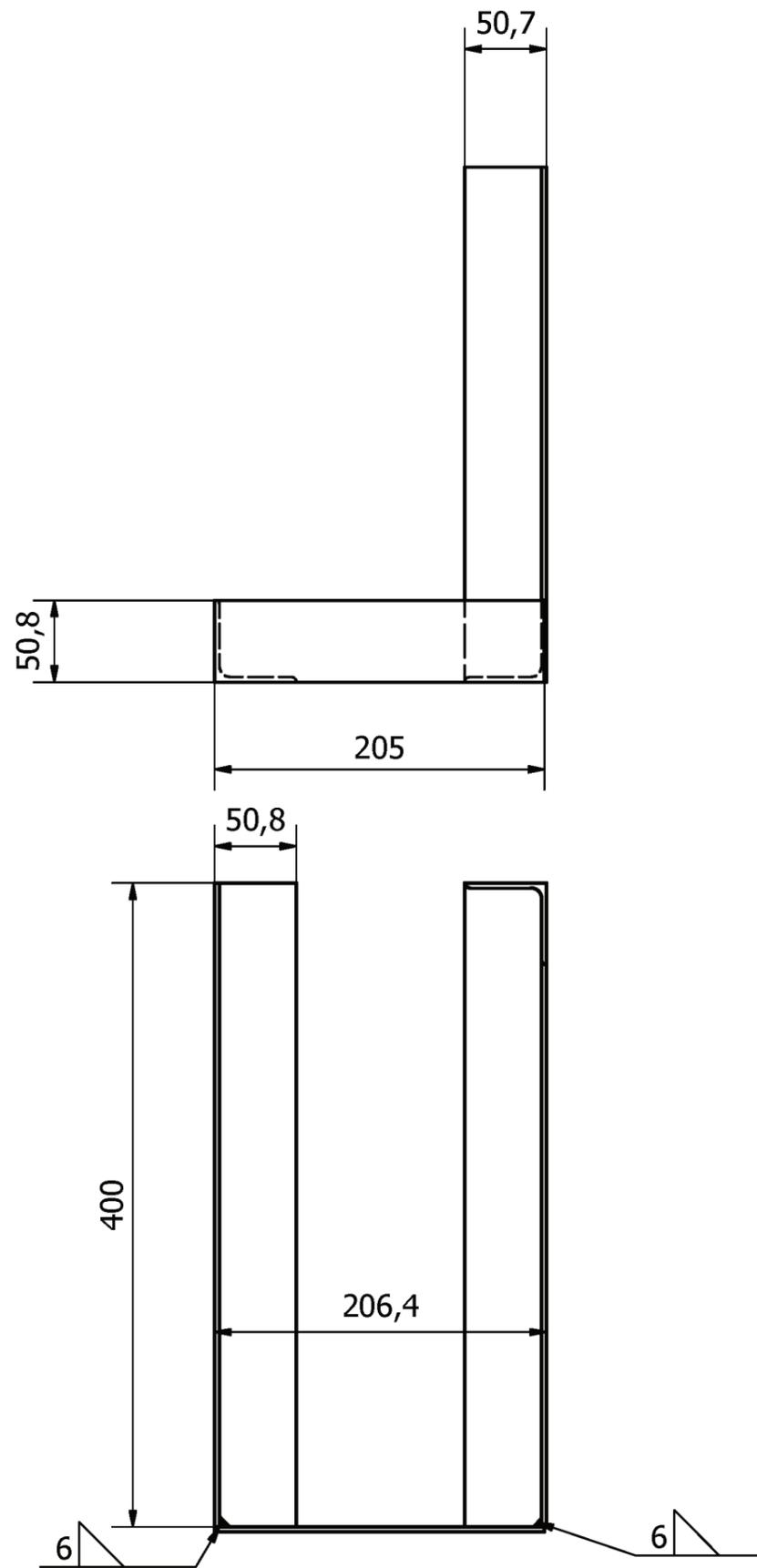
	Escala 1 : 1	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente FUNIL CONVERGENTE DE FLUXO
	Projetista Jules Rimet Nogara Junior	
	Revisão Márcio Tadayuki Nakaura	

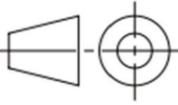


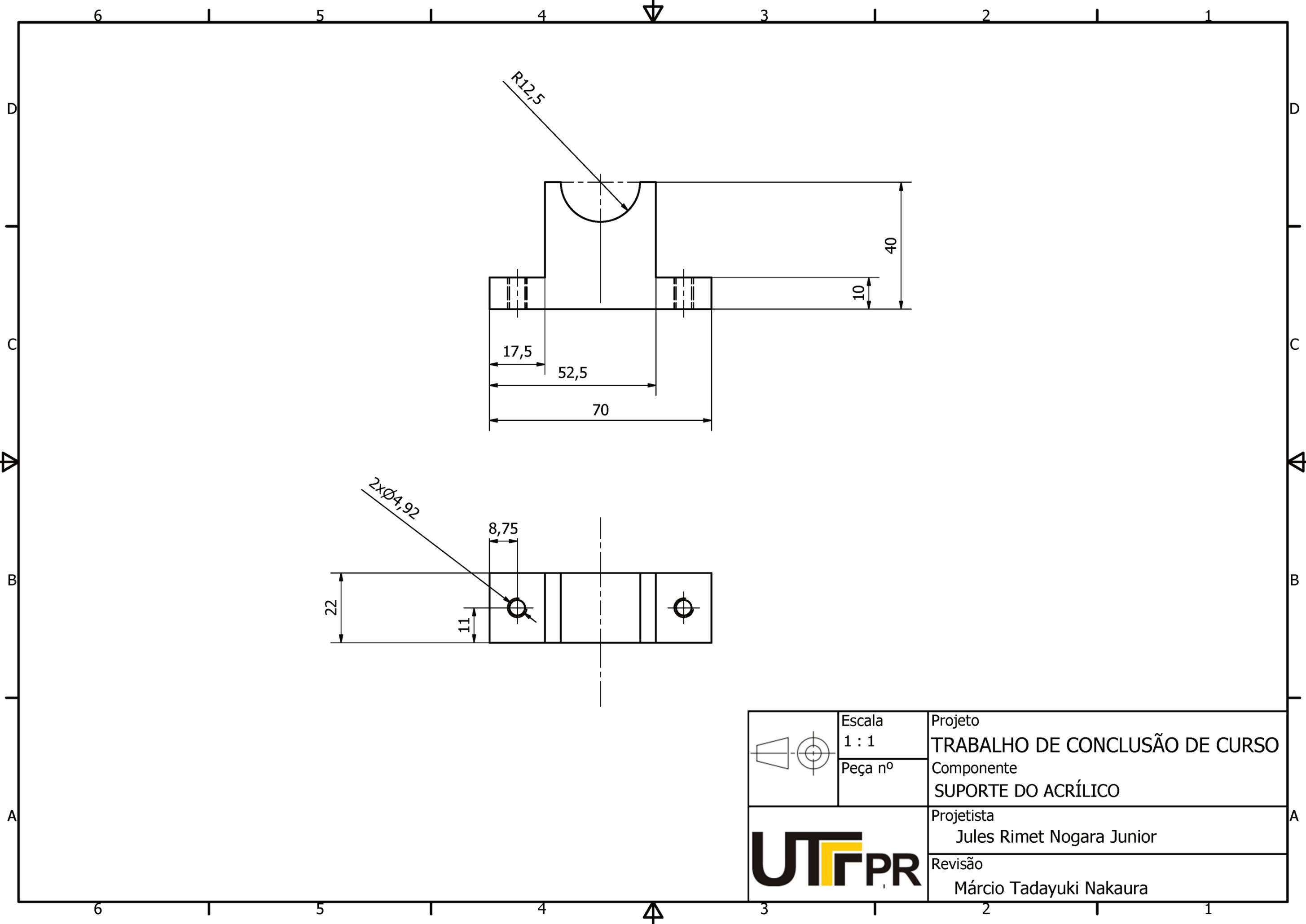
A-A (1 : 1)

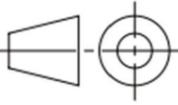
Obs: Modelo JIS K 6743 Reduced Socket Type A 25 x 20.
Modificado com rosca interna M32 na saída de 25 mm

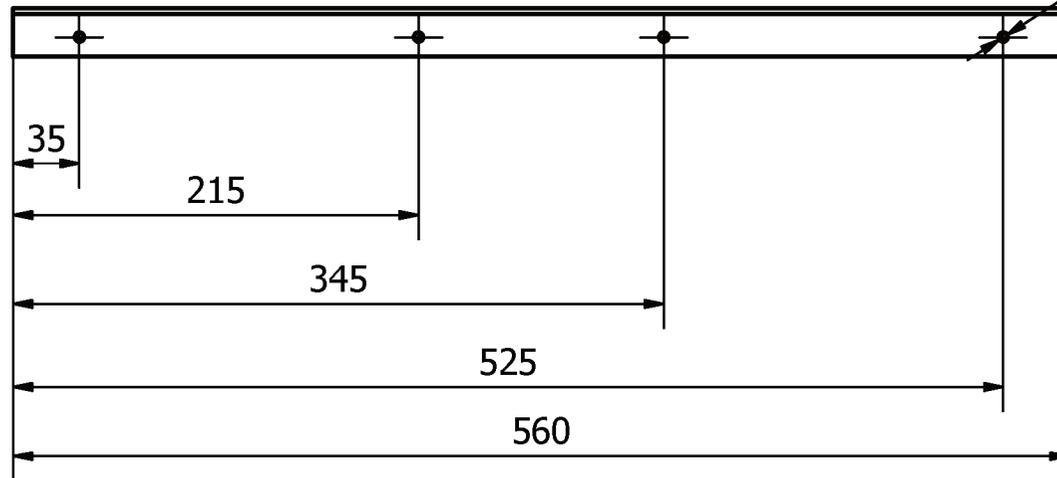
	Escala 1 : 1	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente ADAPTADOR ROSCADO DO ACRÍLICO
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura



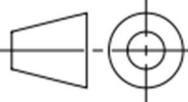
	Escala 1 : 4	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente SUORTE DO RESERVATORIO DE MEDIÇÃO
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura

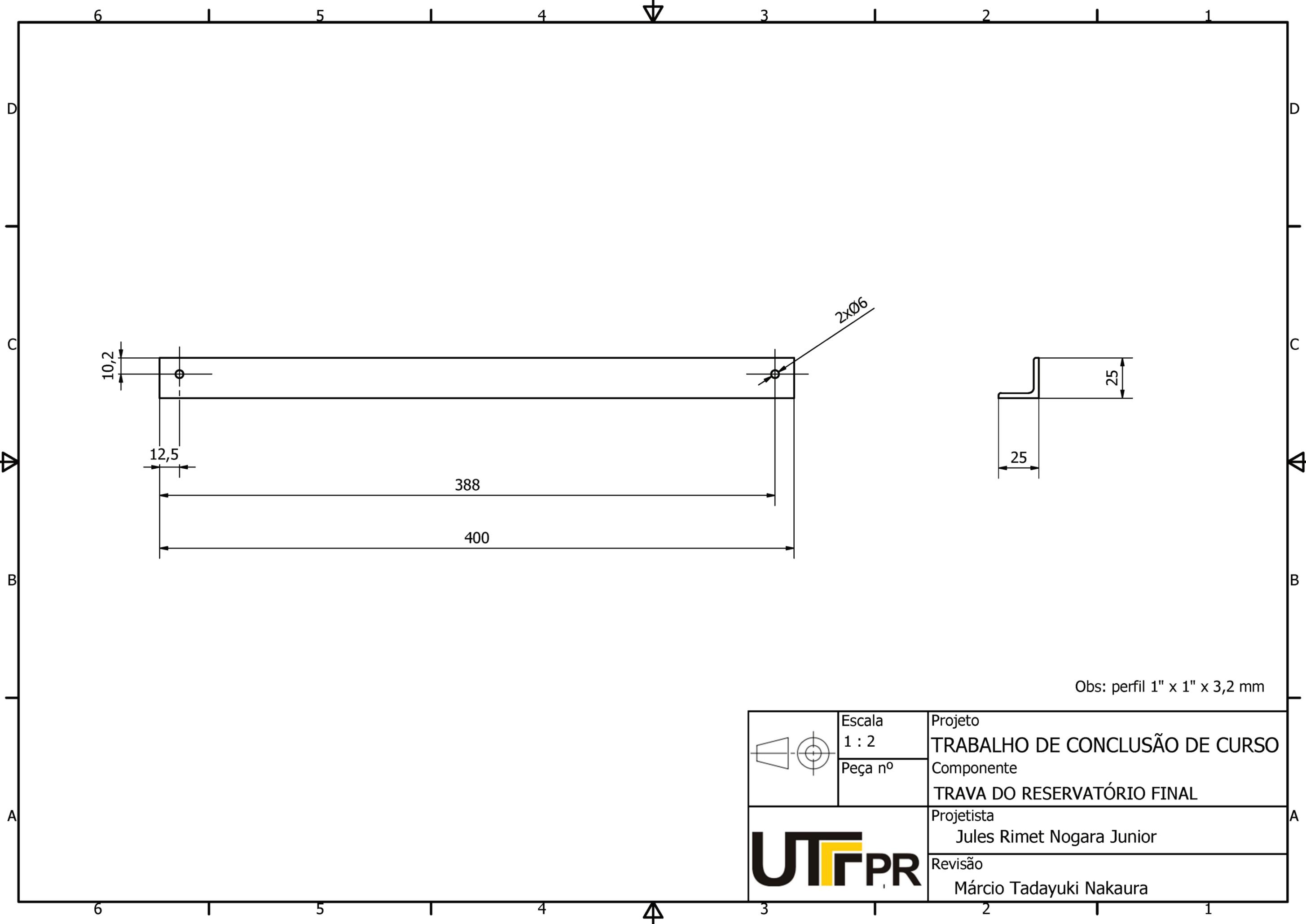


	Escala 1 : 1	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente SUORTE DO ACRÍLICO
	Projetista Jules Rimet Nogara Junior	
	Revisão Márcio Tadayuki Nakaura	

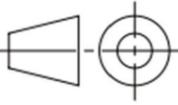


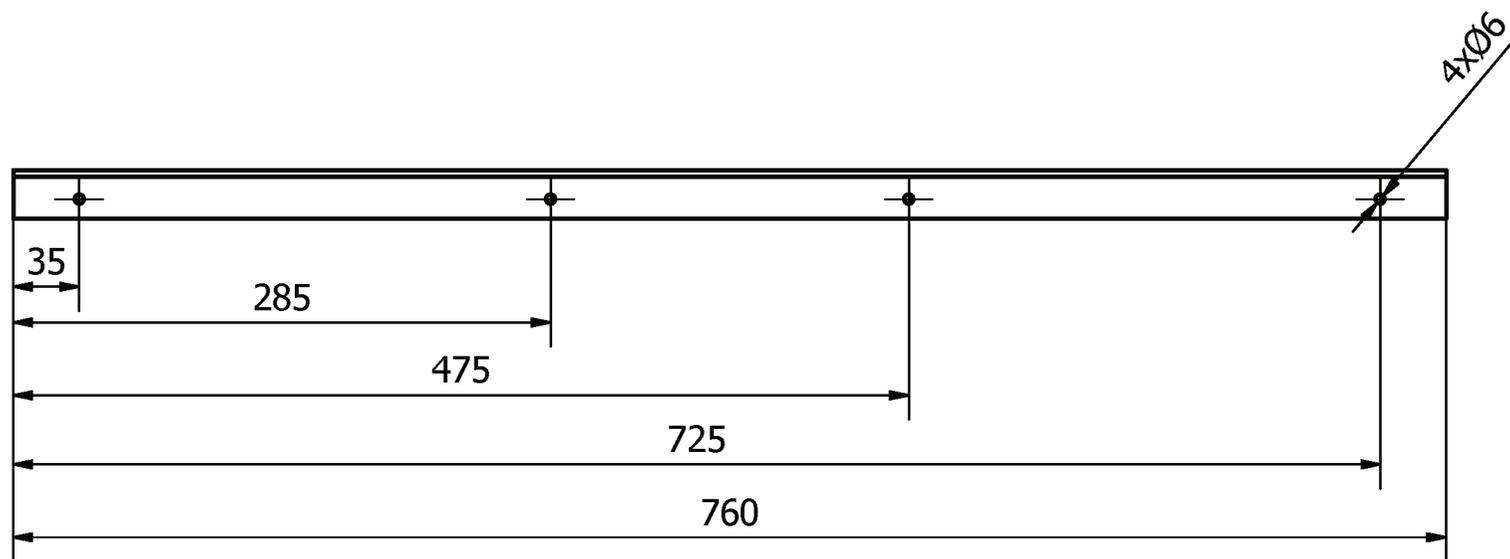
Obs: perfil 1" x 1" x 3,2 mm

	Escala 1 : 4	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente TRAVA FRONTAL/TRASEIRA RESERV INICIAL
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura

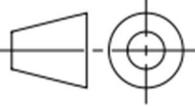


Obs: perfil 1" x 1" x 3,2 mm

	Escala 1 : 2	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente TRAVA DO RESERVATÓRIO FINAL
		Projetista Jules Rimet Nogara Junior
		Revisão Márcio Tadayuki Nakaura



Obs: perfil 1" x 1" x 3,2 mm

	Escala 1:4	Projeto TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
	Peça nº	Componente TRAVA LATERAL DO RESERVATÓRIO INICIAL
	Projetista Jules Rimet Nogara Junior	Revisão Márcio Tadayuki Nakaura