

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

CARLOS HENRIQUE QUARESMA GOMES

**PROJETO DE EQUIPAMENTO ESPECIALIZADO NA PREPARAÇÃO DE
COMPOSTOS POLIMÉRICOS**

BELO HORIZONTE
2022

CARLOS HENRIQUE QUARESMA GOMES

**PROJETO DE EQUIPAMENTO ESPECIALIZADO NA PREPARAÇÃO DE
COMPOSTOS POLIMÉRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Weslei Patrick Teodósio
Sousa

BELO HORIZONTE
2022

CARLOS HENRIQUE QUARESMA GOMES

PROJETO DE EQUIPAMENTO ESPECIALIZADO NA PREPARAÇÃO DE COMPOSTOS
POLIMÉRICOS

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado no Curso de Graduação em
Engenharia de Materiais do Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais como
requisito parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovado em 11/07/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Weslei Patrick Teodósio Sousa

Prof. Dr. João Paulo Ferreira dos Santos

Prof. Me. Anderson Edson da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que me ajudaram, em algum momento, nesses anos de graduação. Em especial minha família, amigos, professores e, principalmente minha mãe, que pode me ajudar em tudo que precisei para superar os obstáculos que apareceram. Como, também, agradeço a minha namorada, que sempre me incentivou e me ajudou a vencer os desafios que foram impostos ao longo da graduação.

Na realização deste trabalho, agradeço ao professor Weslei Patrick Teodósio Sousa por toda ajuda e conhecimento que ele disponibilizou para a realização do projeto.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivos, projetar um misturador, com o auxílio do software Inventor, realizar o orçamento de todos os seus componentes, analisando o seu custo-benefício e definir o sistema de controle para o equipamento. Para elaboração do projeto se baseou no modelo mostrado no trabalho de Fiorio (2007), que utilizou um reômetro de torque instrumentado para realizar a mistura de compostos poliméricos. A partir dessas definições foi planejada uma metodologia que comparou quais os materiais; aço inoxidável AISI 304, aço SAE 1020 e ligas de alumínio, seriam mais adequados para a câmara de mistura e a transmissão por engrenagens do equipamento, e quais os componentes que o sistema exige, para desta forma se ter um equipamento completo e adequado às dependências do laboratório de polímeros da instituição CEFET MG. Os resultados mostraram o projeto para cada componente do instrumento, analisando suas funções técnicas, padrões de trabalho, bem como o detalhamento do conjunto, de forma que o mesmo possa ser construído em pesquisa futuras. Os orçamentos analisados possibilitaram definir o custo do equipamento que se mostrou 63 vezes inferior ao preço de um reômetro de torque comercial.

Palavras-chave: Misturador, reômetro de torque, Inventor, compostos poliméricos e orçamento.

ABSTRACT

The present work aimed to design a polymer mixer, using the Inventor software, to carry out the budget of all its components, analyzing its cost-benefit and to define the control system for the equipment. For the elaboration of the project, it was based on the model shown in the work of Fiorio (2007), who used an instrumented torque rheometer to perform the mixture of polymeric compounds. Based on these definitions, a methodology was elaborated to compare which materials; AISI 304 stainless steel, SAE 1020 steel and aluminum alloys would be more suitable for the mixing chamber and gear transmission of the equipment, and also those components the system requires, in order to have a complete equipment suitable for the dependencies from the polymer laboratory of the CEFET MG institution. The results showed the design for each component of the instrument, analyzing its technical functions, work patterns, as well as the detailing of the assembly, so that it can be built in future research. The analyzed budgets made it possible to define the cost of the equipment, which proved to be 63 times lower than the price of a commercial torque rheometer.

Keywords: Mixer, torque rheometer, Inventor, drive system, polymeric compounds and budget.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfis de torque e temperatura em função do tempo.	14
Figura 2 - Variação de torque em função tempo para as blendas PEAD/EVA.	15
Figura 3 - Funcionamento de um motor DC.	17
Figura 4 - Esquema de um motor de indução.	19
Figura 5 - Esquema de um motor síncrono.	20
Figura 6 - Funcionamento de um servo motor.	21
Figura 7 - Detalhamento do potenciômetro.	24
Figura 8 - Funcionamento e modelo de medição do termopar.	26
Figura 9 - Controlador de temperatura PID.	29
Figura 10 - Arduino MEGA 2560.	31
Figura 11 - Reômetro de torque instrumentado	32
Figura 12 - Processo para o desenvolvimento do projeto.	33
Figura 13 – Câmara de mistura do reômetro de torque.	34
Figura 14 – Imagem do software – Câmara de mistura aberta.	35
Figura 15 - Imagem do software – Rotor.	36
Figura 16 – Volume da câmara de mistura.	36
Figura 17 - Imagem do software – Bancada.	39
Figura 18 - Imagem do software – Câmara de mistura fechada.	40
Figura 19 - Imagem do software – Acionador.	42
Figura 20 - Faixa de trabalho do acionador.	42
Figura 21 - Imagem do software – Acoplamento flexível.	43
Figura 22 - Imagem do software – Arduino MEGA 2060 R3.	44
Figura 23 - Controlador de Temperatura PID REX-C100.	45
Figura 24 - Imagem do software – Transmissão.	46
Figura 25 - Resistência Aletada.	47
Figura 26 - Imagem do software – Localização da resistência.	47
Figura 27 - Termopar Tipo K e Módulo de leitura MAX6675.	48
Figura 28 - Instrumento montado.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de acoplamento.	25
Tabela 2 - Condições de trabalho do termopar, de acordo com ASTM E-230.	27
Tabela 3 - Ambiente do trabalho para os termopares.	27
Tabela 4 – Orçamento final.	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

ABS	Terpol�mero de acrilonitrilo-butadieno-estireno
AC	<i>Alternating current</i>
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CA	Corrente alternada
CAD	Desenho assistido por computador
CC	Corrente continua
CR	<i>Controlled Rate</i>
CS	<i>Controlled Stress</i>
DC	<i>Direct Current</i>
EVA	Copolímero aleatório de etileno-acetato de vinila
Kg	Quilograma
LLDPE	Polietileno de baixa densidade linear
MEV	Microscópio eletrônico de varredura
ml	Mililitro
mm	Milímetro
Nm	Newton metro
PBAT	Poli(butileno adipato-co-tereftalato)
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEMA	Polietileno enxertado com anidrido maleico
PID	Proporcional-Integral-Derivativo
PP	Polipropileno
rpm	Rotações por minuto
SAE	<i>Society of Automotive Engineers Internacional</i>
TPU	Poliuretano termoplástico
W	<i>Watts</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivos gerais	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Reometria de troque	13
3.2	Sistema de velocidade	16
3.2.1	<i>Acionamento</i>	<i>17</i>
3.2.1.1	<i>Motores com corrente contínua (CC)</i>	<i>17</i>
3.2.1.2	<i>Motores com corrente alternada (CA)</i>	<i>18</i>
3.2.1.3	<i>Servo motor</i>	<i>20</i>
3.2.1.4	<i>Motor de passo</i>	<i>21</i>
3.2.2	<i>Controlador de acionamentos</i>	<i>22</i>
3.2.2.1	<i>Inversores de frequência</i>	<i>22</i>
3.2.2.2	<i>Transmissão por engrenagens</i>	<i>23</i>
3.2.2.3	<i>Potenciômetro</i>	<i>23</i>
3.3	Sistema de acoplamento	25
3.3.1	<i>Acoplamento flexível</i>	<i>25</i>
3.4	Sistema de temperatura	25
3.4.1	<i>Termopar</i>	<i>26</i>
3.4.2	<i>Controlador de temperatura</i>	<i>28</i>
3.5	Microcontroladores	30
3.5.1	<i>ESP32</i>	<i>30</i>
3.5.2	<i>Arduino</i>	<i>30</i>
4	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	Materiais	33
4.1.1	<i>Seleção dos Materiais</i>	<i>33</i>
4.1.2	<i>Separação dos equipamentos</i>	<i>37</i>
4.1.2.1	<i>Componentes</i>	<i>37</i>

4.2	Métodos	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1	Seleção de materiais – bancada e misturador	39
5.1.1	<i>Bancada</i>	39
5.1.2	<i>Estrutura do misturador</i>	40
5.2	Definição dos componentes	41
5.2.1	<i>Acionador</i>	41
5.2.2	<i>Acoplamento flexível</i>	43
5.2.3	<i>Microcontrolador</i>	44
5.2.4	<i>Controlador de temperatura</i>	45
5.2.5	<i>Transmissão por engrenagens</i>	46
5.2.6	<i>Resistência</i>	47
5.2.7	<i>Sensor de temperatura</i>	48
5.3	Projeto final	48
6	CONCLUSÃO	52
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
	ANEXO A	59
	ANEXO B	60
	ANEXO C	62
	ANEXO D	65
	APÊNDICE A	70

1 INTRODUÇÃO

A reômetria de torque possui elevada gama de utilizações por permitir uma grande variedade de testes que podem ser realizados. Corroborando com esta argumentação, Luna *et al.* (2020) concebem à reometria de torque como sendo uma técnica que oferece, por meio do controle de torque, da temperatura e da energia imposta em função do tempo, os indícios de reticulação, degradação, processabilidade e gasto energético ao longo do trabalho. Assim, como foi observado no trabalho de PASSADOR (2012), que dentre os testes realizados fez diferentes sequências de misturas em blendas contendo polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade linear (LLDPE) e compatibilizantes, assim possibilitando estudar o comportamento desses compatibilizantes na matriz polimérica.

Nesse âmbito, um instrumento para mistura de materiais se faz de grande valia para o laboratório de polímeros, do CEFET MG, por possibilitar a realização de pesquisas envolvendo diferentes tipos de compostos poliméricos. Além disso, para elaboração do projeto de um equipamento dessa natureza, o custo-benefício deve ser avaliado e comparado um reômetro de torque comercial, de maneira que seja justificada sua construção.

Dessa forma, esse trabalho teve como principal objetivo o design de um misturador para compostos poliméricos, projetado a partir do software Inventor. Além disso, foi realizada uma análise de todos os sistemas de controle para o instrumento, assim como suas dimensões e disposições finais para a área de trabalho em que o equipamento será utilizado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Este trabalho teve como objetivo o projeto de um reômetro de torque para mistura de compostos poliméricos, feito com o auxílio de um software CAD. Nesse âmbito, foi estudado de forma ampla e estratégica os diversos formatos, componentes e materiais que possibilitaram a melhor configuração para o posterior desenvolvimento do instrumento.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho foram:

- Projetar o reômetro de torque utilizando o Inventor para projetar o reômetro de forma compacta e de fácil manuseio, possibilitando seu melhor aproveitamento, para ser utilizado nas dependências dos laboratórios do CEFET MG.
- Definir o sistema de controle do equipamento.
- Elaborar um orçamento dos componentes e materiais que tenham melhor custo-benefício para posterior desenvolvimento do instrumento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico analisou os temas ligados ao projeto de um misturador. Nesse sentido, em um primeiro momento, foi avaliada as possibilidades da reometria de torque no estudo dos compostos poliméricos. Em seguida, uma análise da gama de componentes mecânicos e elétricos que viabilizariam o projeto do instrumento foi realizada.

3.1 Reometria de torque

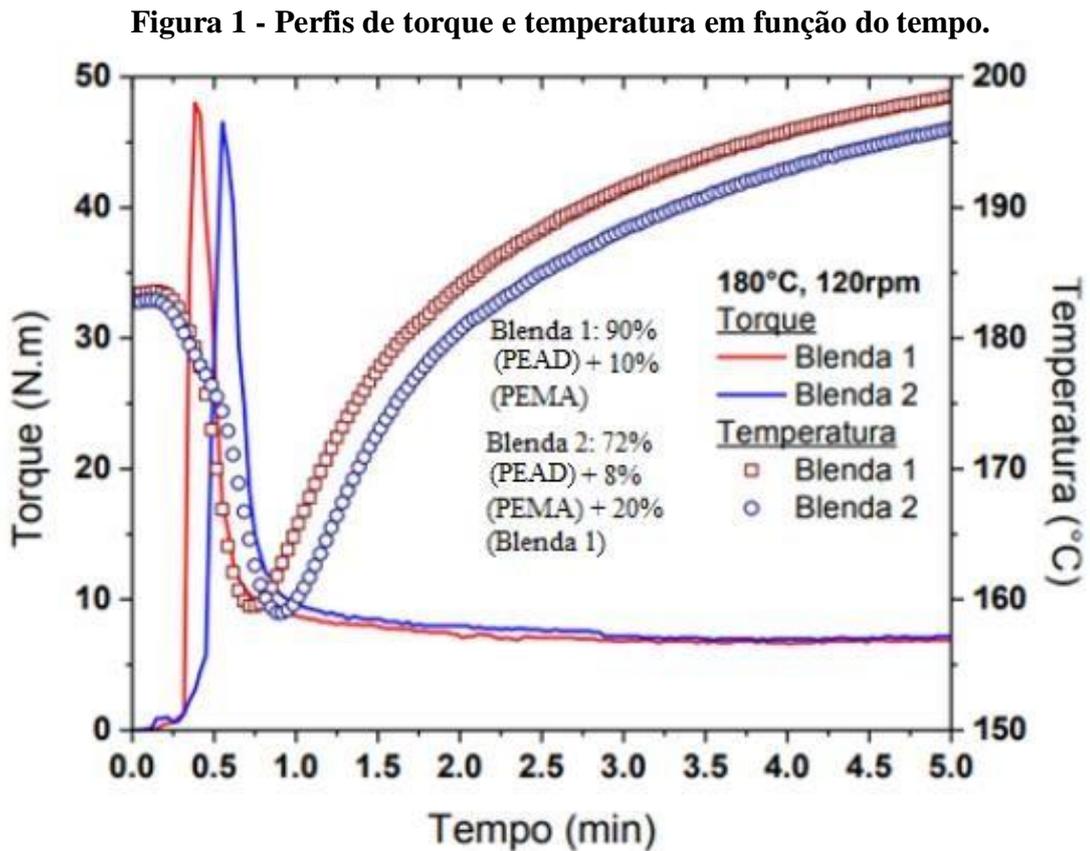
O reômetro de torque é um instrumento que se utiliza de geometrias que buscam reproduzir às utilizadas em equipamentos industriais, como extrusoras e misturadores. Assim, possibilitando o processamento dos compostos poliméricos, como também, a observação das propriedades reológicas, que são vinculados tanto aos parâmetros operacionais quanto aos estruturais (BRETAS; D'ÁVILA, 2010). Nesse âmbito, para Luna *et al.* (2020), a reometria de torque é uma técnica que oferece, por meio do controle de torque, da temperatura e da energia imposta em função do tempo, os indícios de reticulação, degradação e processabilidade.

Para Bretas; D'Ávila (2010), na realização de medidas, em um reômetro de torque, pode-se utilizar os seguintes modelos:

- Misturadores internos, usando rotores ou pás giratórios, para estudos; tais como propriedades de mistura dos polímeros.
- Extrusora de rosca simples, com a matriz capilar, tendo como um dos objetivos o estudo da viscosidade do material.
- Extrusora de rosca dupla, com o intuito de se estudar blendas e compósitos.

Dentro de um desses modelos, a amostra pode ser misturada a partir de uma determinada velocidade (rpm). Com isso, é mensurado o torque necessário para a mistura e homogeneização dessa amostra. Por fim, gráficos de temperatura *versus* tempo podem ser obtidos (BRETAS; D'ÁVILA, 2010).

Nesse sentido, Beatrice (2014) processou por meio da reometria de torque dois tipos de blendas, sendo a primeira composta por polietileno de alta densidade (PEAD) e polietileno grafitizado com anidrido maleico, e a segunda pelos mesmos materiais, porém em proporções distintas. A Figura 1 abaixo, apresenta os perfis de torque obtidos para ambos os materiais estudados.

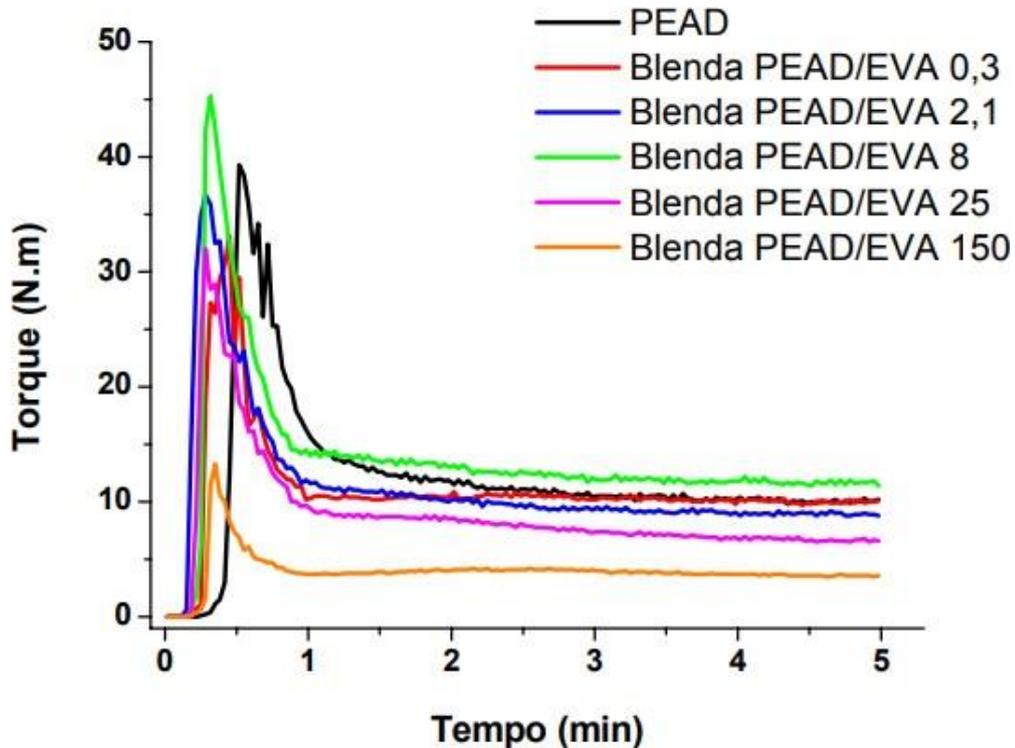


FONTE: Adaptado de BEATRICE, 2014.

De acordo com Beatrice (2014), foi possível observar um pico na curva de torque, em cada blenda, indicando que a fusão dos grânulos aconteceu ao mesmo tempo. E, também, houve um aumento na variação de temperatura, sendo essa elevação explicada pelo aquecimento viscoso, de aproximadamente 20 °C.

Ainda se referindo ao processamento de blendas por meio de um reômetro de torque, Marini (2008) realizou a mistura de blendas de polietileno de alta densidade e um copolímero aleatório de etileno-acetato de vinila (EVA). Os resultados das análises podem ser observados na Figura 2.

Figura 2 - Variação de torque em função tempo para as blendas PEAD/EVA.



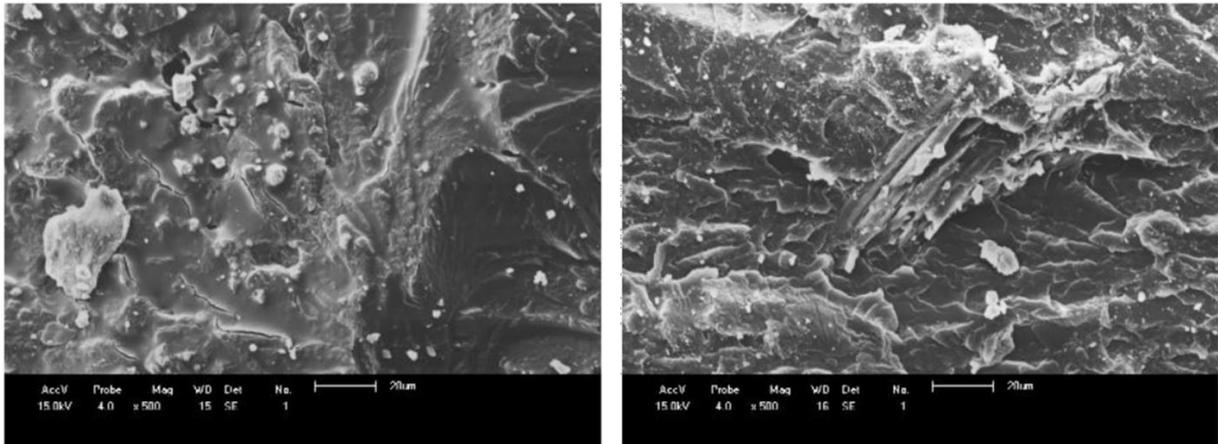
FONTE: MARINI, 2008.

A partir da análise da figura, foi possível observar mais de um pico obtido nas curvas de torque, como resultado da fusão dos grânulos das resinas, sendo essas previamente misturadas nas blendas, por influência da temperatura e do atrito (MARINI, 2008).

Bretas e D'Ávila (2010), explicaram que um primeiro pico, em cada amostra, representa o torque necessário para a compactação do material que se encontrava no estado sólido. Em seguida, nota-se um vale característico do processo de compressão e mistura do material. Por fim, um segundo pico indicou o torque para fundir o polímero. Bretas; D'Ávila (2010), ainda complementam que em misturas realizadas com blendas podem ser visualizados dois picos de fusão, tendo como explicação as diferentes formas e temperaturas de cada componente. Em alguns casos, esse segundo pico pode ser imputado à fusão de um aditivo.

De acordo com Almeida (2019), foi possível avaliar, com a reometria de torque, a fusão dos compósitos formados pelo Poli(butileno adipato-co-tereftalato) PBAT misturado com duas variações de uma fibra vegetal extraída do coco do babaçu; epicarpo e mesocarpo. A partir disso, a Figura 3 discutiu o grau de dispersão das fibras na matriz polimérica com o uso do microscópio eletrônico de varredura (MEV).

Figura 3 – MEV das superfícies dos compósitos PBAT/Babaçu.



(a) PBAT/10% mesocarpo com magnificação de 500x.

(b) PBAT/10% epicarpo com magnificação de 500x.

FONTE: Adaptado de ALMEIDA, 2019.

Como pode ser visto na figura acima, os compósitos obtidos após a mistura evidenciaram as diferentes morfologias entre as fibras, por possuírem diferentes cargas de celulose e lignina, o que influenciou na adesão entre a fibra e a matriz. Além disso, por meio das micrografias pode ser verificada a dispersão das fibras e cargas, que se mostraram bem espalhadas ao longo da seção transversal da amostra, destacando, assim, que a reometria de torque pode além de processar compósitos poliméricos, obter uma boa dispersão dos reforços e cargas na matriz.

3.2 Sistema de velocidade

Nessa parte da revisão, inicia-se os estudos sobre os tipos de sistemas que controlam, comandam e indicam os parâmetros e resultados que os reômetros podem apresentar. Assim, esse tópico irá demonstrar os acionadores; por meio de motores e controladores.

3.2.1 Acionamento

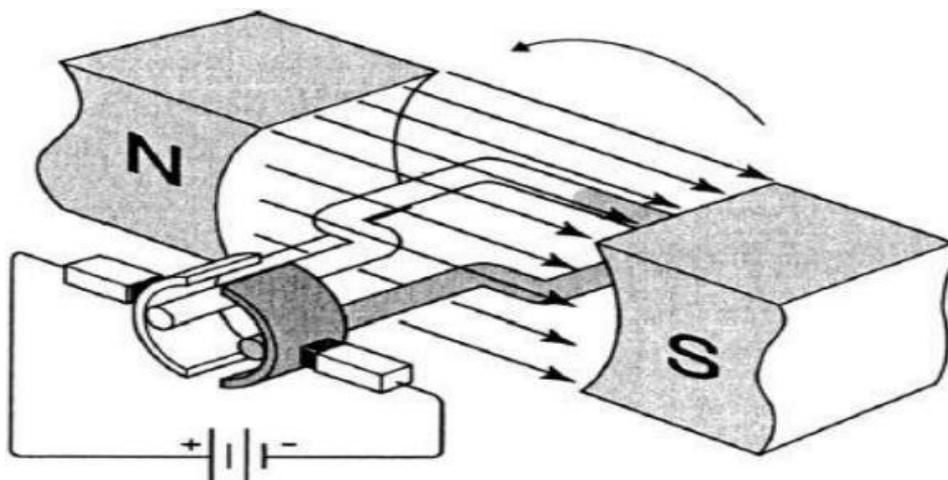
Para Castro; Duarte; Sousa (2016), com os motores elétricos é possível converter energia elétrica em mecânica. Sendo que em sua maioria, seu funcionamento se baseia em fenômenos eletromagnéticos.

Os motores podem ser classificados de acordo com a corrente que os alimenta, podendo ser motores de corrente contínua (CC/DC), motores de corrente alternada (CA/AC) e há casos de instrumentos que podem funcionar com ambos os tipos (CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016; GOTTLIEB, 1997).

3.2.1.1 Motores com corrente contínua (CC)

O funcionamento dos motores de corrente contínua pode ser descrito quando uma fonte de corrente contínua alimenta o rotor, que passa a ter características de um eletroímã, assim atraindo os ímãs móveis. Essa ação gera uma força magnética que provoca o giro do rotor, com uma velocidade angular diretamente proporcional à tensão que foi aplicada (CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016; GOTTLIEB, 1997). Esse funcionamento pode ser observado na Figura 4:

Figura 4 - Funcionamento de um motor DC.



FONTE: CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016.

Com o passar dos testes com esse motor, verificou-se um problema de inter rompimento de giro, que se dá pela desaceleração do corpo magnetizado, causado pelas forças de atração geradas pela aproximação dos pares magnéticos – norte e sul. A solução para esse problema foi a criação do comutador, que trabalha fazendo a inversão do sentido da corrente, quando se tem aproximação dos pares “norte-sul”, isso acarreta a inversão dos polos magnéticos do rotor, fazendo com que seu movimento seja ininterrupto (CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016; GOTTLIEB, 1997).

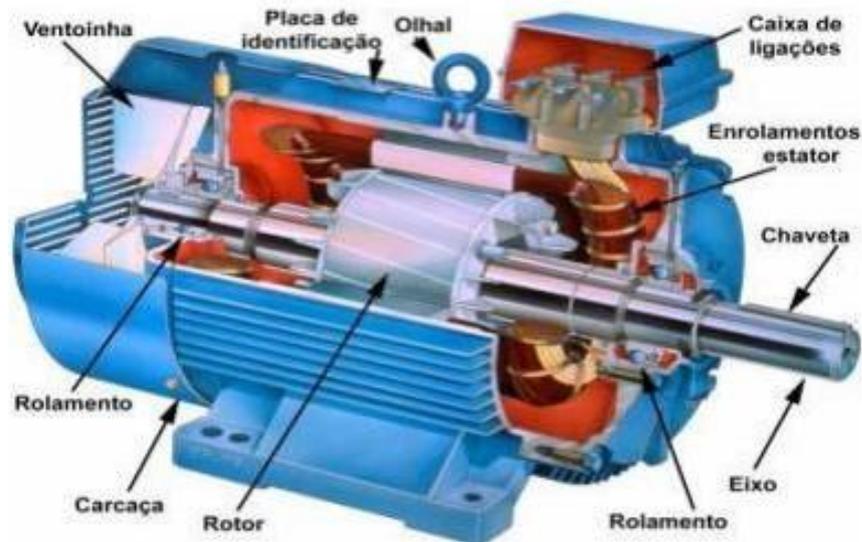
De acordo com Castro; Duarte; Sousa (2016), pelas dificuldades encontradas em instalação e operação, como preço alto, esse tipo de motor não tem aplicação em alta escala. Corroborando com essa fala, para Gottlieb (1997), esses motores são mais empregados em áreas que exigem maior controle da velocidade, onde é crucial manter um torque constante.

3.2.1.2 Motores com corrente alternada (CA)

Os motores com corrente alternada, diferente dos motores de corrente contínua, não necessitam de algo para inverter o sentido da corrente, mas a própria corrente alternada nas redes elétricas já promove essa inversão, garantido que o rotor tenha seu giro continuado (CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016). De acordo com Baldor (2005), pode-se classificar os motores AC em: motores de indução e síncronos.

Os motores de indução ou assíncronos funcionam basicamente a partir de efeito magnético, que torna possível a conversão da energia elétrica em energia mecânica pela indução. Sua estrutura é considerada simples, como pode ser observado na Figura 5, é constituído de um rotor; tendo como função produzir movimento e gerar energia. E, também, por um estator, que tem como função conduzir a energia para transforma-la em elétrica (SILVA, 2018).

Figura 5 - Esquema de um motor de indução.

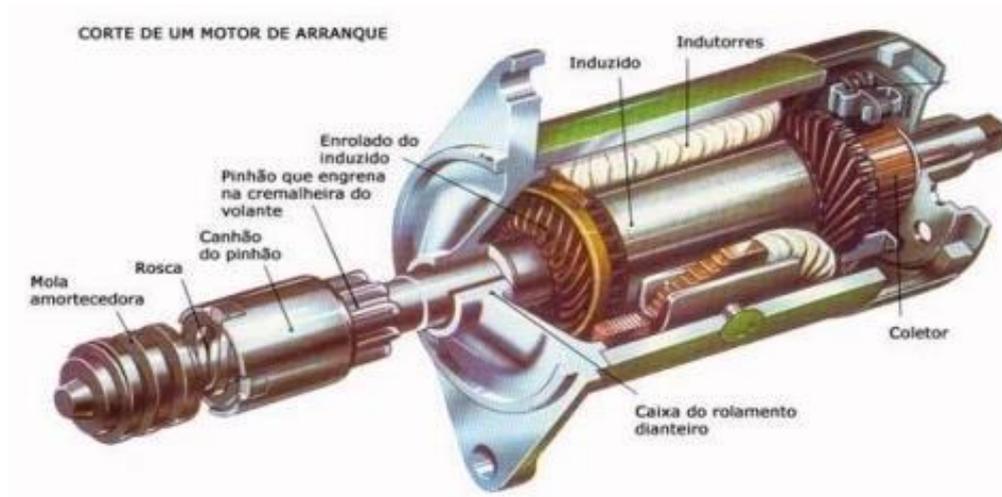


FONTE: SILVA, 2018.

Os motores de indução têm como vantagens o seu baixo custo inicial, por sua construção simples, sua fase de trabalho tem como característica ser silenciosa e livre de vibrações (CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016; GOTTLIEB, 1997).

Já para os motores síncronos, de acordo com Baldor (2005) e Castro; Duarte; Sousa (2016), tem grandes semelhanças com os motores de indução, mas com aspectos construtivos um pouco diferentes. Nesse tipo de motor, o rotor gira na mesma velocidade que o estator, como seu nome sugere – em sincronismo. Para Silva (2018), se tratando da forma de alimentação, ela pode ser realizada em duas formas, o rotor sendo alimentado em corrente contínua e o estator sendo alimentado em corrente alternada por uma fonte alternativa de energia. O detalhamento desse motor pode ser observado na Figura 6:

Figura 6 - Esquema de um motor síncrono.



FONTE: SILVA, 2018.

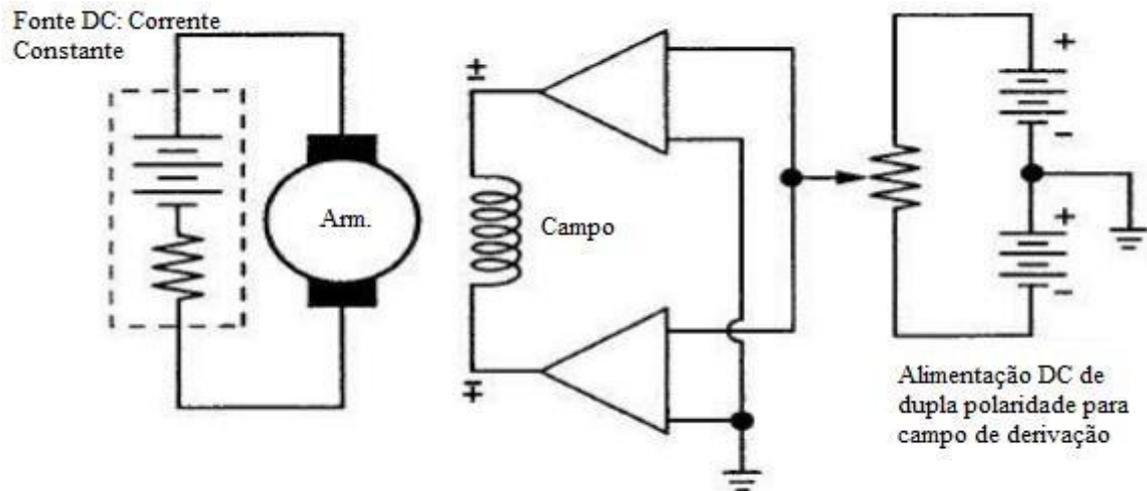
Por fim, cita-se como algumas desvantagens do motor síncrono a possibilidade da carga que está sendo acelerada pelo mesmo não ser deslocada em sincronismo, o que acarreta em sua operação a baixa frequência, com velocidades bastante irregulares, ocasionando em possíveis ruídos. Também se pode colocar como possível empecilho o preço dos motores síncronos, em relação aos de indução, pelo seu tamanho (BALDOR, 2005; CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016).

3.2.1.3 Servo motor

Os servos motores, na literatura, são designados como motores de derivação; que se caracterizam como motores onde a sua armadura e o estator são alimentados em paralelo. Esse motor tem como características que a velocidade tem a capacidade de acompanhar de forma satisfatória o aumento de corrente, sendo uma relação diretamente proporcional, isso o diferencia dos motores de derivação convencional. Outro fator de diferenciação que pode ser citado se dá sua tendência a não instabilidade da velocidade (CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016; GOTTLIEB, 1997).

Assim, seu princípio de funcionamento pode ser observado na Figura 7:

Figura 7 - Funcionamento de um servo motor.



FONTE: Adaptado de CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016.

De acordo com Castro; Duarte; Sousa (2016), pode-se observar sua utilidade ao uso quando é necessário um controle mais refinado da velocidade de operação do instrumento. Além de ter capacidade de se manter estático em uma posição, após efetuar seu giro, mesmo que outras forças criem torque em seu eixo.

3.2.1.4 Motor de passo

De acordo com Barbano; Misoguti; Romero (2019), o motor de passo se comporta como um atuador eletromecânico, conseguindo assim converter um sinal digital em um movimento mecânico discreto. Esse tipo de motor tem ampla utilização na robótica, no controle industrial e na instrumentação eletrônica.

Para explicar essa gama de aplicações que esse motor pode ser empregado, usa-se um conjunto de características definidas por Castro; Duarte; Sousa (2016), onde ele avalia as seguintes características:

- O motor de passo não utiliza escovas, sendo que as escovas em motores convencionais estão sujeitas a possíveis falhas pela criação de arcos elétricos;

- Não dependem da carga; esse motor pode girar em uma velocidade definida, desde que não se exceda o limite de torque para o motor;
- Tem uma excelente resposta quando se trata da partida, parada e inversões de sentido do giro;
- Posição do eixo reconhecida sem a necessidade de um sistema de *feedback*, essa vantagem se dá pelo seu posicionamento em malha aberta, podendo se mover em incrementos ou passos quantificados.

O motor de passo pode ser dividido em três tipos básicos, sendo eles: imã permanente, relutância variável e híbridos (CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016).

3.2.2 Controlador de acionamentos

Após a abordagem dos acionadores e seus tipos, tem-se a possibilidade de estudar os controladores que auxiliam o funcionamento desses acionadores.

3.2.2.1 Inversores de frequência

O inversor de frequência tem como finalidade básica regular a velocidade de um motor elétrico mantendo o seu torque, o que irá diferenciá-lo é o tipo de motor utilizado. Este equipamento foi desenvolvido para ser utilizado com os motores de corrente alternada. Sendo que esses motores tem grandes vantagens sobre os motores de corrente contínua; situação já descrita nos tópicos anteriores (CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016).

3.2.2.2 Transmissão por engrenagens

A transmissão de movimento a partir de um par de engrenagens tem como resultado comum a redução da velocidade e, conseqüente, aumento de torque. Essa ação proporciona, entre outras utilidades, a movimentação de cargas mais pesadas. Assim, é descrito como um par de engrenagens um sistema de rodas dentadas que ficam engrenadas entre si, impossibilitando a livre movimentação de um dos pares sem afetar o outro par (CHIODELLI, 2012).

Dessa forma, pode-se citar exemplos de pares engrenados, como as engrenagens automotivas. De acordo com Chiodelli (2012), dentre as engrenagens empregadas na indústria automobilística se pode avaliar:

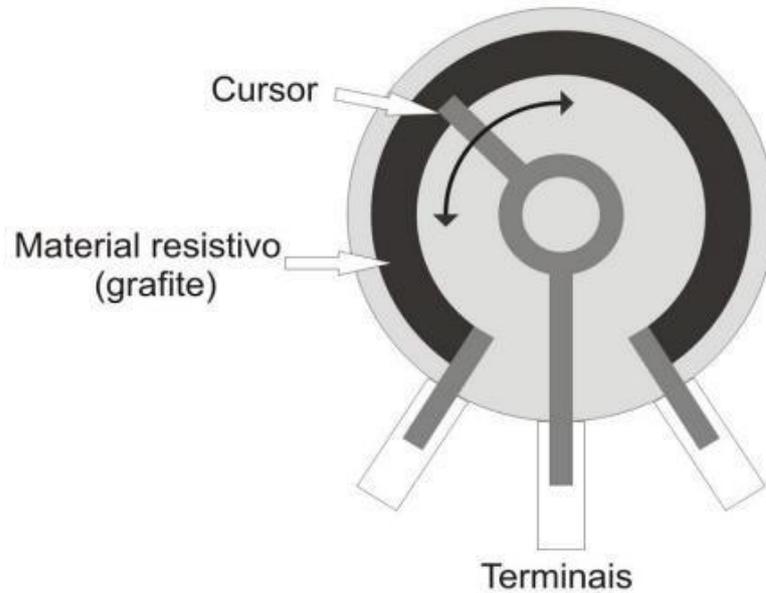
- Engrenagens cilíndricas de dentes retos: Esse conjunto de engrenagens possuem dentes de corte reto paralelos aos eixos da engrenagem. Assim, possibilitando o encaixe sem deslizamento entre os dentes de um par de engrenagens.
- Engrenagens cilíndricas helicoidais: Esse conjunto é semelhante ao de dentes retos, diferenciando-se pelos dentes que podem ficar inclinados, na referência do eixo de rotação, em ângulos entre 10° a 45°.

3.2.2.3 Potenciômetro

O potenciômetro exerce como uma de suas principais funções o ajuste de algum parâmetro, assim sendo utilizado nas aplicações que envolvam movimento, deslocamento e outros fenômenos que sejam mecânicos. Nesse sentido, pode-se definir o potenciômetro como um divisor de tensão que varia de acordo com sua posição (PATSKO, 2006).

Esse controlador é composto por um material mais resistivo, podendo ser o grafite, que liga os dois terminais mais externos. Esse padrão pode ser melhor visualizado na Figura 8:

Figura 8 - Detalhamento do potenciômetro.



FONTE: PATSKO, 2006.

O cursor, que trabalha ligado diretamente ao terminal central, desliza sobre o material resistivo alterando a resistência entre os terminais de acordo com a posição em que se o movimenta (PATSKO, 2006).

Por fim, para Patsko (2006), pode-se classificar os potenciômetros pela forma em que se pode alterar a posição do curso. Sendo mais comum os angulares, que são comumente aplicados em equipamentos de som, como também indicar o deslocamento de uma engrenagem ou a inclinação de uma rampa. Tem-se os multivoltas, que apresentam a possibilidade de várias voltas no cursor, essa característica os torna adequados para aplicações em sistemas mecânicos, onde se tem a necessidade de monitorar a movimentação de algum sistema. Por último, cita-se os lineares, eles apresentam o cursor ligado a um pequeno pino que pode ser de metal ou plástico; como exemplo de função o sensor de movimento linear.

3.3 Sistema de acoplamento

3.3.1 Acoplamento flexível

A ligação com o sistema de acionamento tem que ser feita por um sistema de acoplamento. Assim, de acordo com o catálogo da empresa KALTEC Automação, em termos gerais o acoplamento flexível se define como um conjunto mecânico utilizado para corrigir o desalinhamento entre eixos, evitar a transmissão de vibração, que o motor exerce, para outros componentes mais delicados e, também, evitar o excesso de carga nos rolamentos dos motores. Na Tabela 1, pode-se analisar os tipos de acoplamento que existem no mercado:

Tabela 1 - Tipos de acoplamento.

Modelo	Torque (Nm)	Indicação
AF/AS	1 a 4,3	Encoder e Motores Passo Nema 23
ADS-J	16 a 200	Motores de Passo e Servo Motores
DKN	1,5 a 10	Motores de Passo e Encoder
OLDHAN	1,7 a 7,0	Motores de Passo e StepServo

FONTE: Adaptado de KALTEC Automação, 2022.

3.4 Sistema de temperatura

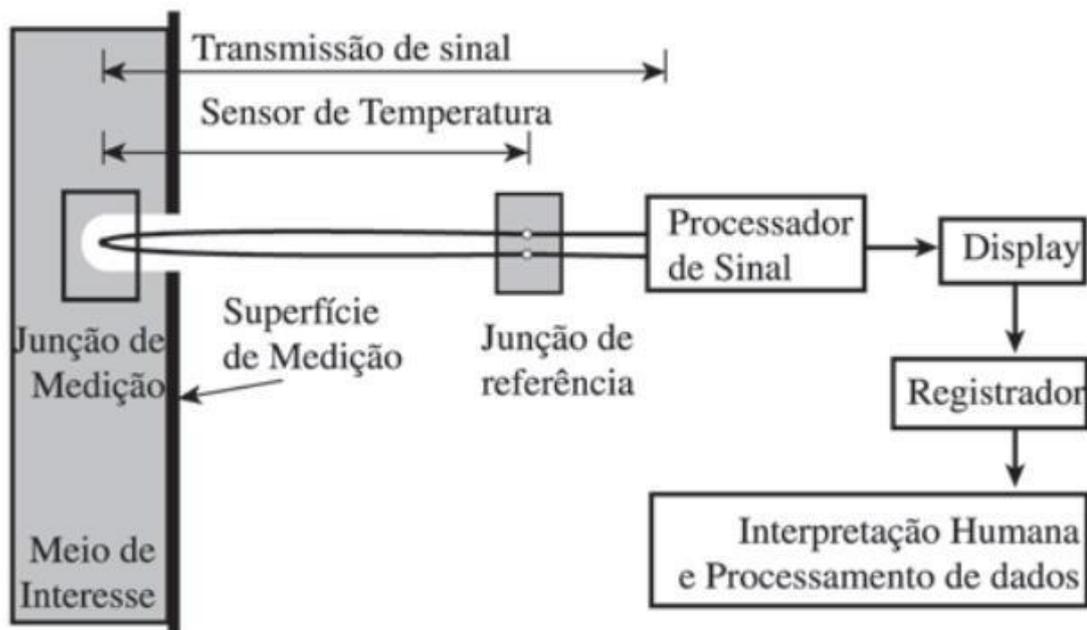
Como foi abordado e exemplificado no tópico sobre os sistemas de velocidade, faz-se necessário estudar os sistemas de temperatura; as opções de termopares para a aferição da temperatura durante o trabalho do misturador e, também, os controladores para assegurar o funcionamento correto do sistema.

3.4.1 Termopar

De acordo com Moreira (2002), os termopares são amplamente utilizados na indústria pela sua simplicidade e confiabilidade durante a operação de monitoramento da temperatura. Assim, pode ser definido como um transdutor que envolve dois fios diferentes unidos por uma de suas extremidades.

Seu funcionamento, diferente dos outros sensores de temperatura, se baseia no gradiente de temperatura; propriedade material do fio. Em outras palavras, a medição do termopar será aferida a partir da diferença de temperatura ao longo do fio. Nesse sentido, é essencial que os fios utilizados na fabricação do termopar sejam homogêneos ao longo de seu comprimento, para que não ocorra erros na medição. O termopar é composto basicamente pela junção de medição, junção de referência e os fios homogêneos (MOREIRA, 2002). Essa compreensão de funcionamento e composição pode ser melhor visualizada na Figura 9:

Figura 9 - Funcionamento e modelo de medição do termopar.



FONTE: MOREIRA, 2002.

Os termopares podem ser classificados em três grupos, são eles: termopares padronizados de metal nobre (R, S e B), termopares padronizados de metal base (K, J, N, E e T) e ainda termopares que não são definidos por uma letra. A divisão entre as classes de metal nobre ou

base se dá pela sua confecção, sendo o metal nobre por conter platina, enquanto os metais base contêm níquel (MOREIRA, 2002).

A Tabela 2 e a Tabela 3 ilustram as condições de trabalho e o ambiente em que os termopares são usualmente utilizados, respectivamente:

Tabela 2 - Condições de trabalho do termopar, de acordo com ASTM E-230.

Sensor	Faixa de utilização (°C)	Limite de erro (escolher o maior) - Padrão
E	0 a 870	± 1,7 °C ou 0,50%
	-200 a 30	± 1,7 °C ou 1,00%
J	0 a 760	± 2,2 °C ou 0,75%
K, N	0 a 1260	± 2,2 °C ou 0,75%
	-200 a 30	± 2,2 °C ou 2,00%
T	0 a 370	± 1,0 °C ou 0,75%
	-200 a 30	± 1,0 °C ou 1,50%

FONTE: Adaptado de MOREIRA, 2002.

Tabela 3 - Ambiente do trabalho para os termopares.

Tipo	Ambiente	Comentário	Temperatura máxima (°C)
E	Oxidante, inerte	Bom para temperaturas abaixo de zero. Maior tensão dos termopares comuns	870
J	Oxidante, inerte, redutor em vácuo parcial	O ferro oxida rapidamente	760
K	Oxidante, inerte	Sujeito a "green rot" em algumas atmosferas	1260
N	Oxidante, inerte	Mais estável que o tipo K, em altas temperaturas	1260
T	Oxidante, inerte, redutor em vácuo parcial	Temperatura abaixo de zero. Tolera umidade	370

FONTE: Adaptado de MOREIRA, 2002.

Por fim, de acordo com Moreira (2002), para se realizar uma medição de forma correta, utilizando o termopar, deve-se observar alguns detalhes:

- Garantir que a junção de medição se mantenha em uma condição exotérmica. Para isso, deve-se imergir o termopar na profundidade adequada; que gira em torno de 5 a 15 vezes o seu diâmetro externo;
- Conectar o transdutor do conjunto em dois sistemas físicos com duas temperaturas diferentes; pelo fato do funcionamento do instrumento ser relacionado ao gradiente de temperatura;
- A junção de referência deve estar em condição isotérmica, proporcionando uma temperatura conhecida e auxiliando na obtenção de uma interface referente ao sinal.

3.4.2 Controlador de temperatura

De acordo com o catálogo da OMEGATM, o controlador de temperatura é um equipamento que tem como função controlar a temperatura, de forma que o instrumento recebe em sua entrada um sensor de temperatura; sendo mais usual um termopar, mas também se usa uma sonda Pt-100 (RTD), e tem sua saída conectada a um determinado dispositivo; um aquecedor ou um ventilador.

Ainda de acordo com o catálogo da OMEGATM, tem-se três tipos básicos de controladores, que são: liga/desliga, proporcional e PID.

Segundo o catálogo da OMEGATM, o controle liga/desliga é a categoria de dispositivo mais simples entre os controladores, sendo sua saída sem estado intermediário, ou seja, ligada ou desligada. Nesse sentido, o controle será determinado dependendo do ponto de ajuste que foi estipulado, assim se a temperatura estiver acima do ponto de ajuste a saída será desligada e, por analogia, a saída será ligada quando a temperatura estiver abaixo do ponto de ajuste. Por esse motivo, esse tipo de controlador é usado quando o processo não necessita de um controle

preciso, quando o sistema não é ligado ou desligado com muita frequência ou ainda quando a massa do sistema for grande o suficiente para que as temperaturas sejam alternadas lentamente.

Já o controle proporcional, para o catálogo da OMEGA™, tem como objetivo eliminar esses ciclos do controle liga/desliga, assim eles funcionam controlando a potência média fornecida ao aquecedor, de modo que diminuem a potência quando a temperatura fica próxima ao ponto de ajuste e a mantém estável durante o processo.

Por fim, de acordo com o catálogo da OMEGA™, discute-se a última categoria de controladores de temperatura, conhecida como controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID). Esse tipo de controlador é o mais estável e preciso entre os controladores citados, sendo que este fornece um controle proporcional combinado com dois ajustes adicionais; integral e derivativo. Esses ajustes adicionais são expressos utilizando unidade de tempo e carregam como função compensar automaticamente, de forma rápida e eficiente, as variações no sistema. Assim, esse controlador é indicado para sistemas que necessitam de uma reação mais rápida do controle nas variações de energia e, também, em sistemas onde a carga é variada com alta frequência e que o controlador compense isso de forma automática.

Na Figura 10, pode-se observar o exemplo de um controlador PID:

Figura 10 - Controlador de temperatura PID.



FONTE: Adaptado de OMEGA™.

3.5 Microcontroladores

Para finalizar a revisão de todos os componentes necessários ao desenvolvimento do projeto, é necessário estudar sobre possibilidades de microcontroladores, que tem como finalidade o processamento dos dados obtidos pelos sensores do reômetro. Possibilitando a avaliação desses dados e criação de gráficos em programas de computador.

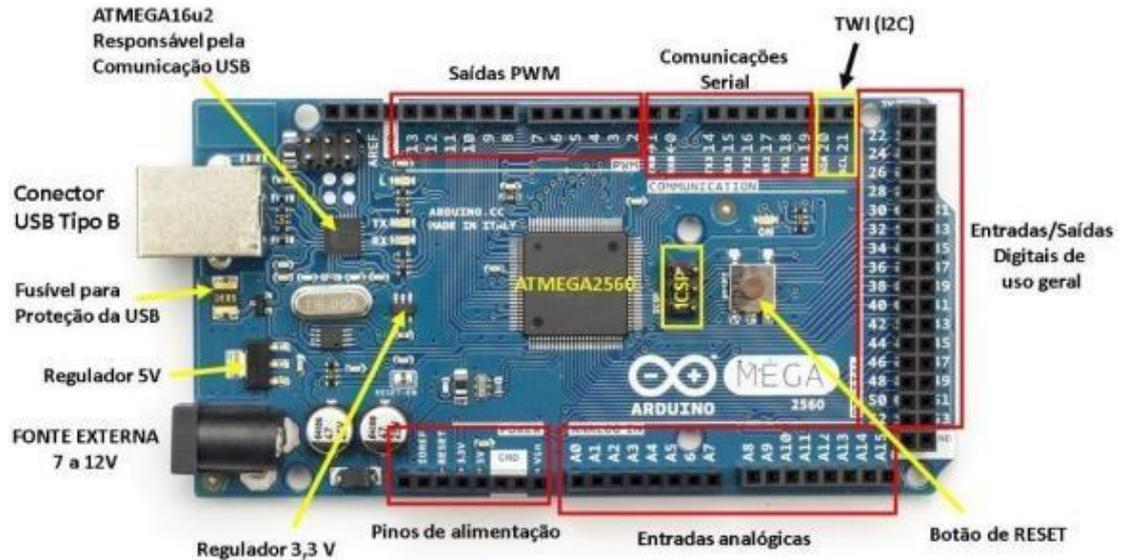
3.5.1 *ESP32*

O microprocessador ESP32 se caracteriza como um poderoso microcontrolador em formato de chip, que possui integrados em seu componente as conexões com *Wi-Fi* e *Bluetooth*. Esse dispositivo pode ter como funções integradas a uma gama de sensores, como movimento e temperatura. (BABIUCH; FOLTÝNEK; SMUNTNÝ, 2019).

3.5.2 *Arduino*

O Arduino, segundo Castro; Duarte; Sousa (2016), pode ser descrito como um software, que em sua criação teve o objetivo de uma metodologia fácil de ser utilizada, tendo uma linguagem de programação que possibilita a criação de programas tanto simples como complexos. Tudo isso faz com que o Arduino tenha inúmeras funções, como automações residenciais e medições computacionais. A estrutura de sua placa pode ser descrita por um microcontrolador em conjunto com entradas e saídas, podendo ser digitais e analógicas. Um tipo de Arduino que pode ser citado é o MEGA 2560, sendo exemplificado na Figura 11:

Figura 11 - Arduino MEGA 2560.



FONTE: Adaptado de CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016.

Esse modelo, como pode ser visualizado, possui um elevado número de entradas e saídas digitais e analógicas, esse fator faz com que o componente seja uma excelente opção para projetos mais robustos, que apresentem um número razoável de sensores, acionadores e controladores (CASTRO; DUARTE; SOUSA, 2016).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia que foi seguida no trabalho teve como base o reômetro instrumentado utilizado no projeto de Fiorio (2007), onde oligoureтанos foram sintetizados e misturados com poliuretano termoplástico (TPU). A Figura 12 exemplifica o instrumento utilizado para a mistura.

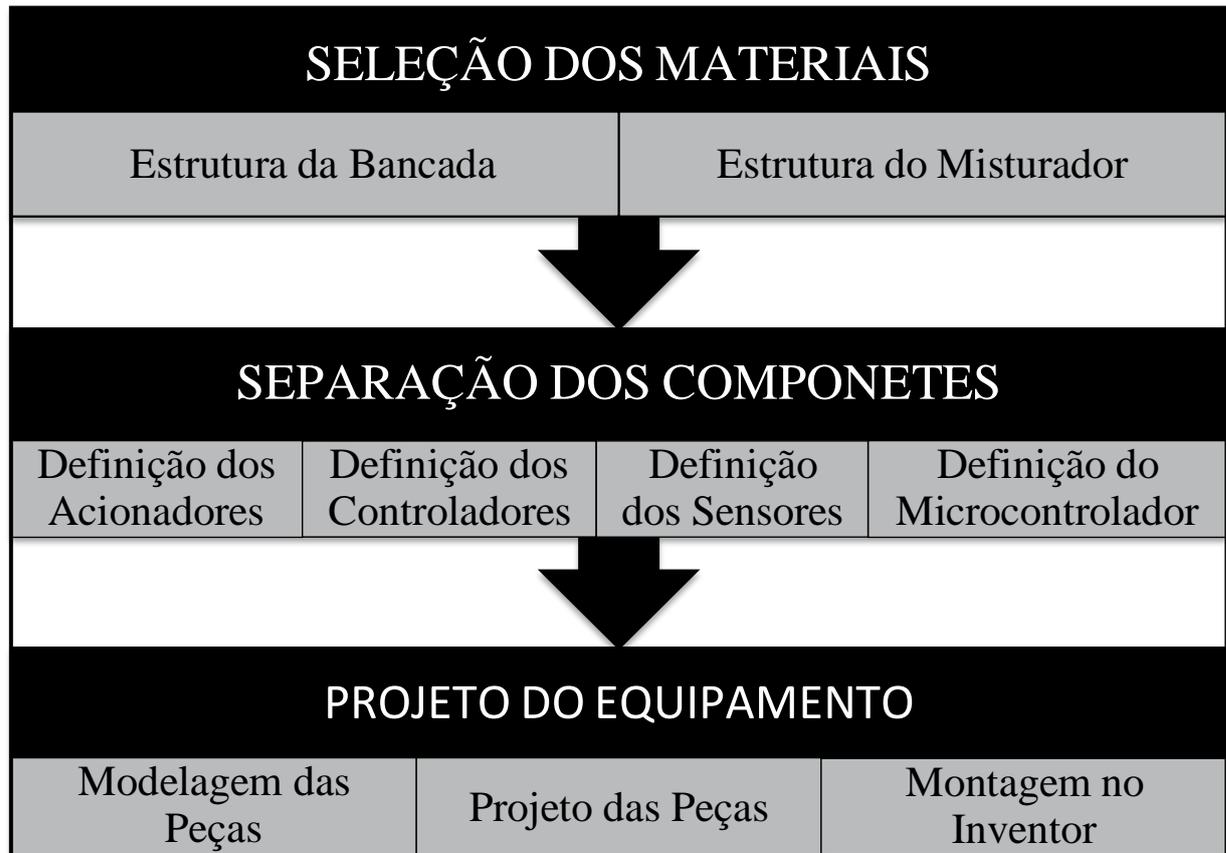
Figura 12 - Reômetro de torque instrumentado



FONTE: FIORIO, 2007.

Dessa forma, foi utilizada a Figura 13, onde se escalonou três etapas de planejamento para a realização do projeto. Dentro dessas três etapas, tem-se as tarefas de seleção, definição e modelagem que foram realizadas.

Figura 13 - Processo para o desenvolvimento do projeto.



FONTE: Próprio autor.

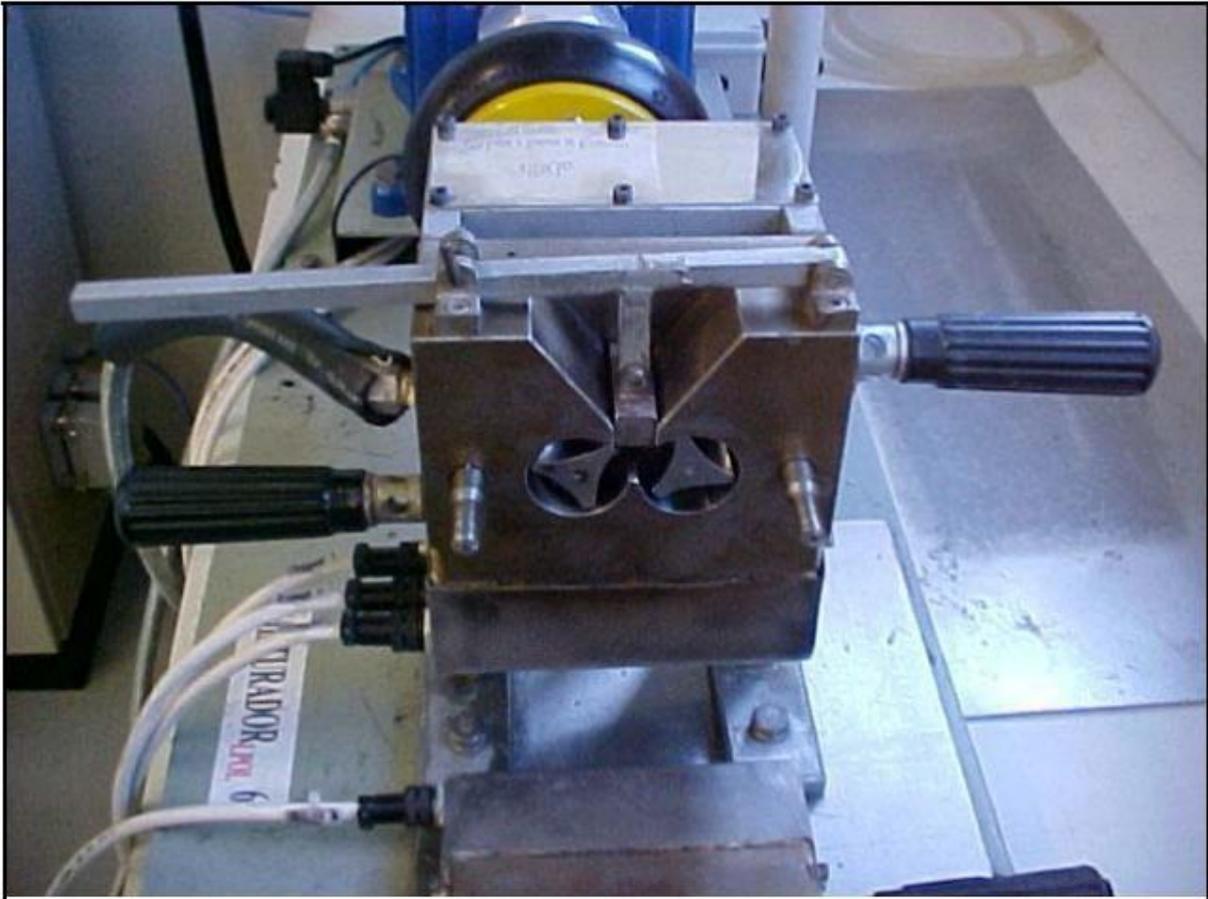
4.1 Materiais

4.1.1 Seleção dos Materiais

Para o melhor aproveitamento do instrumento nas dependências do laboratório de polímeros foi elaborado uma bancada feita com de aço baixo carbono (Metalon), devido a sua melhor resistência térmica e dureza, comparado com as ligas de alumínio, como pode ser observado no Anexo A. Suas dimensões foram projetadas com altura de 900 mm, comprimento de 1300 mm e largura de 700 mm, maiores informações sobre sua disposição e medidas podem ser melhor visualizadas no Apêndice A, desenho número 1.

A parte externa do reômetro e seus rotores foram projetados com base na Figura 14, que exemplifica, no trabalho de Fiorio (2007), o reômetro instrumentado com a sua tampa aberta, mostrando a configuração de seus rotores e espaço destinado para a alocação dos mesmos.

Figura 14 – Câmara de mistura do reômetro de torque.

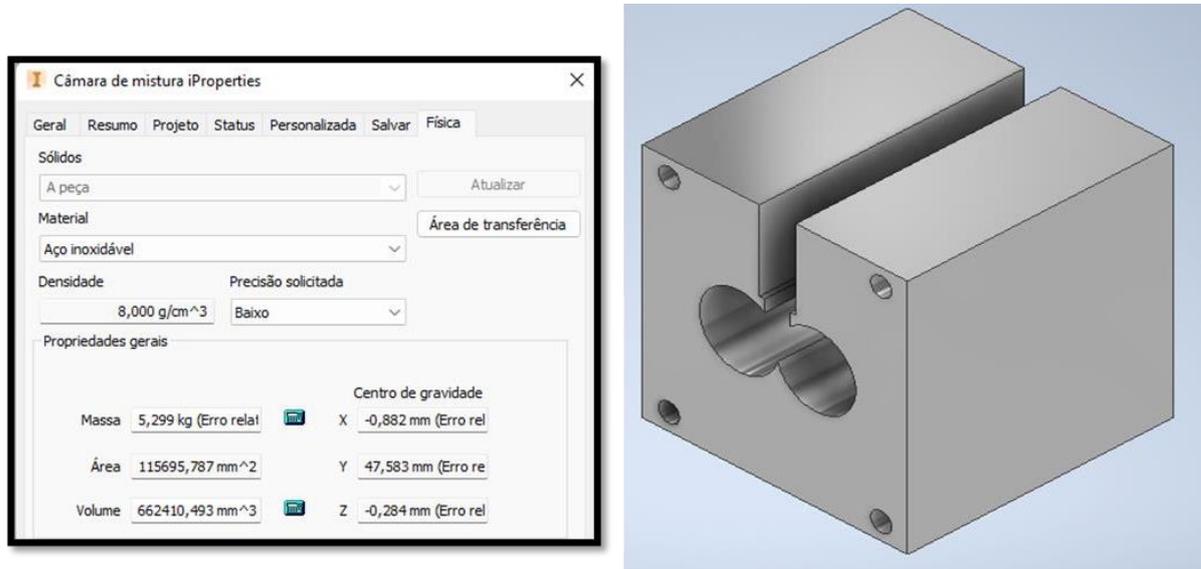


FONTE: FIORIO, 2007.

O material de escolha para o projeto desses componentes, tendo como referência o Anexo A, foi o aço inoxidável AISI 304, onde foram destacadas as suas propriedades anticorrosivas, térmicas e mecânicas, em comparação ao aço baixo carbono e as ligas de alumínio. Sendo que, o aço baixo carbono tem baixa resistência a corrosão, assim com o tempo óxidos seriam dispersados dentro do misturador, contaminando as amostras. E, as ligas de alumínio, não tem boas propriedades mecânicas, visto no Anexo A, dessa forma para alcançar as propriedades adequadas ao projeto, seria necessário um processo secundário, como a nitretação, porém seu custo seria elevado, além da adição de mais uma etapa ao projeto.

Sendo assim, foi projetada a câmara de mistura em formato retangular tendo peso estipulado de 5,3 Kg, suas dimensões foram de 100 mm de comprimento, 100 mm de largura e 100 mm de altura, como visualizadas na Figura 15.

Figura 15 – Imagem do software – Câmara de mistura aberta.

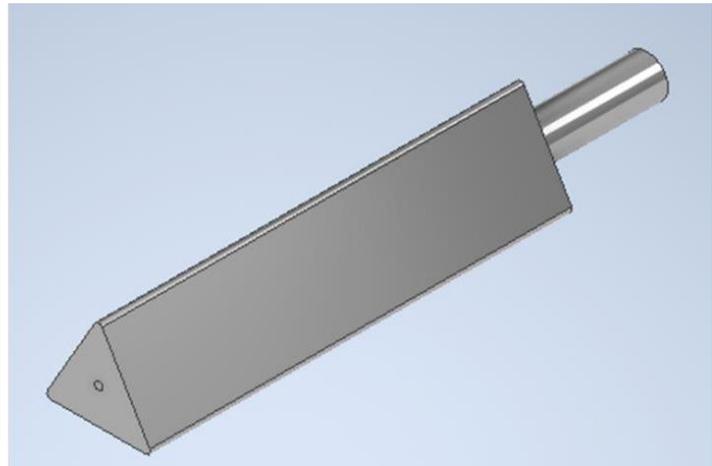
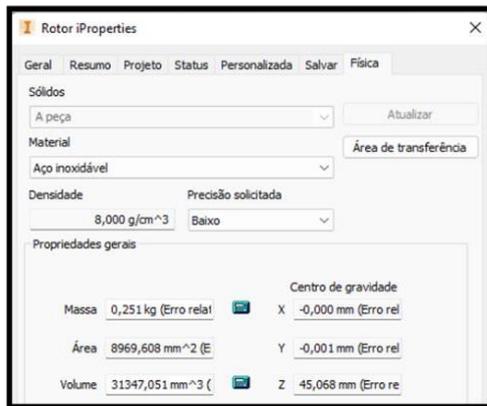


FONTE: Próprio autor.

Em sua parte superior, fez-se uma abertura que possibilita colocar as amostras para mistura. E na sua face central, foi projetada duas entradas circulares para a inserção dos rotores. Informações sobre medidas e as peças que compõem esse componente podem ser pesquisadas no Apêndice A, desenho número 2, e o posicionamento de cada peça pode ser vista no Apêndice A, desenho número 3.

O rotor tem comprimento de 100 mm. A base triangular tem geometria como medida 24,25 mm e 21,50 mm de altura. Em sua estrutura, tem-se uma haste em formato de um cilindro, com comprimento igual a 30 mm e sua base circular apresenta diâmetro de 10 mm. Como observado na Figura 16.

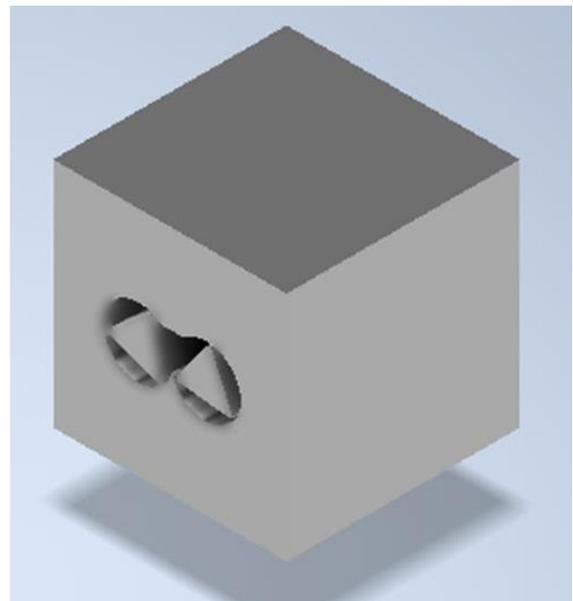
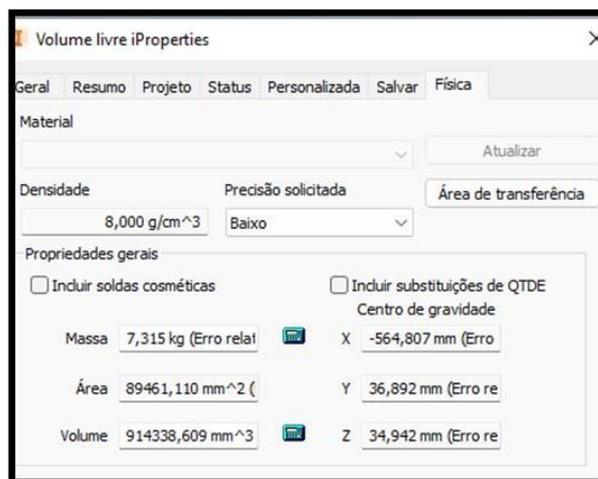
Figura 16 - Imagem do software – Rotor.



FONTE: Próprio autor.

Foi calculado o volume livre que o misturador possui para mistura dos compostos poliméricos. Realizou-se um trabalho de engenharia reversa, em que foi mensurado o volume da câmara de mistura, juntamente com os rotores, o que pode ser visto na Figura 17, tendo como resultado 914,34 ml. Como a câmara maciça tem volume de 1000 ml, encontrou-se um volume livre de aproximadamente 85,66 ml.

Figura 17 – Volume da câmara de mistura.



FONTE: Próprio autor.

4.1.2 Separação dos equipamentos

4.1.2.1 Componentes

O acionador escolhido para o projeto foi da classe dos servomotores denominado *Easy Servo Motor ES-MH23480*, da fabricante *Leadshine*, com torque de 8 Nm. Esse componente conta com dimensões de 200 mm de comprimento, 100 mm de largura e 100 mm de altura. O motor é acompanhado pelo *Easy Driver ES-DH1208*, que comanda as ações do motor, e compondo o conjunto se tem o Módulo DB9 Conversor *Serial RS232-TTL MAX3232*, que decodifica os sinais de controle enviados pelo microcontrolador. O acionador teve sua escolha justificada, referenciado por Gottlieb (1997), pois os motores de corrente contínua, em comparação às outras classes de motores, apresentam maior controle da velocidade, mantendo um torque constante. Outra característica que corroborou para o uso do servomotor foi a possibilidade de o controle de seus parâmetros ser feita pelo próprio microcontrolador.

O sistema de controle de acionamento definido para o instrumento foi o transmissor de movimento do tipo engrenagens retas, sendo planejado a construção do mesmo nas dependências do CEFET MG. O material para sua confecção foi o SAE 1020, por seu menor custo ao aço inoxidável, sendo que em comparação, o aço baixo carbono apresentou resistência térmica e dureza semelhante, como visto no Anexo A. Suas dimensões projetadas são de 120 mm de comprimento, 150 mm de largura e 130 mm de altura. Foi projetada dupla saída para esse componente em função dos rotores da câmara de mistura, assim possibilitando seu o movimento contra rotacional. Tal movimento é de suma importância quando o composto polimérico for misturado, pois permite que esse material não se acumule em uma só zona de rotação da câmara, o que ocasionaria a falha de processo.

Para o sistema de acoplamento foram selecionados três acoplamentos flexíveis do tipo ADS, com dimensionamento de 37 mm de comprimento e base circular com diâmetro de 10 mm. Sua escolha teve como explicação o controle de propagação de vibrações que esse componente permite, sendo que os movimentos mecânicos feitos pelo motor podem comprometer os experimentos realizados. Também se cita, com referência a Tabela 1, a indicação técnica para o acionador do projeto os modelos de acoplamento flexível ADS-J.

No sistema de temperatura o sensor escolhido para o reômetro é da classe dos termopares, que se estendem em vários tipos, como observado na Tabela 2. Usando-se essa como referência e tendo como complemento a Tabela 3, foi selecionado o termopar do tipo K, que tem características de resistência a ambientes oxidantes e inertes, somado a um módulo de leitura do tipo Max6675. Tendo em vista sua faixa de trabalho, alcançando uma temperatura máxima em torno de 800 °C. O termopar do tipo T foi analisado e considerado adequado ao projeto, entretanto o mesmo tem maior custo, observado no Anexo C, em relação ao termopar escolhido.

Para o controle da temperatura foi designado o controlador digital de temperatura do tipo PID REX-C100, que tem faixa de trabalho entre 0 a 400 °C. Por fim, para alcançar as temperaturas ideais de trabalho foram selecionadas duas resistências aletadas, de aço inoxidável, própria para estufas de 1500 W.

O microcontrolador escolhido para fazer a coleta dos dados obtidos no uso do reômetro para a interface do computador foi o Arduino do tipo MEGA 2560, esta escolha foi justificada, como analisado no trabalho de Castro; Duarte; Souza (2016), pela facilidade de programação desse componente, tendo uma linguagem mais acessível de programação. O Arduino tem um alto número de entradas e saídas para diversos dispositivos, quando comparado ao ESP32, esse fato tem uma grande importância em sua preferência, sendo o projeto determinado com sensores e outros componentes em sua estrutura.

4.2 Métodos

Toda a parte de modelamento de peças, seu projeto e, ao final, montagem foram realizados pelo Inventor. Sua escolha foi feita, baseada nas informações da AUTODESK, por esse software possuir licença educacional, sem restrição de recursos e ferramentas, como ocorre em outros programas. Seu ambiente permitiu realizar o projeto das peças, em 3D, facilitando a sua construção, tendo a possibilidade de uma apresentação mais elaborada com vista explosiva, para melhor visualização da montagem do misturador. Sendo que, o Inventor possibilitou a montagem e a visualização do instrumento, o que auxiliou no entendimento do misturador em todas as suas diretrizes.

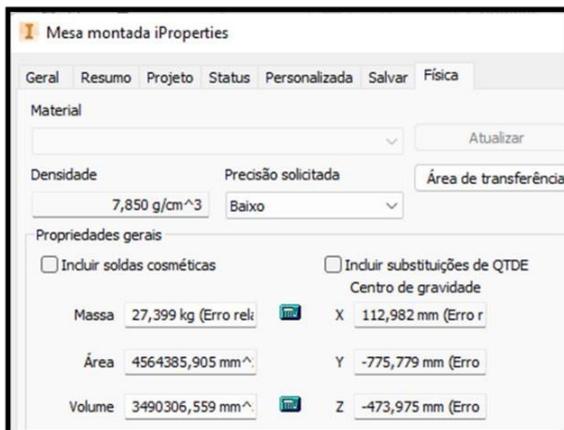
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Seleção de materiais – bancada e misturador

5.1.1 Bancada

O projeto para a bancada pode ser visualizado na Figura 18, seu peso ficou estipulado em 27,4 Kg.

Figura 18 - Imagem do software – Bancada.



FONTE: Próprio autor.

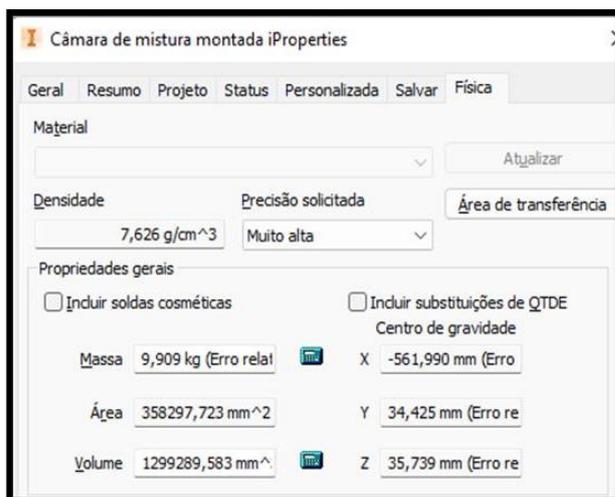
Observa-se que a estrutura da bancada foi planejada para facilitar a passagem do cabeamento por alguns furos em sua extensão. Como, também, a possibilidade de alocar suportes e fixadores para que os componentes fiquem distribuídos da melhor forma para a seu trabalho. Informações sobre medidas e disposição das partes do componente podem ser pesquisados no Apêndice A, desenho número 1.

Foi estipulado para a estrutura da bancada um perímetro material de 12000 mm e para o tampo uma chapa de 700 mm de largura e 1360 mm de comprimento. Os orçamentos que melhor atenderam o projeto do componente, podem ser visualizados no Anexo B. Sendo destacados os valores da fornecedora USIMINAS, para a parte estrutural, e os valores da ARCELORMITTAL, para o tampo.

5.1.2 Estrutura do misturador

A Figura 19, obtida pelo Inventor, mostra a câmara de mistura fechada, com todas as partes externas que a compõem. Seu peso projetado ficou em torno de 10 Kg.

Figura 19 - Imagem do software – Câmara de mistura fechada.



FONTE: Próprio autor.

O peso projetado para esse componente mostra, como vantagem, a facilidade em seu deslocamento e manutenção. Os pinos que se prolongam nas quatro extremidades da câmara, além de serem os pontos de fixação quando ela estiver fechada, são conectados diretamente na estrutura do redutor, isso garante o alinhamento dos dois componentes. Para que os rotores fiquem na altura correta aos eixos de saída do redutor, tem-se um suporte, que também garante sua segurança, pela fixação, durante o funcionamento do instrumento.

A estrutura do misturador composta pela câmara de mistura e seus dois rotores foram pesquisadas em diferentes fornecedores, como pode ser visualizado no Anexo B. Sua avaliação foi baseada no valor de mercado para o material aço inoxidável AISI 304, de acordo com suas dimensões e geometrias. Os fornecedores com melhor custo foram a MINAS INOX COM. DE AÇOS E METAIS Ltda para a câmara de mistura e a POLINOX para os rotores.

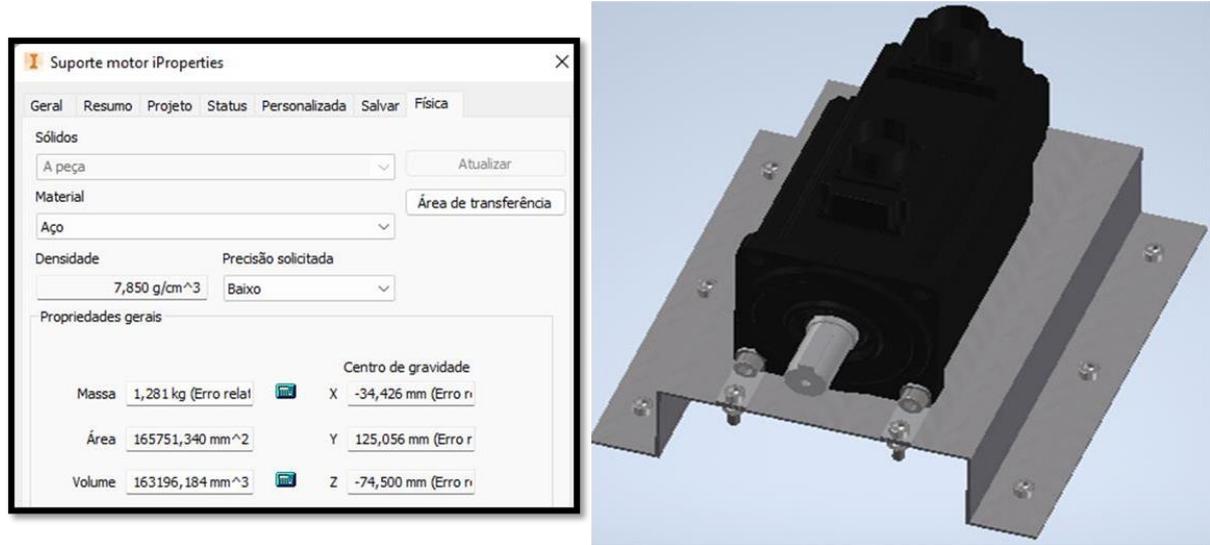
Maiores informações e detalhes das tampas que compõem a câmara de mistura, sua estrutura em função da geometria dos rotores, os pinos utilizados em sua montagem e estabilização por suporte e fixadores podem ser melhor visualizados no Apêndice A, desenho número 2. Assim como, a posição e quais são os componentes que compõem sua extensão podem ser observados no Apêndice A, desenho número 3.

5.2 Definição dos componentes

5.2.1 Acionador

A Figura 19, obtida no Inventor, mostra o conjunto acionador fixado em seu suporte. O peso estipulado para o conjunto ficou em torno de 4 Kg. A massa do suporte foi projetada pelo software, como observado na Figura 20, com 1,3 Kg. A massa do acionador foi determinada no catálogo da Neoyama (2022), com 2,7 Kg.

Figura 20 - Imagem do software – Acionador.

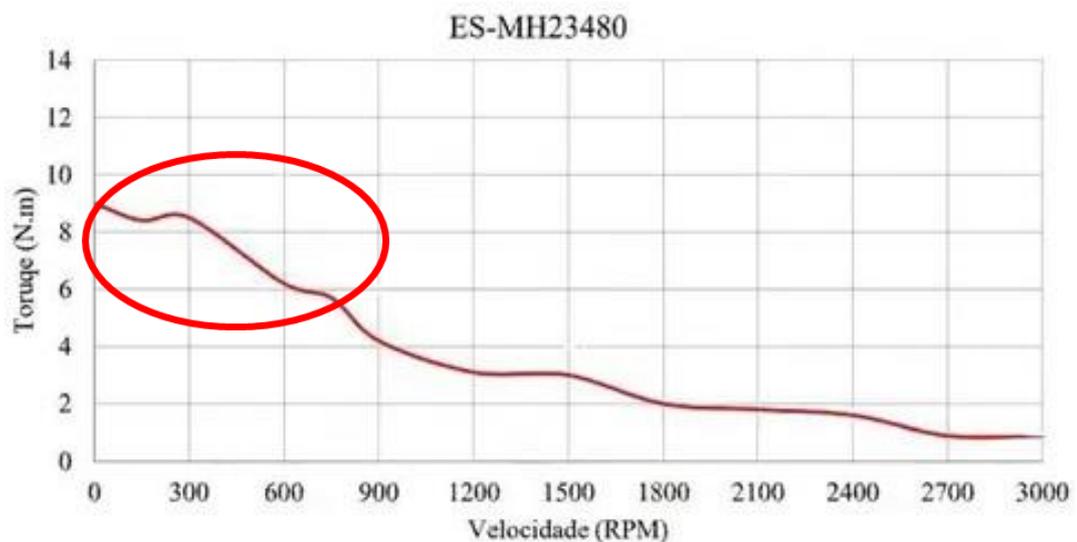


FONTE: Próprio autor.

O suporte e fixador, para o acionador, garantem que o componente não se desloque em funcionamento e que a altura de seu eixo se ajuste corretamente ao encontro do eixo de entrada do redutor.

Ainda, de acordo com o catálogo da Neoyama (2022), a faixa de rotação em que o acionador apresenta torque elevado, sem perder sua eficiência pode ser observada na Figura 21.

Figura 21 - Faixa de trabalho do acionador.



FONTE: Adaptado de NEOYAMA, 2022.

Dessa forma, a rotação de trabalho mais adequada para o acionador ficou em torno de no máximo 800 rpm, pois identificou-se uma queda de torque em rotações acima dessa faixa de trabalho.

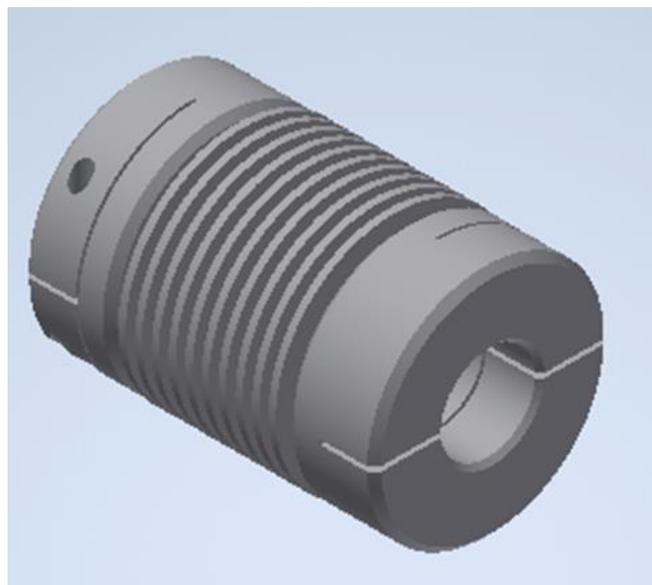
O *Easy Servo Motor* ES-MH23480 com o *Easy Driver* ES-DH1208, juntamente com o Módulo DB9 Conversor RS233, foram avaliados em diferentes fornecedores, seus respectivos preços podem ser visualizados no Anexo C. Sendo os melhores valores analisados para o *kit* do servomotor o fornecedor TECH MAKERS e para o módulo conversor a ELETROGATE.

Maiores informações sobre o posicionamento e as peças que compõem o acionador podem ser visualizadas no Apêndice A, desenho número 4. E, as dimensões do suporte e fixadores, são melhor dimensionados no Apêndice A, desenho número 5.

5.2.2 *Acoplamento flexível*

A Figura 22, obtida pelo Inventor, demonstra a forma do acoplamento flexível. Sua massa, de acordo com o catálogo da KALTEC, foi estimada em 140 g.

Figura 22 - Imagem do software – Acoplamento flexível.



FONTE: Próprio autor.

O acoplamento JAW, modelo ADS, foi selecionado em fornecedores diferentes e os melhores resultados foram listados no Apêndice C. Sendo o componente com menor custo o Acoplamento JAW - Modelo ADS60 da fornecedora KALTEC.

5.2.3 *Microcontrolador*

A Figura 23, obtida no Inventor, mostra o conjunto do microcontrolador e sua estrutura de proteção em acrílico. Como observado, a massa do conjunto foi projetada em 110 g.

Figura 23 - Imagem do software – Arduino MEGA 2060 R3.



FONTE: Próprio autor.

Nota-se um componente de fácil locomoção, pelo seu peso, sua estrutura permite ser fixada por meio de parafusos. O Arduino tem capacidade de comportar várias entradas analógicas e digitais para sensores. Isso corrobora com a escolha desse microcontrolador, que garante um processamento de dados robusto. Para sua proteção, ele foi envolto em uma caixa de acrílico, por se tratar de um componente muito sensível e de suma importância para o funcionamento do equipamento.

O microcontrolador Arduino MEGA 2560 R3 foi avaliado em diferentes empresas e sua cotação foi explicitada no Apêndice C. O fornecedor CASA DA ROBÓTICA apresentou o melhor valor.

Para maiores detalhes do componente, visualizar o Apêndice A, desenho número 6, que demonstra as dimensões referentes a caixa protetora e o Apêndice A, desenho número 7, informa as posições e as peças em que esse componente foi organizado.

5.2.4 Controlador de temperatura

A Figura 24, descreve o formato do controlador de temperatura. Esse componente, de acordo com o fornecedor SMART KITS, tem peso de 200 g e faixa de trabalho com temperaturas de 0 a 400 °C.

Figura 24 - Controlador de Temperatura PID REX-C100.



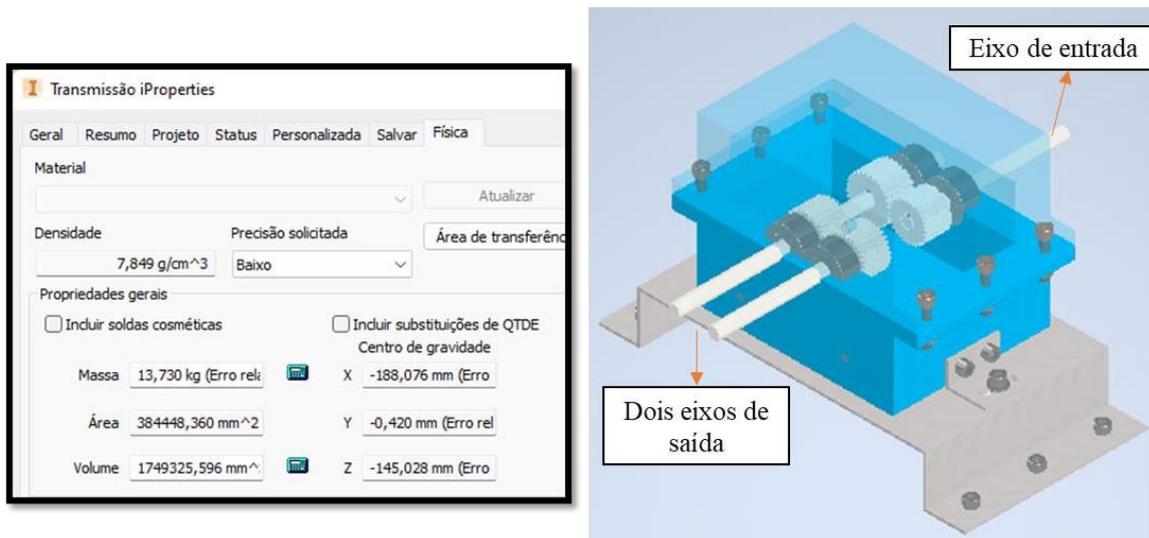
FONTE: Adaptado de SMART KITS, 2022.

O controlador de temperatura, na configuração digital, REX-C100 foi listado em diferentes fornecedores e seus valores foram descritos no Apêndice C. Sendo que a empresa com melhor custo-benefício foi o SMART KITS.

5.2.5 Transmissão por engrenagens

Para o projeto, foi feito um sistema de transmissão por engrenagens no Inventor, como vista na Figura 25, sendo possível observar sua estrutura externa e sistema de engrenagens ligadas por eixos e chavetas. O peso do conjunto foi mensurado em 13,7 Kg.

Figura 25 - Imagem do software – Transmissão.



FONTE: Próprio autor.

O componente foi planejado para que o eixo de entrada fosse ligado ao acionador, por meio do acoplamento flexível. Assim, realizando todo o processo de transmissão de movimento que foi direcionado aos dois eixos de saída, que foram ligados aos dois rotores, também por acoplamentos flexíveis. Dessa forma, tem-se a possibilidade de trabalho com os rotores exercendo movimentos contra rotacionais.

Foram realizados dois orçamentos com tamanhos de base diferentes, vide Apêndice B, para assim, ter-se a possibilidade da adaptação de tamanho para a caixa externa do transmissor. Assim, foi planejado o orçamento em que a base tem lado maior (152,40 mm), para a fabricação da caixa do transmissor, dos pinos e engrenagens.

As dimensões em que o componente e seu suporte e fixadores foram projetados pode ser observada no Apêndice A, desenho número 8. E, como foi feita a organização de cada peça do componente, como eixos e engrenagens, pode ser vista no Apêndice A, desenho número 9.

5.2.6 Resistência

A Figura 26, defini ilustrativamente a resistência aletada de 1500 W. Esse componente, de acordo com o fornecedor AMERICANAS, foi projetada para ser utilizada em estufas secadoras.

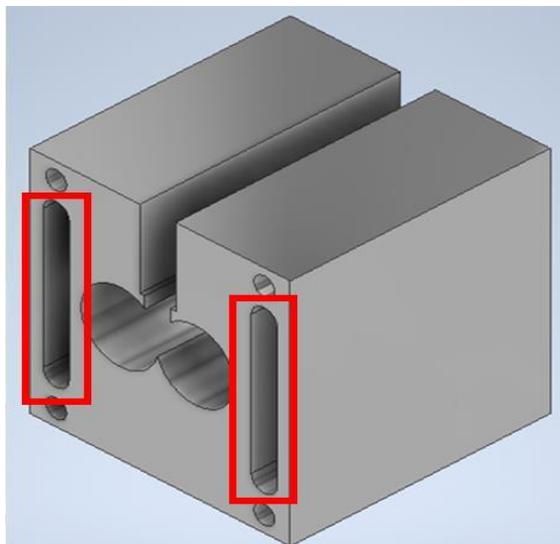
Figura 26 - Resistência Aletada.



FONTE: AMERICANAS, 2022.

A resistência foi pesquisada em diferentes fornecedores. As informações sobre cada um podem ser visualizadas no Apêndice C. Na Figura 27, foi possível identificar os locais onde as duas resistências foram alocadas na câmara de mistura.

Figura 27 - Imagem do software – Localização da resistência.



FONTE: Próprio autor.

5.2.7 Sensor de temperatura

A Figura 28, demonstra a estrutura do termopar acompanhado do módulo de leitura, de acordo com o fornecedor ELETROGATE, esse componente possui faixa de trabalho de 0° a 800°C.

Figura 28 - Termopar Tipo K e Módulo de leitura MAX6675.



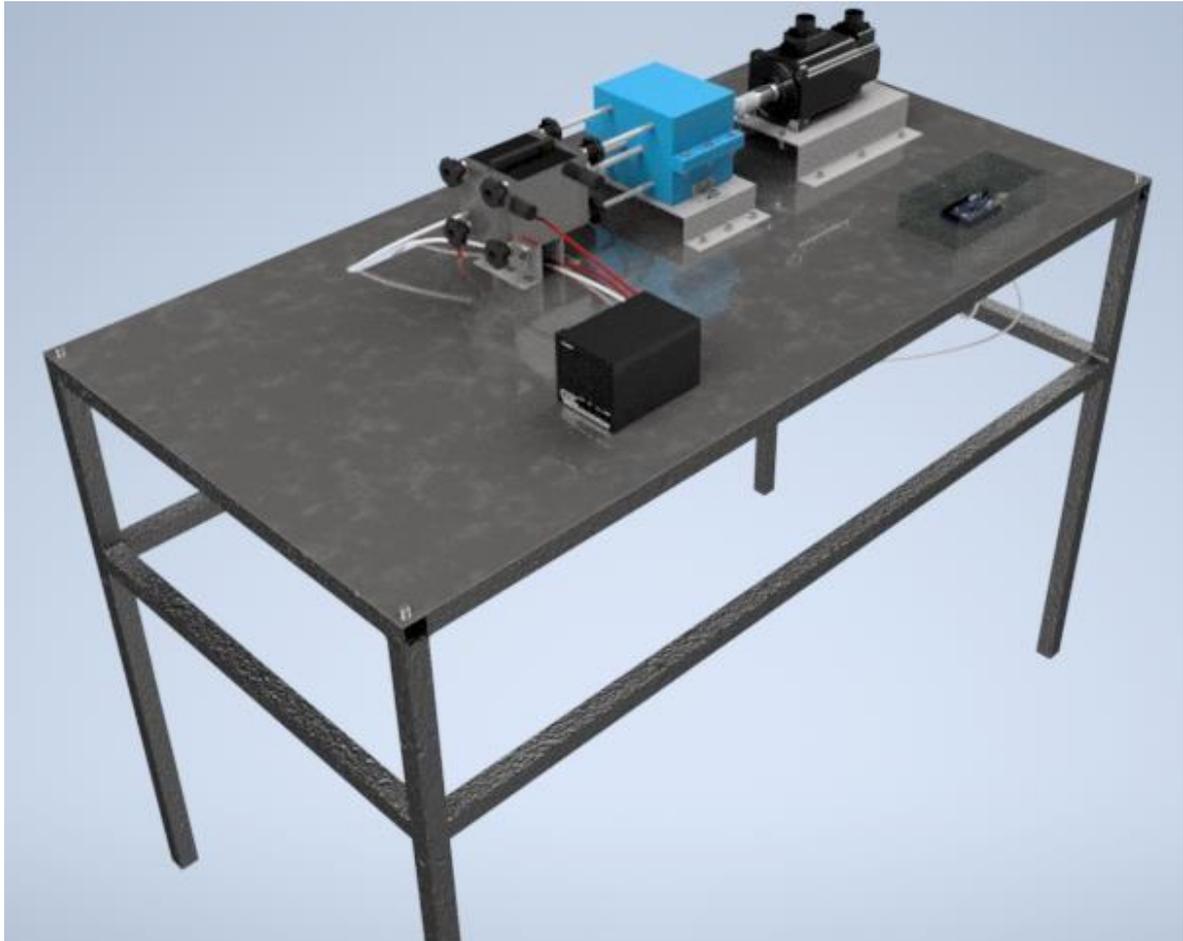
FONTE: Adaptado de ELETROGATE, 2022.

O Termopar Tipo K juntamente com o módulo de leitura MAX6675, tiveram seus valores de mercado pesquisados em diferentes fornecedores e seus valores podem ser observados no Apêndice C. Sendo o melhor custo o fornecedor PONTOFRIO.

5.3 Projeto final

O projeto do instrumento montado pode ser visualizado na Figura 29, obtida a partir do sistema de renderização do Inventor. Sua faixa de trabalho, referenciado pelo catálogo da Neoyama (2022), tem rotação em torno de 0 a 800 rpm.

Figura 29 - Instrumento montado.



FONTE: Próprio autor.

Percebe-se, com essa imagem em perspectiva, toda a disposição que os sistemas que compõem o equipamento ficaram sobre a bancada. Nota-se todo o alinhamento da parte do sistema de acionamento, passando pelo controlador de velocidade e chegando à câmara de mistura. Assim como, a disposição do microprocessador e do controlador de temperatura em função da disposição dos furos para o cabeamento, gerando uma facilidade de organizá-los por toda a extensão da bancada, sem interferir no funcionamento do dispositivo.

Nesse âmbito, se faz importante mencionar o peso de todos os componentes do instrumento, sem contar com a bancada. Esse componente foi pensando como sendo opcional ao projeto, embora sua importância tenha sido revelada pelos resultados, todas as outras partes do equipamento são de fácil locomoção, por terem peso relativamente pequeno e estarem dispostos em configurações roscadas; com suportes e fixadores. Assim, o peso do instrumento sem a bancada ficou estimado em aproximadamente 29 Kg.

Em seguida, de acordo com os Anexos B e C, foi possível reunir os orçamentos de cada componente, tendo a possibilidade de estipular uma estimativa de preço total para a construção do equipamento. Esse orçamento final foi descrito na Tabela 4:

Tabela 4 – Orçamento final.

Componente	Quantidade	Preço Final	Fonte
Bancada (Estrutura)	2	R\$ 190,42	USIMINAS
Bancada (Tampo)	1	R\$ 434,82	ARCELORMITTAL
Reômetro (Rotor)	1	R\$ 520,00	POLINOX
Reômetro (Câmara de Mistura)	1	R\$ 2.225,00	MINAS INOX COM. DE AÇOS E METAIS Ltda
Transmissão	1	R\$ 480,38	AÇOTUBO
Easy Servo Motor ES-MH23480 Leadshine	1	R\$ 2.284,11	TECH MAKERS
Módulo DB9			
Conversor <i>Serial</i> RS232-TTL MAX3232	1	R\$ 7,90	ELETROGATE
Acoplamento JAW - Modelo ADS60	3	R\$ 480,00	KALTEC
Arduino MEGA 2560 R3	1	R\$ 165,98	CASA DA ROBÓTICA
Controlador de Temperatura PID REX-C100	1	R\$ 129,90	SMARTKITS
Resistência Aletada 1500 W 220 V Aço Inoxidável Estufa Secadora	2	R\$ 259,80	AMERICANAS
Termopar Tipo K	1	R\$ 66,85	PONTOFRIO
TOTAL	16	R\$ 7.245,16	-

FONTE: Próprio autor.

O custo total para a realização do projeto ficou em aproximadamente R\$ 7.300,00. Tendo em vista que o orçamento para a compra de um reômetro de torque similar ao projetado, que pode ser analisado no Anexo D, tem valor em torno de R\$ 466.00,00. O que demonstra uma redução na casa de 63 vezes o valor estipulado do projeto.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho um instrumento do tipo reômetro de torque foi projetado, com o auxílio do software Inventor. Esse equipamento teve como base o reômetro instrumentado, utilizado no trabalho de Fiorio (2007), e se mostrou eficiente para realizar misturas com compostos poliméricos, como demonstrado no trabalho de Beatrice (2014) onde dois tipos de blendas, envolvendo os materiais PEAD e PEMA, foram processados.

Para a confecção da câmara de mistura do instrumento, foi selecionado o aço inoxidável AISI 304, devido à sua elevada resistência à corrosão, térmica e mecânica. Dessa forma, tendo capacidade de evitar que os materiais misturados sejam contaminados por óxidos provenientes de um eventual processo de corrosão. Outro material utilizado para a construção do controlador de acionamento foi o aço SAE 1020, devido a seu menor custo, em detrimento ao aço inoxidável e ter melhores propriedades mecânicas, quando comparado às ligas de alumínio.

Ainda na etapa de desenvolvimento do projeto, estimou-se o peso total do instrumento montado, com exceção da massa calculada para a bancada, uma vez que sua construção em trabalhos futuros foi considerada opcional. O resultado desse cálculo foi em torno de 29 Kg, se mostrando um valor razoável para prováveis deslocamentos os quais o conjunto possa ser submetido.

Em seguida, definiu-se o sistema de controle do equipamento, que contou com uma estrutura de proteção para o Arduino. Como destacado no trabalho de Castro; Duarte; Sousa (2016), esse componente possui um alto número de entradas para comunicação com os sistemas de acionamento e os demais sensores requeridos para um completo controle e supervisão do instrumento.

Por fim, com base na Tabela 4, foi possível definir um orçamento final para a montagem do instrumento, com o resultado de R\$ 7.300,00, que se mostrou 63 vezes menor quando comparado com o preço de um reômetro de torque comercial.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Automatização dos controladores no equipamento, utilizando a programação do Arduino para se fazer o controle de temperatura, dispensando, assim, o uso de um controlador digital.
- Construir o equipamento físico e realizar testes com compostos poliméricos.
- Realizar a calibração dos parâmetros do instrumento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acoplamento Flexível. **KALATEC**. 2022. Disponível em: <https://www.kalatec.com.br/acoplamentos-sem-folga-para-servos/>. Acesso em: 16 de mai. 2022.

ALMEIDA, T. G. de. **Compósitos de poli (butileno adipato-co-tereftalato) e fibra de babaçu: efeito do processamento e do tipo e teor de carga**. 2019. 148 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande - Paraíba - Brasil, 2019.

AHRENS, C. H. Estudo da estrutura e propriedades de peças de pp moldados por injeção em ferramentas de prototipagem. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHEARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS, 2002, Natal. **Anais [...]**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2002 p. 1892-1898.

Arduino MEGA 2560 R3. **GRABCAD**. 2022. Disponível em: <https://grabcad.com/library/arduino-mega-2560-r3-3>. Acesso em: 25 de mai. 2022.

ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2 ed. 2012.

BABIUCH, M.; FOLTÝNEK, P.; SMUNTNÝ, P. Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing. 2019. **20th International Carpathian Control Conference (ICCC)**, 2019, p. 1-6.

BARBANO, E. C.; MISOGUTI, L.; ROMERO, A. L. S. Sistema computadorizado para deslocamento de amostra com motor de passo utilizando o L298: aplicação na técnica de varredura-Z. **Revista Brasileira de Ensino de Física [online]**. 2019, v. 41, n. 4, e20190018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0018>. Acesso em: 29 de jan. 2022.

BALDOR - Motors and drives SERVO CONTROL FACTS - **A HANDBOOK EXPLAINING THE BASICS OF MOTION**, 2005. Disponível em: <https://www.baldor.com/Shared/manuals/1205-394.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2021.

BEATRICE, C. A. G. **Caracterização estrutural e monitoramento ótico da cristalização de nanocompósitos de polietileno de alta densidade com partículas de diferentes geometrias durante a moldagem por injeção**. 2014. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

BRETAS, R. L. S.; D'ÁVILA, M. A. **Reologia de polímeros fundidos**. 2. ed. São Carlos: EduFSCar, 2010.

CAPELLI, A. Inversores de Frequência, **MECATRÔNICA ATUAL Nº 2 - FEVEREIRO/2002**. Disponível em: <http://docslide.com.br/documents/revista-mecatronica-atual-edicao-002.html>. Acesso em: 29 jan. 2022.

CASTRO, B. R.; DUARTE, T. P.; SOUZA, W. P. T. **Plataforma com dois graus de liberdade para simuladores de voo**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Contagem, 2016.

CHIODELLI, R. T. **Dimensionamento de componentes de transmissão para um protótipo baja SAE**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Faculdade Horizontina, Rio Grande do Sul, 2012.

CONTROLADOR DE TEMPERATURA. **OMEGA™**. 2022. Disponível em: <https://br.omega.com/prodinfo/controladores-temperatura.html>. Acesso em: 01 de fev. 2022.

Controller Dynisco ATC880. **GRABCAD**. 2022. Disponível em: <https://grabcad.com/library/controller-dynisco-atc880>. Acesso em: 20 de mai. 2022.

COSTA, C. M. **Análise e aperfeiçoamento de viscosímetro rotacional de campo através da reologia de fluido de perfuração**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

COSTA, C. M. Caracterização Reológica de Fluidos Complexos. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetininga, v. 4, n. 7, 2017. Edição Especial.

DUARTE, V. C. S. **Caracterização superficial do aço ASTM A352 CA6NM**. 2018. x, 50 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

Easy Servo 8,0 N.m ES-MH23480. **GRABCAD**. 2022. Disponível em: <https://grabcad.com/library/easy-servo-8-0-n-m-es-mh23480-1>. Acesso em: 28 de abr. 2022.

FERRY, J. D. *Viscoelastic properties of polymers*. 3. ed. New York: John Wiley and Sons, 1980.

FILHO, F. W. P. T. **Análise da eficiência de um tratamento isotérmico a 565°C para aumento da dureza de um aço SAE 1020**. 2019. 51 f. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

FIORIO, R. **Efeitos da incorporação de oligoureтанos de baixa massa molar nas propriedades térmicas, mecânicas e reológicas do poliuretano termoplástico**. 2007. Tese (Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

Flexible shaft coupling-Type C: clamp style. **TRACEPARTS**. 2022. Disponível em: <https://www.traceparts.com/pt/product/accs-flexible-shaft-coupling-type-c-clamp-style-size-25-left-bore-10-mmright-bore-10-mm?Product=30-02062010-086511&PartNumber=C253710001000>. Acesso em: 16 de mai. 2022.

GOTTLIEB, Irving M. **Practical Electric Motor Handbook**, 1997. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/book/9780750636384/practical-electric-motor-handbook>>. Acesso: em 20 jan. 2022.

Knob BRT Through-Hole Version. **TRACEPARTS**. 2022. Disponível em: <https://www.traceparts.com/pt/product/boutet-knob-brt-throughhole-version-m6-external-o-25-mm?Product=22-26082002-125399&PartNumber=9629>. Acesso em: 20 de mai. 2022.

LARA, E. A. de; TEIXEIRA; JUNIOR, H. J. **Estudo das variações de dureza e microestrutura da liga de alumínio AA6351-T6 quando submetida a ciclos térmicos de recozimento, solubilização e precipitação**. 2018. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

LUNA, C. B. B. *et al.* Propriedades reológicas de blendas de polipropileno copolímero/polipropileno reciclado oriundo de recipientes industriais. **Matéria (Rio de Janeiro)**. 2020, v. 25, n. 03, e-12792. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200003.1137>. Acesso em: 19 dez. 2021.

MACOSKO, C.W. **Rheology Principles, Measurements, and Applications**, New York: Wiley-VCH, 1993.

MOREIRA, L. Medição de Temperatura Usando-se Termopar. **Cerâmica Industrial**. 2002, v. 7, n. 05. p. 51 a 53.

MARINI, J. **Development and characterization of blown films of HDPE/EVA/organophilic clay nanocomposites**. 2008. 211 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

Easy Servo Motor Datasheet. **NEOYAMA**. 2022. Disponível em: <https://neomotion.com.br/easy-servo/neo-es-mh23480/>. Acesso em: 05 de jul. 2022.

PASSADOR, F. R. **Evaluation of compatibilizing systems on the correlations between processing and thermal, mechanical and transport properties of hdpe/ldpe blend-based nanocomposites**. 2012. 313 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2012.

PATSKO, L. F. Tutorial–Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores. **Maxwell Bohr: Instrumentação eletrônica**, p. 84, 2006.

SILVA, A. M. **Influência do tipo de amido e aquecimento - convencional e ôhmico - sobre as propriedades de géis**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

SILVA, T. B. **Viabilidade de implantação de motores elétricos em veículos a combustão**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Faculdades DOCTUM de Caratinga, Caratinga, 2018.

SOUSA, W. P. T. **Caracterização morfológica, térmica e do desempenho mecânico de compósitos com matriz de polipropileno microestruturada com SIC**. 2019. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2. ed. East Lansing, MI - USA: Freeman Press, 1996.

ANEXO A

Material	Propriedades térmicas - Tm ou Tg	Propriedades mecânicas - Limite de escoamento	Propriedades mecânicas - Dureza	Custo
Aços inoxidáveis	1375 °C a 1450 °C	170 MPa a 1000 MPa	100 HRB (DUARTE, 2018)	6,5 \$/Kg a 7,2 \$/Kg
Ligas de alumínio	475 °C a 677 °C	30 MPa a 500 MPa	61 HRB (LARA; TEIXEIRA JUNIOR, 2018)	1,5 \$/Kg a 1,7 \$/Kg
Aço baixo carbono	1480 °C a 1526 °C	250 MPa a 395 MPa	176 HV (FILHO, 2019)	0,63 \$/Kg a 0,70 \$/Kg
ABS	88 °C a 128 °C (*)	18,5 MPa a 51 MPa	70 SHORE D (AHRENS <i>et al.</i> , 2002)	2,1 \$/Kg a 2,5 \$/Kg
PP	-25 °C a -15 °C (*)	20,7 MPa a 37,2 MPa	64 SHORE D (SOUSA, 2019)	1,2 \$/Kg a 1,3 \$/Kg

(*) temperatura de transição vítrea (Tg)

HRB: Dureza Rockwell B

HV: Dureza Vickers

FONTE: Adaptado de Ashby (2012).

ANEXO B

Componente	Forma estrutural	Dimensões do perfil	Preço	Fonte
Bancada	Estrutura (Perfil quadrado)	Bitola: 30 mm x 30 mm Espessura: 1,20 mm Comprimento: 6000 mm	R\$ 95,21	USIMINAS
Bancada	Tampo (Chapa)	Largura: 1200 mm Espessura: 2,00 mm Comprimento: 3000 mm	R\$ 722,52	USIMINAS
Bancada	Estrutura (Perfil quadrado)	Bitola: 30 mm x 30 mm Espessura: 1,20 mm Comprimento: 6000 mm	R\$ 103,08	OUROAÇO
Bancada	Tampo (Chapa)	Largura: 1200 mm Espessura: 2,00 mm Comprimento: 2000 mm	R\$ 434,82	ARCELORMITTAL
Bancada	Estrutura (Perfil quadrado)	Bitola: 30 mm x 30 mm Espessura: 1,20 mm Comprimento: 6000 mm	R\$ 96,38	ALADIM METAIS
Bancada	Tampo (Chapa)	Largura: 1200 mm Espessura: 2,00 mm Comprimento: 3000 mm	R\$ 717,41	PERFINASA
Reômetro	Cilindro (Base circular)	Bitola: 15/8" (41,27 mm) Comprimento: Preço\metro	R\$ 652,00	MINAS INOX COM. DE AÇOS E METAIS Ltda
Reômetro	Prisma (Base quadrada)	Bitola: 4" (101,60 mm) Comprimento: 200 mm	R\$ 2225,00	MINAS INOX COM. DE AÇOS E METAIS Ltda
Reômetro	Cilindro (Base circular)	Bitola: 15/8" (41,27 mm) Comprimento: Preço\metro	R\$ 520,00	POLINOX
Transmissão	Prisma (Base quadrada)	Bitola: 4" (101,60 mm) Comprimento: 200 mm	R\$ 142,08	AÇOTUBO

Transmissão	Prisma (Base quadrada)	Bitola: 6" (152,40 mm) Comprimento: 200 mm	R\$ 480,38	AÇOTUBO
-------------	------------------------	---	------------	---------

ANEXO C

Componente	Descrição do Catálogo/Quantidade	Preço	Fonte
<i>Easy Servo Motor</i> ES-MH23480 Leadshine	<i>Easy Servo Motor ES-MH23480</i> (1) <i>Easy Driver ES-DH1208</i> (1) Cabo de força (1) Cabo para encoder (1)	R\$ 2290,11	AMERICANAS
<i>Easy Servo Motor</i> ES-MH23480 Leadshine	<i>Easy Servo Motor ES-MH23480</i> (1) <i>Easy Driver ES-DH1208</i> (1) Cabo de força (1) Cabo para encoder (1)	R\$ 2284,11	TECH MAKERS
<i>Easy Servo Motor</i> ES-MH23480 Leadshine	<i>Easy Servo Motor ES-MH23480</i> (1) <i>Easy Driver ES-DH1208</i> (1) Cabo de força (1) Cabo para encoder (1)	R\$ 2290,11	SHOPTIME
Módulo DB9 Conversor <i>Serial</i> RS232-TTL MAX3232	Conversor Serial RS232-TTL MAX3232 (1)	R\$ 7,90	ELETROGATE
Módulo DB9 Conversor <i>Serial</i> RS232-TTL MAX3232	Conversor Serial RS232-TTL MAX3232 (1)	R\$ 9,80	BAÚ DA ELETRÔNICA
Módulo DB9 Conversor <i>Serial</i> RS232-TTL MAX3232	Conversor Serial RS232-TTL MAX3232 (1)	R\$ 9,90	SMARTKITS
Acoplamento JAW - Modelo ADS60	Alumínio com núcleo de elastômero (1)	R\$ 160,00	KALTEC

Acoplamento JAW - Modelo D40 L50	Alumínio com núcleo de elastômero (1)	R\$ 173,42	AMERICANAS
Arduino MEGA 2560 R3	Arduino MEGA 2560 R3 (1) Cabo USB 30 cm (1)	R\$ 219,90	ELETROGATE
Arduino MEGA 2560 R3	Arduino MEGA 2560 R3 (1) Cabo USB 30 cm (1)	R\$ 209,90	MAGAZINE LUIZA
Arduino MEGA 2560 R3	Arduino MEGA 2560 R3 (1) Cabo USB (1)	R\$ 165,98	CASA DA ROBÓTICA
Controlador de Temperatura PID REX-C100	Controlador de Temperatura PID REX-C100 (1)	R\$ 129,90	SMARTKITS
Controlador de Temperatura PID REX-C100	Controlador de Temperatura PID REX-C100 (1)	R\$ 176,35	AMERICANAS
Controlador de Temperatura PID REX-C100	Controlador de Temperatura PID REX-C100 (1)	R\$ 130,00	MUNDO ELETRIC
Resistência Aletada 1500 W 220 V Aço Inoxidável Estufa Secadora	Resistência Aletada 1500 W 220 V (1)	R\$ 129,90	AMERICANAS
Resistência Aletada 1500 W 220 V Aço Inoxidável Estufa Secadora	Resistência Aletada 1500 W 220 V (1)	R\$ 129,90	SUBMARINO
Resistência Aletada 1500 W 220 V Aço Inoxidável Estufa Secadora	Resistência Aletada 1500 W 220 V (1)	R\$ 129,90	SHOPTIME

Termopar Tipo K	Termopar Tipo K (1) Módulo de leitura MAX6675 (1)	R\$ 69,90	ELETROGATE
Termopar Tipo K	Termopar Tipo K (1) Módulo de leitura MAX6675 (1)	R\$ 66,85	PONTOFRIO
Termopar Tipo K	Termopar Tipo K (1) Módulo de leitura MAX6675 (1)	R\$ 69,72	AMERICANAS
Termopar Tipo T	Termopar Tipo T (1)	R\$ 98,00	CETRO

ANEXO D

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

Carlos Henrique
+55 31 99468-6079
carloshqg95@gmail.com

Sua solicitação:

Cotação: 2921-1/22

Data: 05/07/2021

Seu Contato:
Cleiton Gomes
+55 21 99224-0494
Cleiton.gomes@kcen.com.br

Ref.	Descrição	Qt	Preço Unit	Preço Total
	PolyLab QC Base Unit			
567-0058	<p>PolyLab QC 3x400V/N/PE/32A inc.. Monitor Software & transdutor de torque</p> <p>Unidade de controle e motora para a determinação de propriedades reológicas em plásticos fundidos ou outros materiais fluidos. Medição precisa do torque para testes em misturadores e extrusoras através do sensor de torque embutido. Sistemas de medição como extrusoras ou câmaras de mistura são conectados por meio de um acoplamento mecânico e cabos elétricos. Os dispositivos são automaticamente reconhecidos através do conceito plug & play de software. Os limites individuais dos sistemas de medição são reconhecidos pelo software e usados como valores de alarmes.</p> <p>Manuseio instrumento: Motor / Aquecimento habilitação e desabilitação com botão. Software Monitor incluído Interface padrão: USB PC interface para coleta de dados e controle através de um PC. CANopen Bus para comunicação com componentes do sistema Dados técnicos: Potência motor: 3.8 kW Velocidade máx.: 200 1/min Torque máx.: 270 Nm Zonas aquecimento: 4 (configurada como controlador ou sensor) Alimentação: 3x400V +/- 10%; 50-60Hz, N, PE Corrente máx.: 32 A</p> <p>Acessórios: Cabo e conversor para USB, idiomas Inglês e Alemão Dimensão e peso: Dimensão (L/A/P): 660/580/750 mm Peso 147 kg</p>	1	€ 35.394	€ 35.394
567-0055	Modificação para 3 phase 230V/PE	1	€ 2.443	€ 2.443
	Software for PolyLab QC & Open System			
567-6010	PolySoft Software OS Mixer Test and Data Evaluation for Windows	1	€ 5.925	€ 5.925

KCEN Comércio e Representações S.A.

Rua Artur Rocha, 345 - Auxiliadora
90450-171 - Porto Alegre - RS
Brasil

Porto Alegre: +55 51 3058-1111
Rio de Janeiro: +55 21 99224-0494
São Paulo: +55 11 99891-5922

CNPJ: 29.090.352/0001-67
IE: 096/3721070
www.kcen.com.br

Software para medição e avaliação científica de dados. Testes com misturados podem ser pré-programados, testados e avaliados usando-se um dos padrões. Avaliação básica do reograma para análises diárias de rotina pode ser determinada por meio de uma avaliação de rotina pré-definida e programada. Rotinas para determinação de plastificação, fusão, termoestabilidade, fluxo, cross-linking, cura, estabilidade, assim como comportamento de absorção são disponíveis.

Sensor MIXER para sistema PolyLab QC (sem alimentação)

567-1110	<p>Mixer 600 QC para PolyLab QC</p> <p>Misturador de batelada intensivo aquecido eletricamente para compostos, mistura e teste de polímeros, elastômeros, cerâmicas, alimentos e outros materiais sob condições planta piloto. Câmara de mistura com 3 seções; câmara possuindo controle temperatura separado (placa frontal, central e suporte posterior). Fácil troca dos rotores através de acoplamento de fácil soltura e limpeza segura. As buchas são intercambiáveis para diferentes faixas de temperatura e aplicações.</p> <p>Dados técnicos:</p> <p>Volume da câmara: 120 cm³ (bruto)</p> <p>Material: 1.4301 (aço inox)</p> <p>Max. torque: 160 Nm</p> <p>Proteção elétrica contra sobrecarga</p> <p>Velocidade máx. da rosca: 200 1/min</p> <p>Relação engrenagem 3:2</p> <p>Faixa temperatura: ambiente a 400 °C</p> <p>Zonas internas controle: 3 (aquecimento/resfriamento)</p> <p>Resfriamento: válvula magnética</p> <p>Refrigeração caixa de engrenagem: opcional</p> <p>Dimensão e peso:</p> <p>Dimensões (L/P/A): 480/250/320 mm</p> <p>Peso: 24.5 kg</p> <p>Acessórios padrão:</p> <p>Calha alimentação, 3 termopares, 1 termopar massa</p> <p>Manual de instruções em Inglês e Alemão</p>	1	€ 25.154	€ 25.154
567-1080	<p>Bandeja de limpeza com suporte combinação</p> <p>Para coletar amostras do material. Durante o processo de limpeza dos componentes do misturados podem ser colocados na bandeja.</p>	1	€ 768	€ 768
557-1132	<p>Alimentador pneumático</p> <p>para alimentação automática dos misturadores Rheomix 600/610/540/.</p> <p>Dispositivo carregamento vertical</p> <p>Embolo pneumático</p> <p>pressão máxima 10 bar</p> <p>força máxima 1800 N</p> <p>Proteção de segurança para área de alimentação</p>	1	€ 5.742	€ 5.742

KCEN Comércio e Representações S.A.

557-1030	Rotores Roller para Rheomix 600/610 Volume do rotor 51 ccm Aplicação taxa cisalhamento média a alta Torque máximo 160 Nm Material aço inox 1.4122	1	€ 2.752	€ 2.752
567-1072	Operação de limpeza com duas mãos para Rheomix 600 Esta operação de limpeza oferece uma baixa velocidade de rotação dos rotores misturador mesmo com uma câmara de mistura aberta, e permite uma melhor limpeza dos rotores assim como uma fácil remoção da parte central da câmara durante operação com material de alta viscosidade. A limpeza com as duas mãos assegura a segurança do usuário	1	€ 1.851	€ 1.851
799-6301	Ferramentas de limpeza e equipamentos proteção	1	€ 1.504	€ 1.504
	Instalação e treinamento	1	€ 2.200	€ 2.200
	Despesas de embalagem	1	€ 700	€ 700

Condições de fornecimento: Importação direta pelo cliente

Preços ex-works	
Prazo de embarque porto/aeroporto de origem:	45/60 dias
Pagamento:	100% Antecipado
Moeda:	Euro
Instalação e treinamento:	Custos conforme indicado na cotação Incluído: * Custos de estadia e transporte do técnico * Verificação visual do material enviado * Checagem se todos os itens foram enviados corretamente * Checagem se utilidades necessárias estão presentes e corretas * Montagem do equipamento * Comissionamento do equipamento com realização de um teste completo, instruções de segurança e manuseio apropriado do equipamento * Instrução referente a limpeza do equipamento Não incluído: * Qualquer serviço elétrico, hidráulico ou civil A ser providenciado pelo cliente: * Utilidades necessárias * Computador compatível (quando necessário) Obs. Caso a instalação e treinamento não possa ser realizada dentro do prazo por falta das utilidades necessárias, outra data será proposta e será cobrado o valor de uma nova instalação, despesas de estadia e transporte correspondentes

Garantia:	1 ano após embarque do material. Garantia cobre defeitos de fabricação e hora/trabalho do técnico. Não estão cobertos pela garantia defeitos causados pela má utilização do equipamento, operação ou instalação fora dos parâmetros recomendados pelo fabricante. A garantia corresponde somente a substituição da peça defeituosa. Estão excluídas da garantia reparo contra desgaste natural e substituição de peças e/ou componentes consumíveis. A garantia não cobre despesas com frete e seguro do aparelho até nossas oficinas e retorno, ou deslocamento, hospedagem e alimentação de nossos técnicos; estes custos são de responsabilidade do cliente.
Validade:	60 dias
Procedência:	Alemanha
Fabricante:	THERMO SCIENTIFIC
Assistência técnica:	Permanente pela KCEN

Eduardo Soviero

Diretor

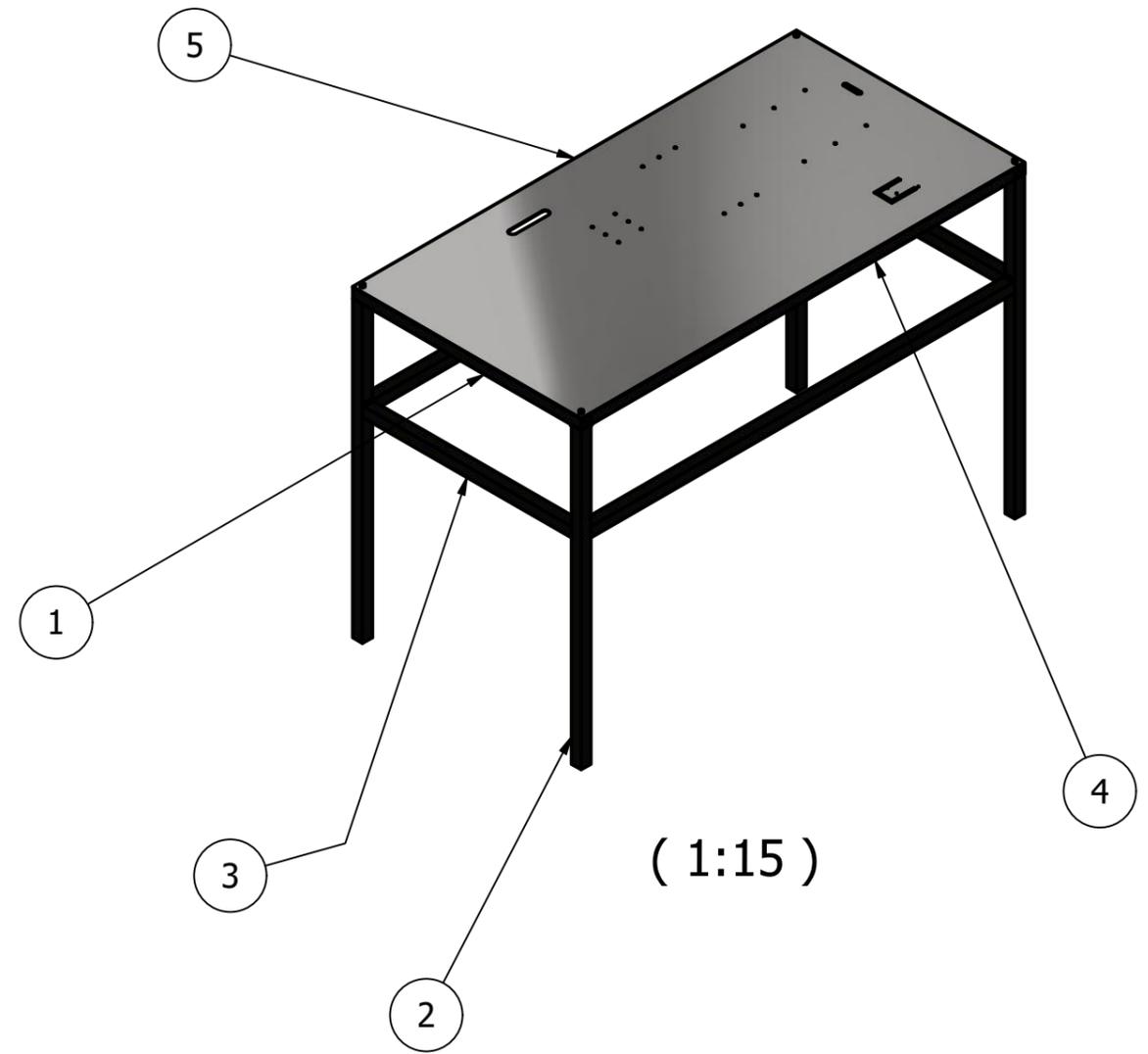
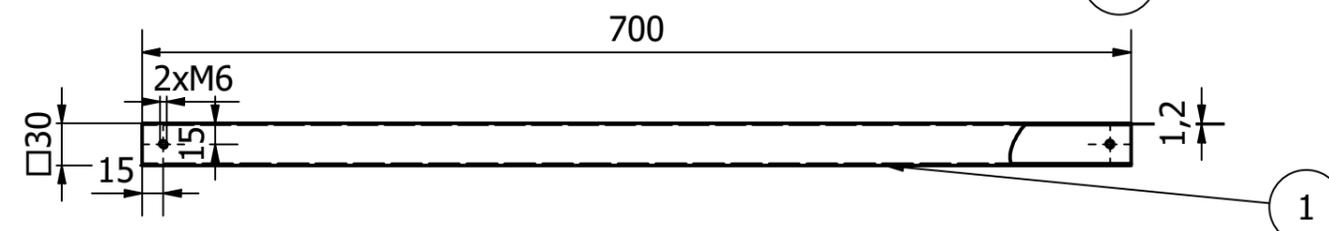
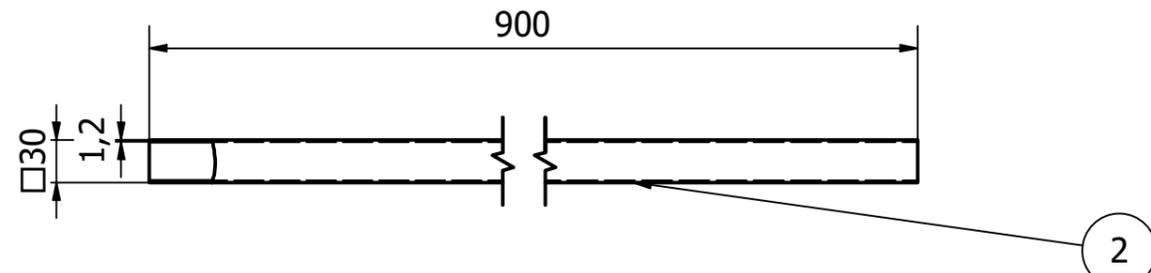
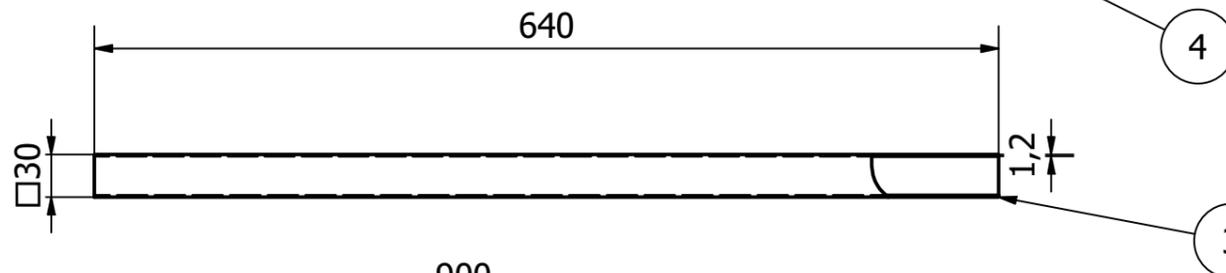
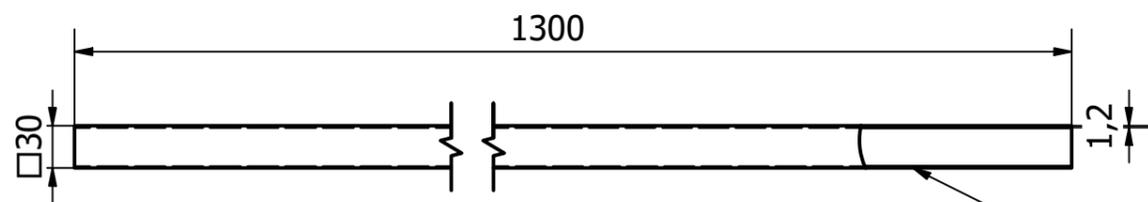
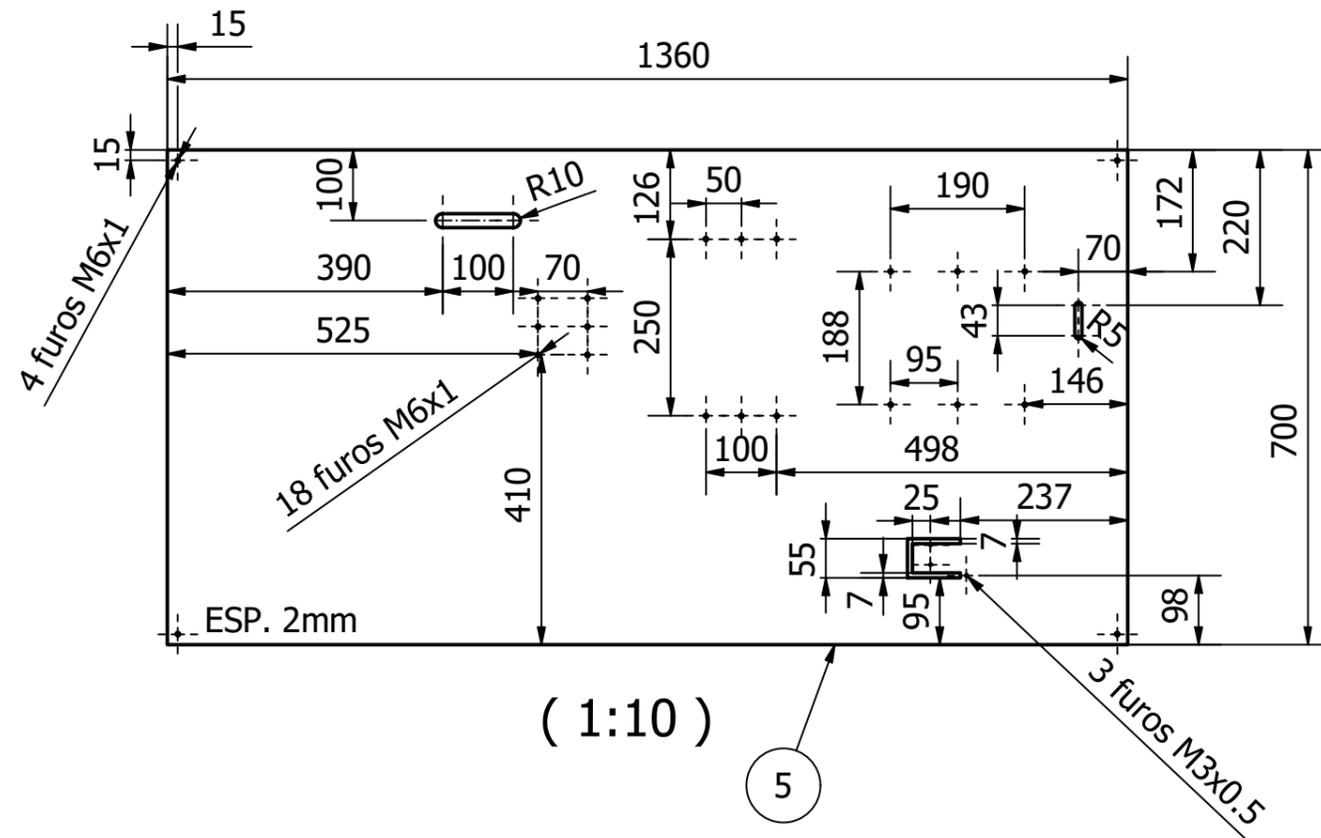
E-mail: eduardo.soviero@kcen.com.br

Tel.: +55 51 3058-1111

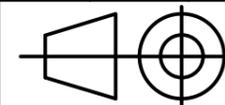
Cel.: +55 51 99963-3107

APÉNDICE A

BANCADA



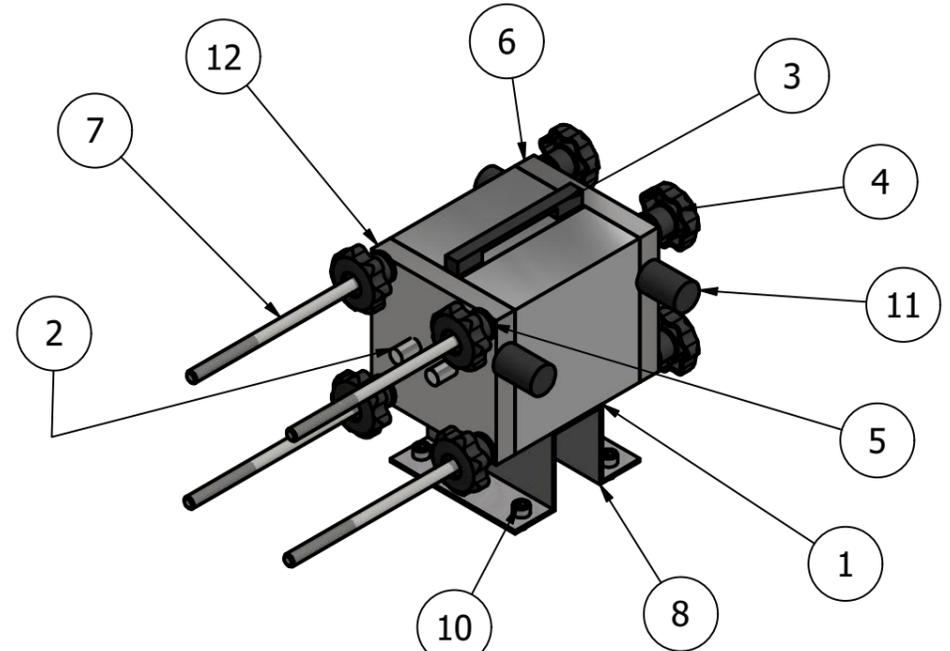
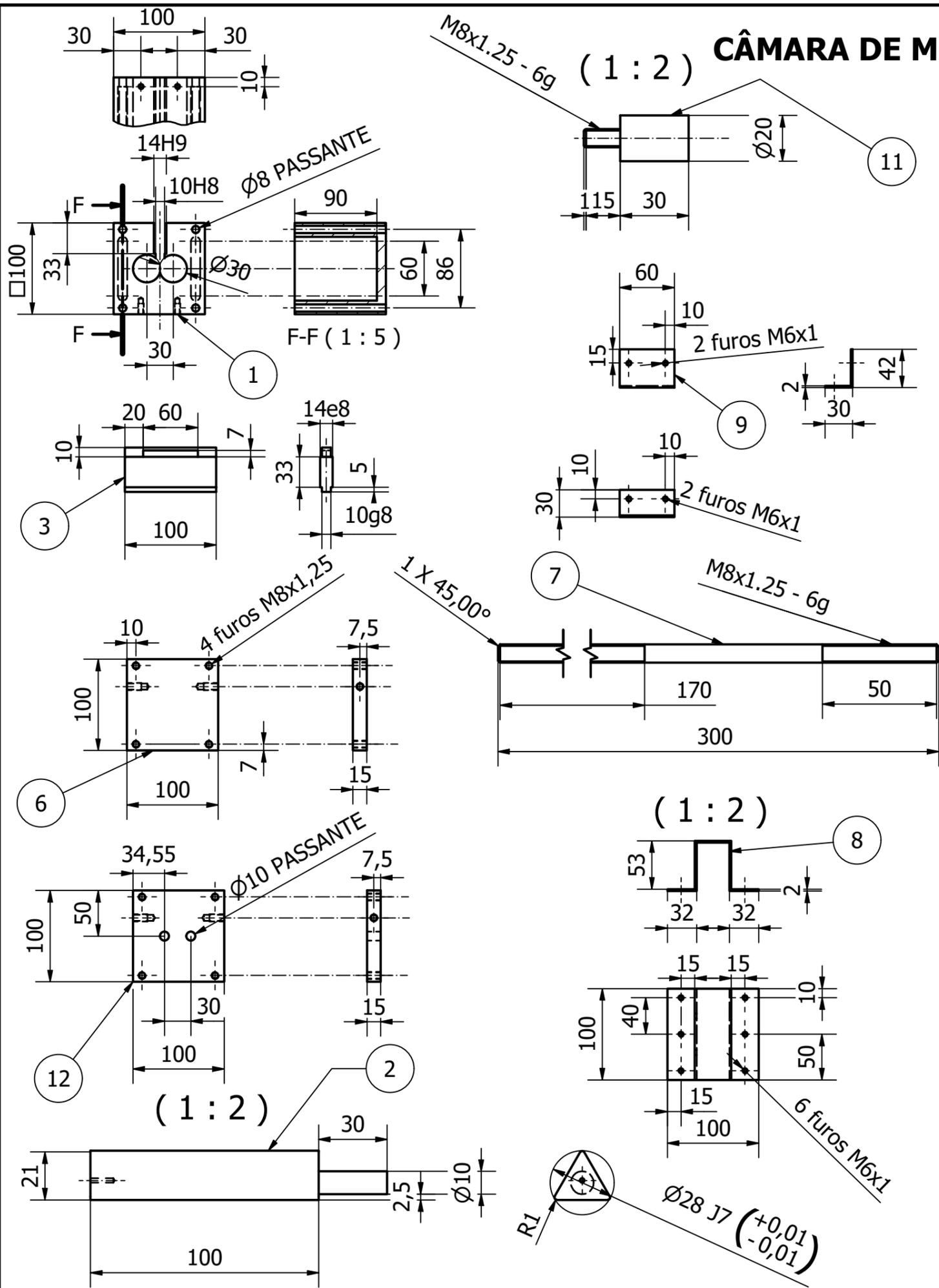
ITEM	QTDE	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
6	4	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M6x10	Aço inoxidável, 440C
5	1	Tampo	1360x700x2	Aço, carbono
4	4	Barra estrutural	1300x30x30	Aço, carbono
3	2	Barra estrutural	640x30x30	Aço, carbono
2	4	Barra estrutural	900x30x30	Aço, carbono
1	2	Barra estrutural	700x30x30	Aço, carbono
UNIDADE: mm		N° DESENHO:	1/9	ESC.: 1:5



REV.: WESLEI P. T. SOUSA
PROJ.: CARLOS H. Q. GOMES

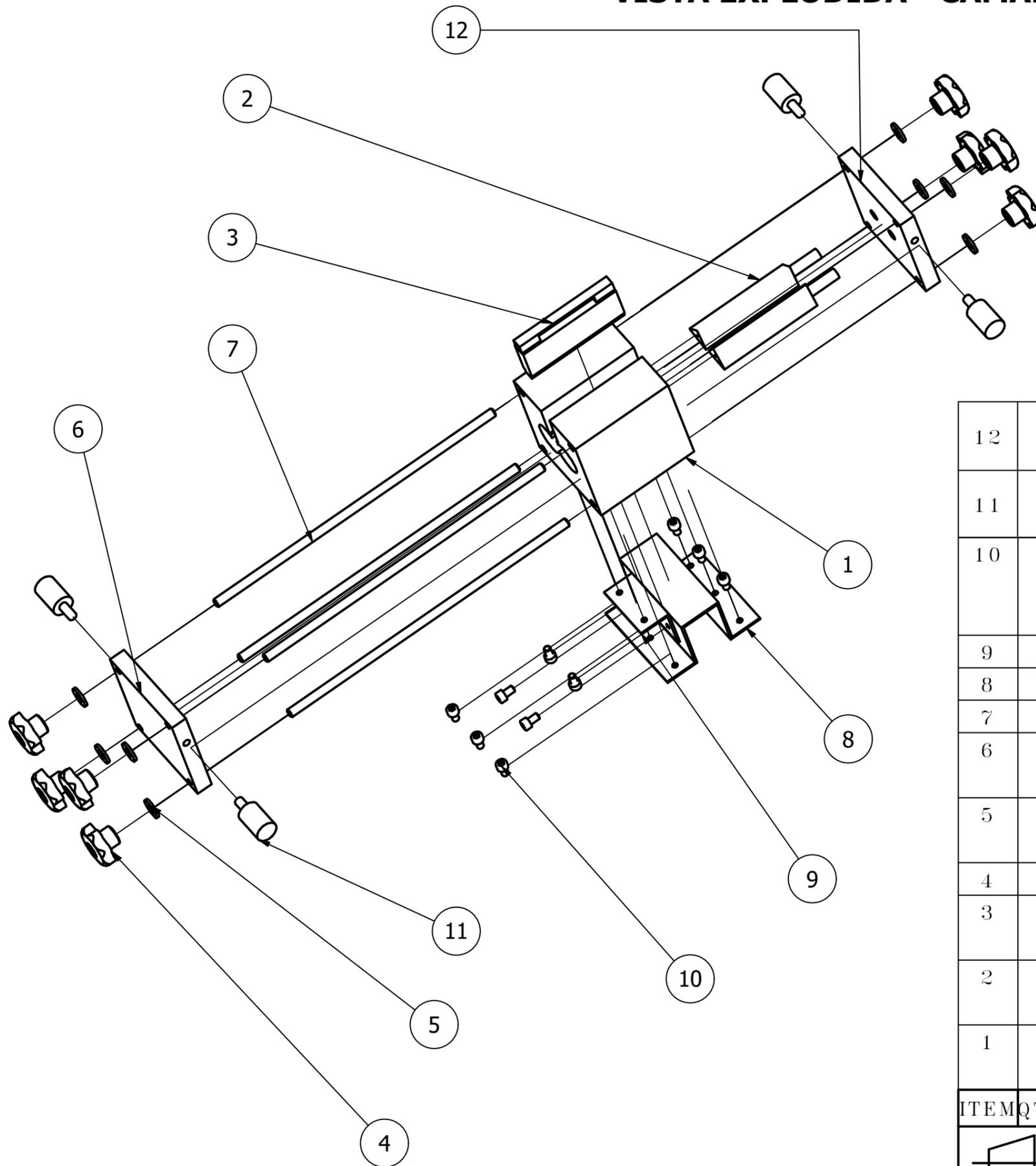
Departamento de Engenharia de Materiais
DATA: 25/06/2022

CÂMARA DE MISTURA



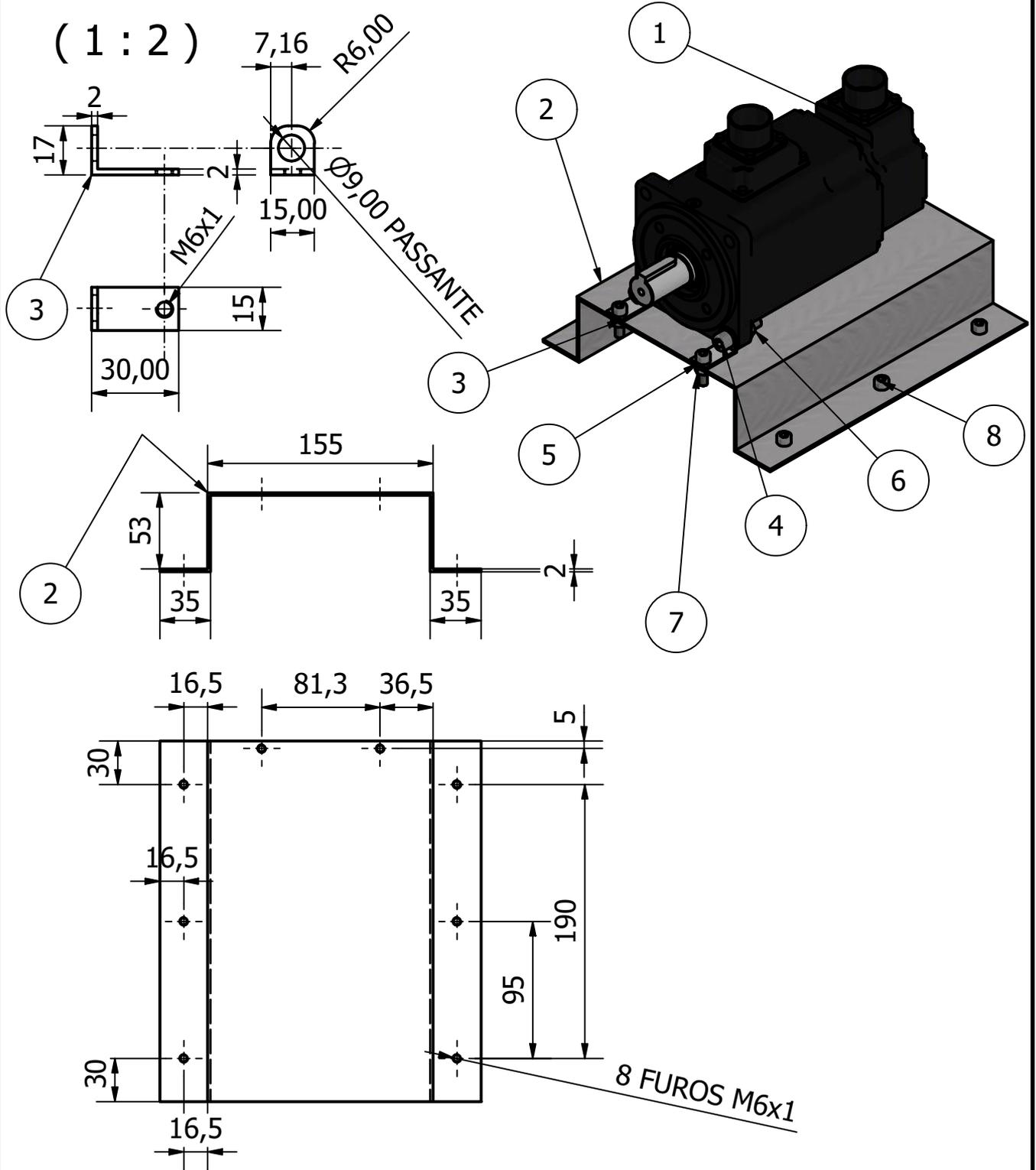
ITEM	QTD	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
12	1	Tampa posterior	100x100x15	Aço inoxidável
11	4	Braço auxiliar	20x46	Aço inoxidável
10	10	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M6x10	Aço inoxidável, 440C
9	1	Fixador câmara	60x42x30	Aço, carbono
8	1	Suporte câmara	100x55x100	Aço, carbono
7	4	Eixo guia	M8x300	Aço, carbono
6	1	Tampa frontal	Aço inoxidável	Aço inoxidável
5	8	Arruelas lisas métricas	8N	Aço, carbono
4	8	Rosca borboleta	M8	Borracha
3	1	Tampa superior	14x48x100	Aço inoxidável
2	2	Rotor	24x21x120	Aço inoxidável
1	1	Câmara de mistura	100x100x100	Aço inoxidável
ITEM	QTD	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
		REV.: WESLEI P. T. SOUSA	 Departamento de Engenharia de Materiais	
		PROJ.: CARLOS H. Q. GOMES		
UNIDADE: mm		Nº DESENHO: 2/9	ESC.: 1:5	

VISTA EXPLODIDA - CÂMARA DE MISTURA



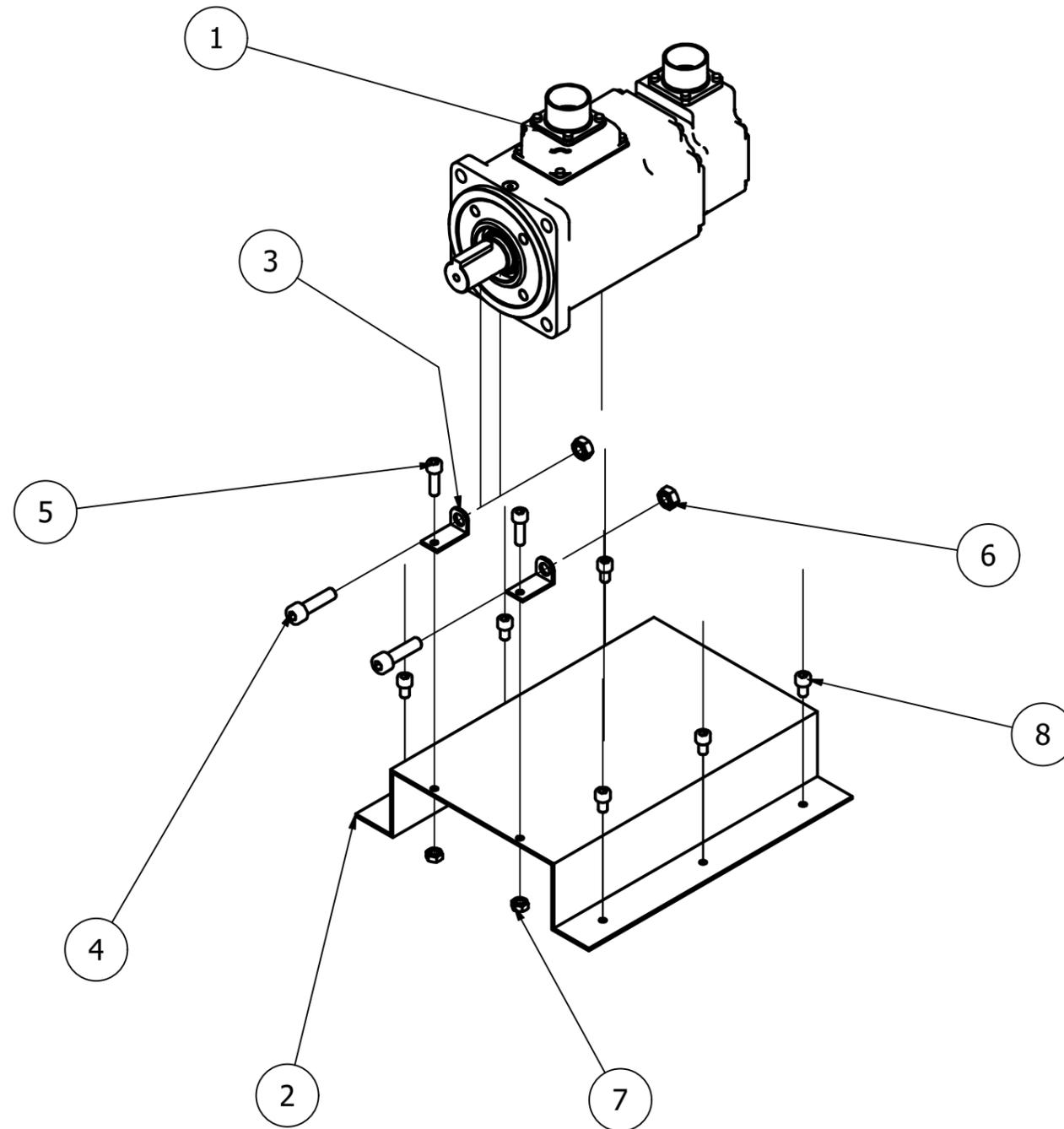
12	1	Tampa posterior	100x100x15	Aço inoxidável
11	4	Braço auxiliar	20x46	Aço inoxidável
10	10	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M6x10	Aço inoxidável, 440C
9	1	Fixador câmara	60x42x30	Aço, carbono
8	1	Suporte câmara	100x55x100	Aço, carbono
7	4	Eixo guia	M8x300	Aço, carbono
6	1	Tampa frontal	100x100x15	Aço inoxidável
5	8	Arruelas lisas métricas	8N	Aço, carbono
4	8	Rosca borboleta	M8	Borracha
3	1	Tampa superior	14x48x100	Aço inoxidável
2	2	Rotor	24x21x130	Aço inoxidável
1	1	Câmara de mistura	100x100x100	Aço inoxidável
ITEM	QTDE	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
		REV.: WESLEI P. T. SOUSA		
		PROJ.: CARLOS H. Q. GOMES		
UNIDADE: mm		N° DESENHO: 3/9	ESC.: 1:4	

SUPORTE ACIONADOR



3	2	Fixador acionador	15x30x17	Aço, carbono
2	1	Suporte acionador	155x55x250	Aço, carbono
ITEM	QTD	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
		REV.: WESLEI P. T. SOUSA		
		PROJ.: CARLOS H. Q. GOMES		
UNIDADE: mm		N° DESENHO: 4/9	ESC.: 1:4	

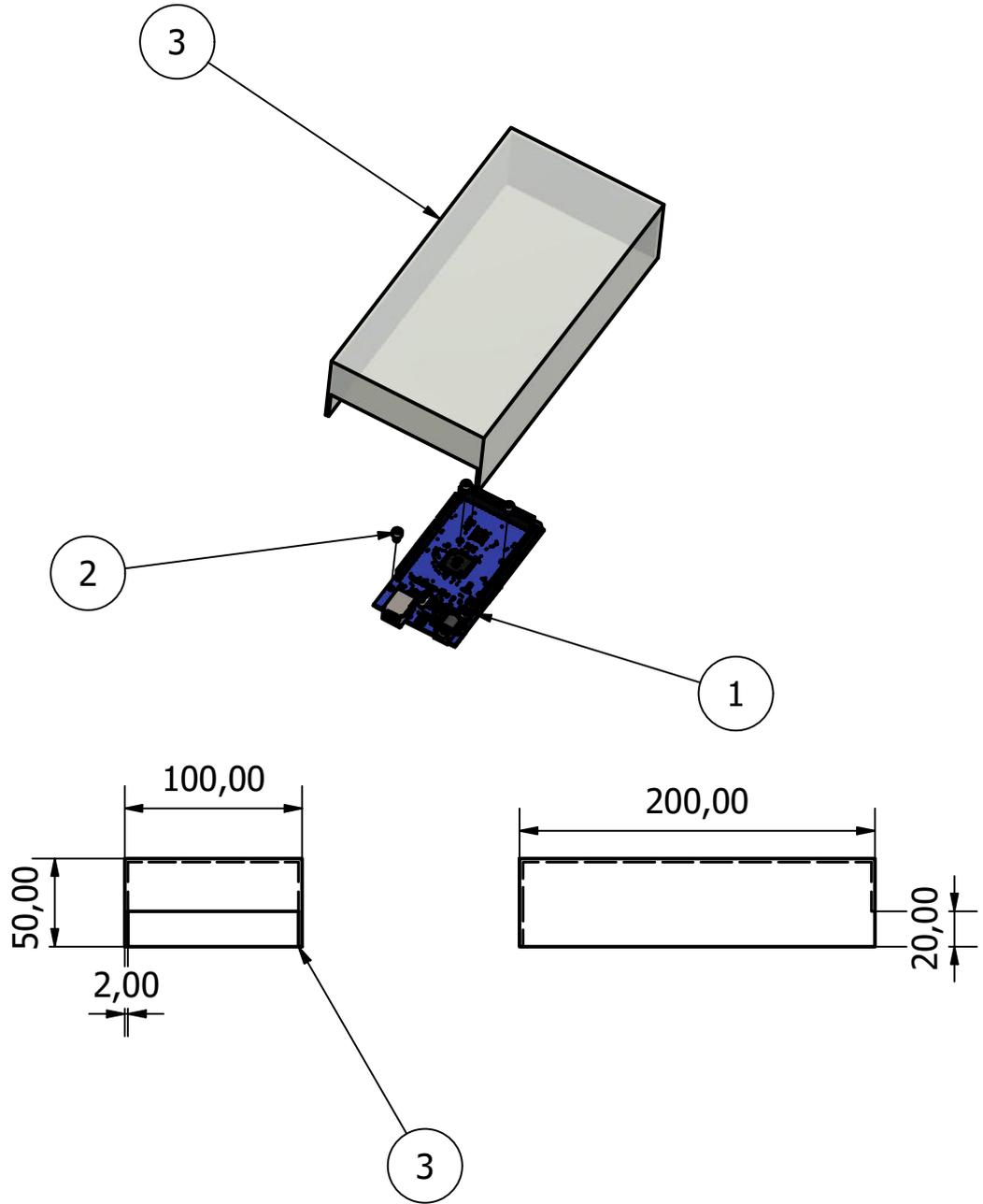
VISTA EXPLODIDA - ACIONADOR



8	6	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M6x10	Aço inoxidável, 440C
7	2	Porcas sextavadas, estilo 1 - Produto classes A e B	ISO 4032 M6	Aço inoxidável, 440C
6	2	Porcas sextavadas, estilo 1 - Produto classes A e B	ISO 4032 M9	Aço inoxidável, 440C
5	2	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M6x20	Aço inoxidável, 440C
4	2	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M10x12	Aço inoxidável, 440C
3	2	Fixador acionador	15x30x17	Aço, carbono
2	1	Suporte acionador	155x55x250	Aço, carbono
1	1	Acionador	100x100x200	Aço, carbono

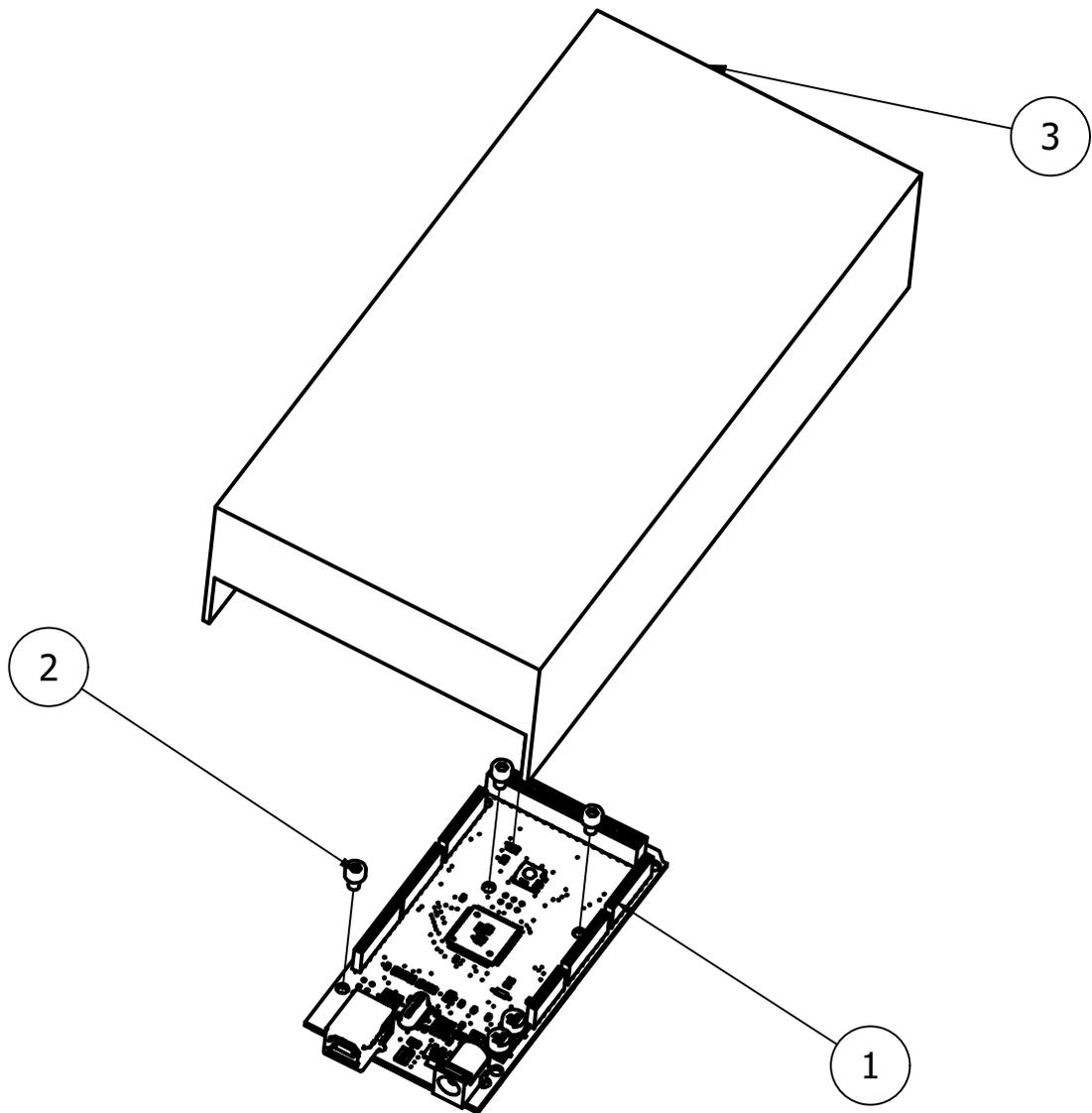
ITEM	QTD	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
		REV.: WESLEI P. T. SOUSA	 Departamento de Engenharia de Materiais	
		PROJ.: CARLOS H. Q. GOMES		
UNIDADE: mm		Nº DESENHO: 5/9	ESC.: 1:4	

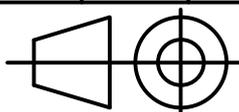
ARDUINO



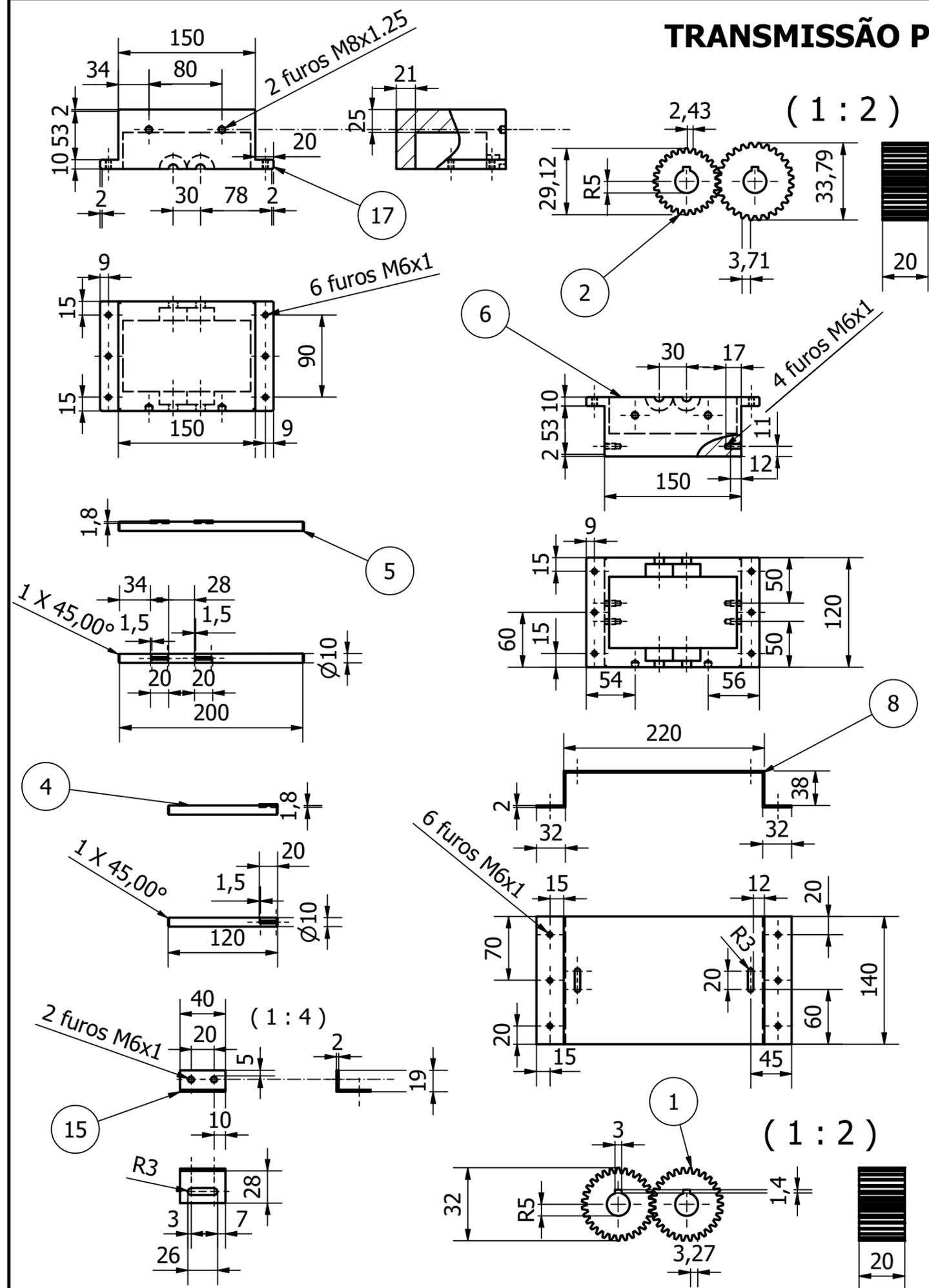
3	1	Caixa arduino	100x50x200	Acrílico
2	3	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M3x5	Aço inoxidável, 440C
1	1	Arduino	100x55	Genérico
ITEM	QTD	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
		REV.: WESLEI P. T. SOUSA		
		PROJ.: CARLOS H. Q. GOMES	DATA: 29/06/2022	
UNIDADE: mm		Nº DESENHO: 6/9	ESC.: 1:4	

VISTA EXPLODIA - ARDUINO



3	1	Caixa arduino	100x50x200	Acrílico
2	3	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M3x5	Aço inoxidável, 440C
1	1	Arduino	100x55	Genérico
ITEM	QTDE	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
		REV.: WESLEI P. T. SOUSA		
		PROJ.: CARLOS H. Q. GOMES		DATA: 28/06/2022
UNIDADE: mm		N° DESENHO: 7/9		ESC.: 1:2

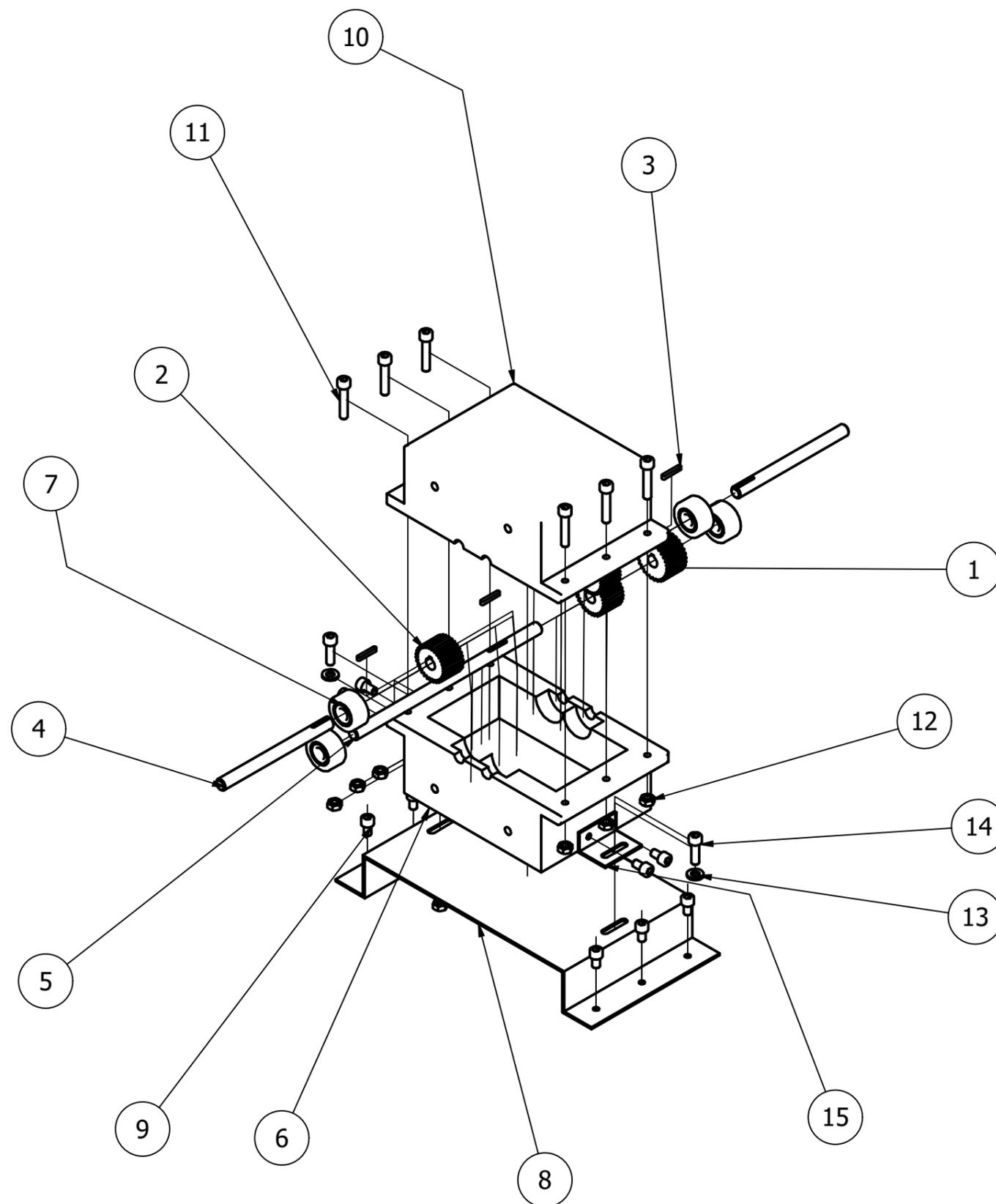
TRANSMISSÃO POR ENGRENAGENS



15	2	Fixador redutor	40x19x28	Aço, carbono
14	2	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M6x20	Aço inoxidável, 440C
13	2	Arruelas lisas métricas	6N	Aço, carbono
12	8	Porcas sextavadas, estilo 1 - Produto classes A e B	ISO 4032 M6	Aço inoxidável, 440C
11	6	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M6x30	Aço inoxidável, 440C
10	2	Caixa superior	150x65x120	Aço, carbono
9	10	Parafuso Allen de cabeça	ISO 4762 M6x10	Aço inoxidável, 440C
8	1	Suporte redutor	284x40x140	Aço, carbono
7	4	Mancal de esferas de alinhamento automático	DIN 630 10x10x14	Aço, carbono
6	1	Caixa inferior	150x65x120	Aço, carbono
5	1	Eixo duas chavetas	M10x200	Aço, carbono
4	2	Eixo uma chaveta	M10x120	Aço, carbono
3	4	Chaveta DIN 6585-1 A	DIN 6585-1 A 3x3x20	Aço, carbono
2	1	Engrenagem dente reta	30x20-Z=28; m. 1	Aço, carbono
1	3	Engrenagem dente reta	30x20-Z=30; m. 1	Aço, carbono

ITEM	QTD	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
		REV.: WESLEI P. T. SOUSA		
		PROJ.: CARLOS H. Q. GOMES		
UNIDADE: mm		Nº DESENHO:	8/9	ESC.: 1:5

VISTA EXPLODIDA - TRANSMISSÃO POR ENGRENAGENS



15	2	Fixador redutor	40x19x28	Aço, carbono
14	2	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M6x20	Aço inoxidável, 440C
13	2	Arruelas lisas métricas	6N	Aço, carbono
12	8	Porcas sextavadas, estilo 1 - Produto classes A e B	ISO 4032 M6	Aço inoxidável, 440C
11	6	Parafuso Allen de cabeça soquete	ISO 4762 M6x30	Aço inoxidável, 440C
10	1	Caixa superior	150x65x120	Aço, carbono
9	10	Parafuso Allen de cabeça	ISO 4762 M6x10	Aço inoxidável, 440C
8	1	Suporte redutor	284x40x140	Aço, carbono
7	4	Mancal de esferas de alinhamento automático	DIN 630 10x30x14	Aço, carbono
6	1	Caixa inferior	150x65x120	Aço, carbono
5	1	Eixo duas chavetas	M10x200	Aço, carbono
4	2	Eixo uma chaveta	M10x120	Aço, carbono
3	4	Chaveta	DIN 6885-1 A 3x3x20	Aço, carbono
2	1	Engrenagem dente reto	30x20-Z=28; m. 1	Aço, carbono
1	1	Engrenagem dente reto	30x20-Z=30; m. 1	Aço, carbono

ITEM	QTD	DENOMINAÇÃO	DIMENSÕES	MATERIAL
		REV.: WESLEI P. T. SOUSA	 Departamento de Engenharia de Materiais	
		PROJ.: CARLOS H. Q. GOMES		
UNIDADE: mm		Nº DESENHO: 9/9	ESC.: 1:4	