



universidade  
de aveiro

**Universidade de Aveiro**

# **Relatório de trabalho – Braço robótico Infinity Gauntlet**

## **Laboratório de Design**

Autores:

**Diogo Ribeiro – 108217**  
**Magner Gusse - 110180**

Data:

**17 de Janeiro 2024**

# Índice

|  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| Introdução.....                                | 3                                   |
| Mission statement .....                        | 3                                   |
| Requisitos e especificações .....              | 3                                   |
| Conceitos .....                                | 4                                   |
| Desenvolvimento – Primeiro design.....         | 5                                   |
| Material escolhido para o braço robótico ..... | 6                                   |
| Componentes do braço robótico .....            | 9                                   |
| Motores.....                                   | 9                                   |
| Rolamento .....                                | 10                                  |
| Broca oca.....                                 | 11                                  |
| Transmissor de movimento.....                  | 11                                  |
| Base .....                                     | 12                                  |
| Cotovelos.....                                 | 14                                  |
| Elo.....                                       | 15                                  |
| Design for Assembly .....                      | 16                                  |
| Design for Manufacturing .....                 | 17                                  |
| Especificações finais do braço robótico .....  | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Especificações finais do braço robótico .....  | 18                                  |
| Conclusões .....                               | <b>Error! Bookmark not defined.</b> |
| Desenho técnico dos vários componentes.....    | 20                                  |

## Introdução

Este projeto foi realizado no âmbito da cadeira de laboratório de design. Este projeto foi apresentado como a criação de um braço robótico para uma missão espacial à escolha dos alunos, onde o braço robótico do Rover de exploração de marte *Perserverance* serviu como inspiração.

O lugar escolhido pelo nosso grupo para o projeto foi uma das luas de Saturno, Titã. Titã foi escolhido como alvo de uma missão de um estudo da constituição química e mapeamento do mesmo.

O nosso braço robótico seria então focado estritamente na recolha de amostras para estudo da constituição química de Titã.

## Mission Statement

Então esta missão consistiria no envio de um rover com um braço robótico para Titã, sendo o braço focado numa capacidade de drill & collect de amostras.

O objetivo deste estudo seria analisar a possibilidade de colonização do planeta ou mineração do planeta.

Os principais interessados neste estudo/missão são a comunidade científica e o alvo secundário seria a comunidade geral e as empresas energéticas.

Esta missão teria no total um custo entre 800 e 1000 milhões de dólares, sendo que esta missão tem um início planeado em 2028 e chegada a Titã em 2034.

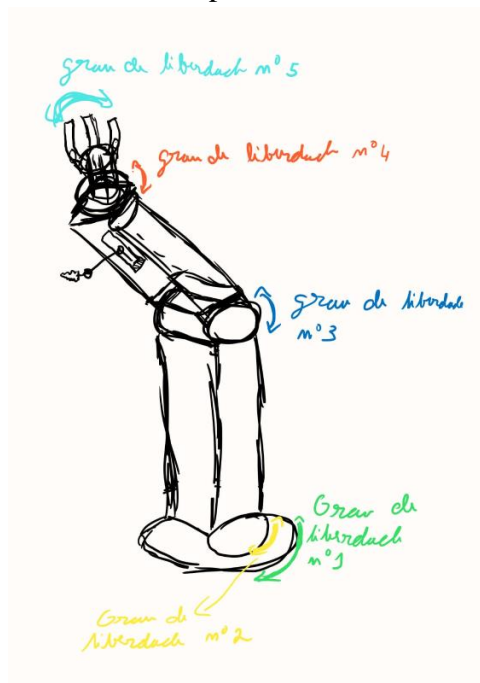
## Requisitos e especificações

Primeiro é necessário definir alguns critérios que o braço robótico tem de ser capaz de satisfazer, esses são:

- Acoplamento fácil ao Rover:
  - Acoplamento feito em apenas 30 minutos.
- Capacidade de controlo remoto
  - Controlo feito na *ground station* na Terra.
- Resistência às condições de Titã
  - Resistência a temperaturas muito baixas entre 89,5 K e 94,5 K e à existência de substâncias acidas.
- Adaptação ao campo gravítico:
  - Aceleração gravítica de Titã com um valor de 1,352 m/s<sup>2</sup>.
- Capacidade de realizar várias operações:
  - Pelo menos 5 graus de liberdade.
- Perfurar a superfície de gelo:
  - Coleção de amostras de gelo.
- Duração total:
  - Tempo de vida de 10 anos.

## Geração de conceitos

Sabendo que o braço era destinado a realizar funções de *pick & collect* foi criado um primeiro conceito que consistia num braço robótico com 5 graus de liberdade que apresentava um *gripper* para recolha de amostras na sua ponta.



**Fig.1** Conceito inicial

Porém como a recolha vai ser apenas de amostras de gelo, chegamos á conclusão de que este primeiro conceito é incompatível com a recolha dessas mesmas amostras pretendidas, por isso foi criado outro conceito com uma broca oca na ponta do braço robótico.



**Fig.2** Conceito melhorado

## Desenvolvimento – Primeiro design

Tendo em conta o conceito selecionado foi iniciado o primeiro design. Este design foi feito para um braço com 1200 mm de comprimento. O braço usaria motores servos para o seu movimento exceto na broca onde se usaria um brushless motor.

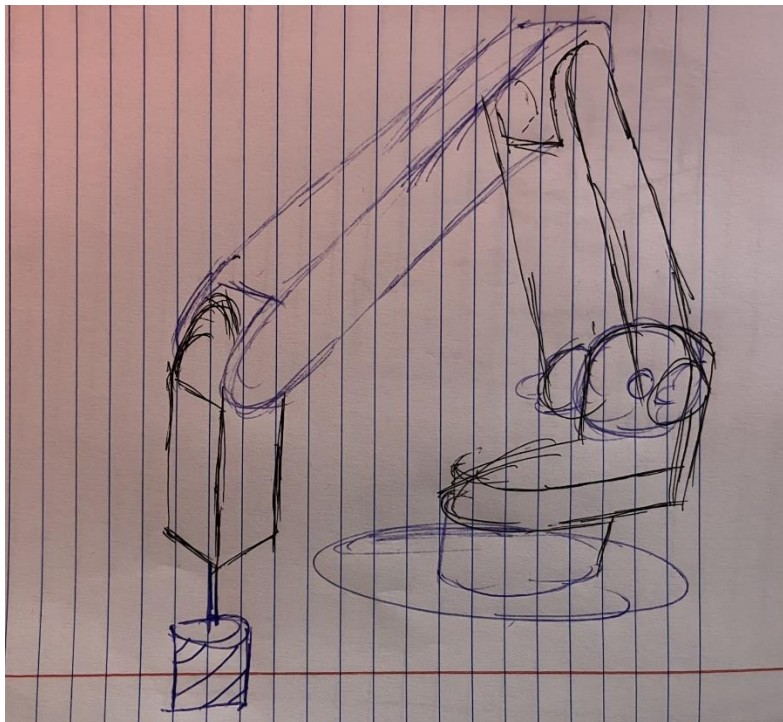
O nosso braço robótico foi inspirado na linha de braços robóticos UR da universal robots e a tecnologia da broca oca foi inspirada na chipmink drill.



**Fig.3-**Modelo da Universal Robots

**Fig.4-** Modelo de broca oca

Então foi feito um primeiro desenho para o nosso braço robótico:



**Fig. 5-** Desenho inicial

## Material escolhido para o braço robótico

A fase seguinte consistia em escolher um material para o braço robótico. A escolha deste material foi feita a partir do software Granta-Edupack, sabendo os requisitos que o nosso braço precisava de cumprir.

Esses requisitos são:

**Temperatura de serviço mínima inferior a 89.5 K:** Após este primeiro passo reduz-se o número de possíveis opções de 4243 para 1625.

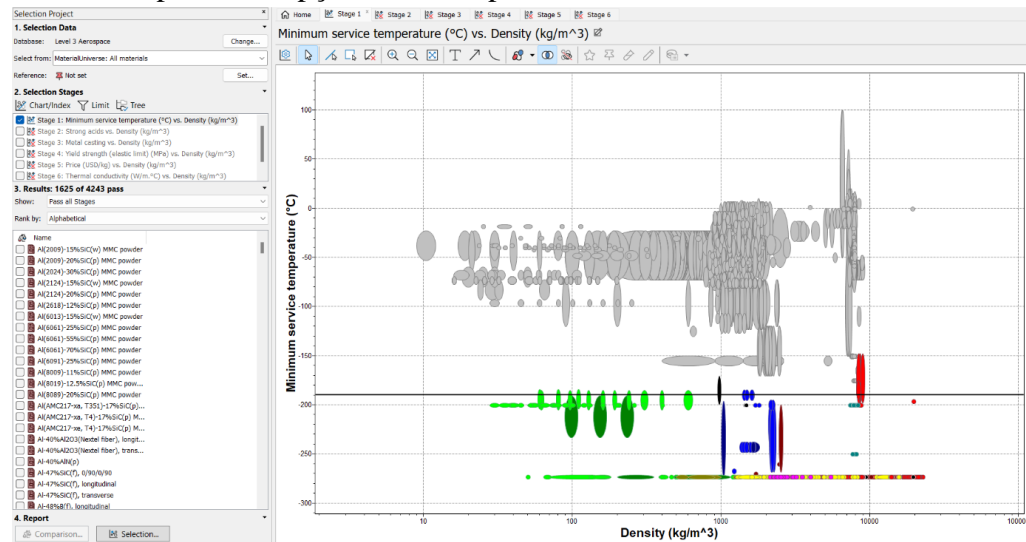


Fig.6-Etapa 1 da escolha de material

**Resistência a substâncias ácidas:** Foi definido que para este projeto apenas poderiam ser usados materiais que apresentassem uma resistência aceitável ou excelente a substâncias ácidas. Isto baixou o número de possíveis opções para 1143.

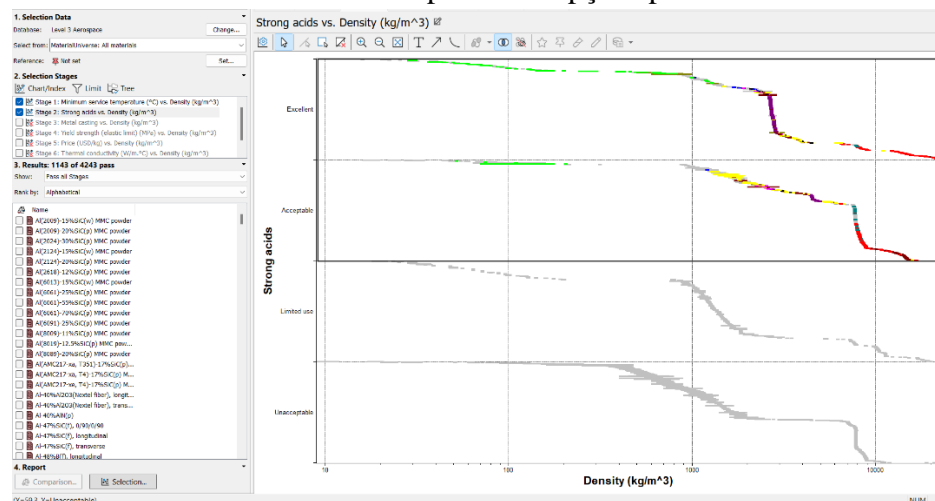
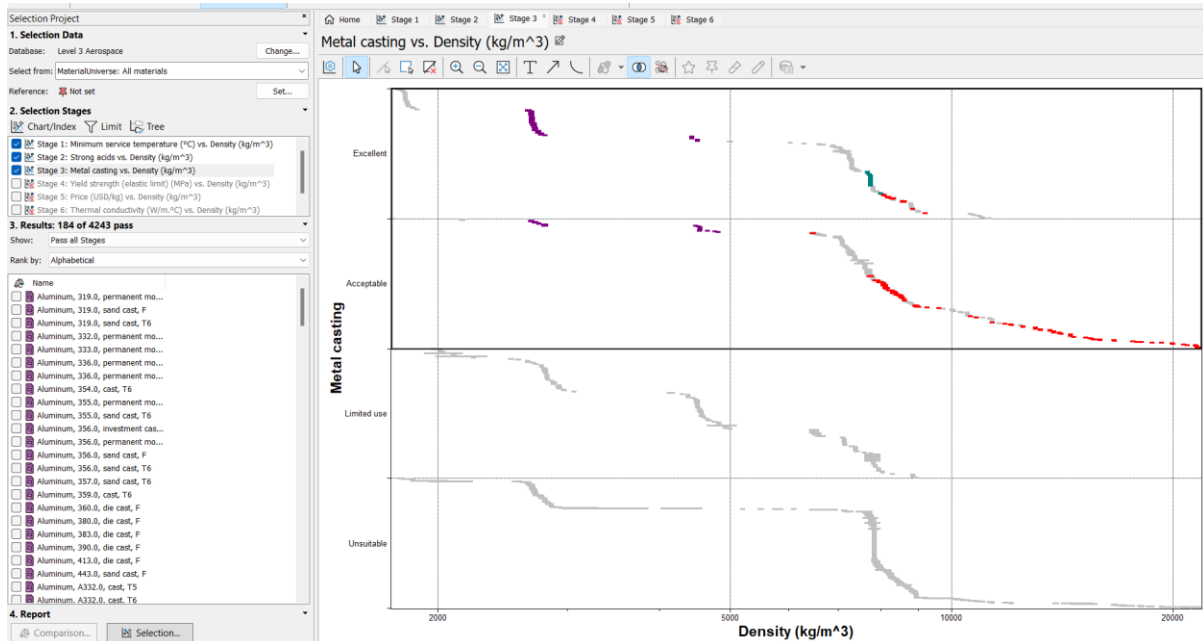


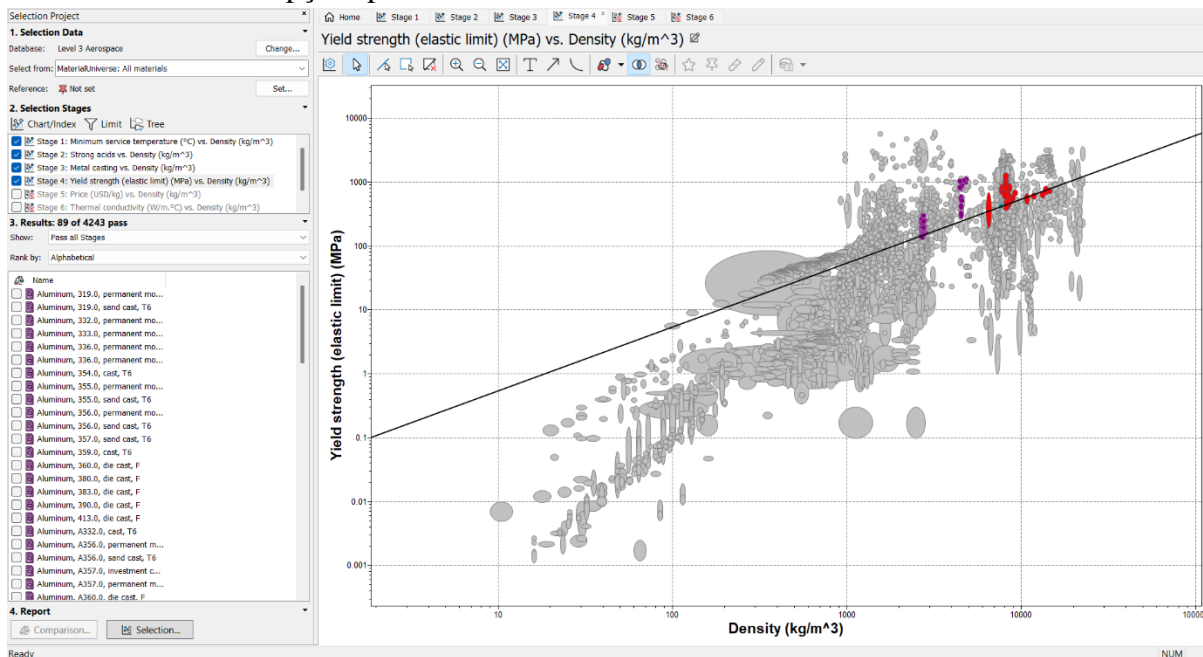
Fig.7-Etapa 2 da escolha de material

**Materiais apropriados para fundição:** O processo de fabrico mais apropriado para este tipo de projeto é a fundição e para isso o nosso material tem de ser apropriado para o mesmo. Para isso foi definido aceitar apenas materiais que apresentassem ser apropriados a um nível aceitável ou excelente. Isso baixou o número de possíveis opções para 184.



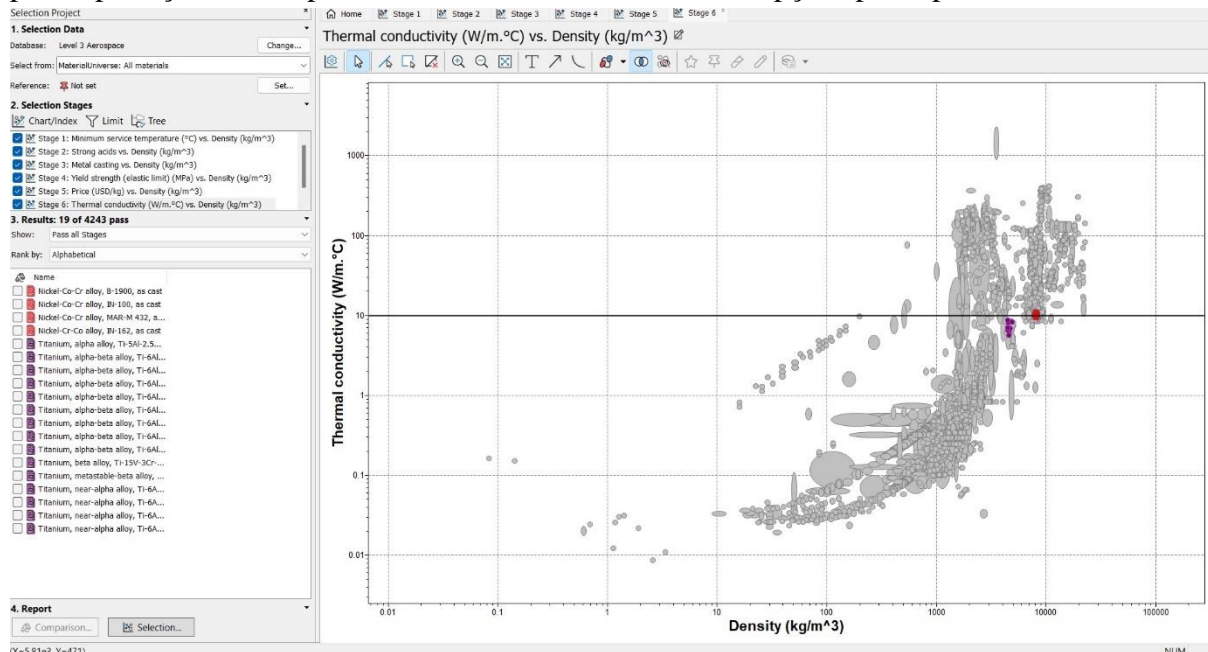
**Fig.8-Etapa 3 da escolha de material**

**Tensão de cedência:** De seguida foi feito um estudo para obter materiais que apresentavam uma posição superior a uma reta definida num gráfico densidade-tensão de cedência. Isso baixou o número de opções para 89.



**Fig.9-Etapa 4 da escolha de material**

**Condutividade térmica:** Por último, foi feito um estudo para determinar os materiais que possuíam uma condutividade térmica superior a 10 W/m.°C, sendo este um critério importante para a proteção de componentes. Isso baixou o número de opções para apenas 19.



**Fig.10**-Etapa 5 da escolha de material

Dentro dessas 19 opções existem ligas de níquel e ligas de titânio, porem como as ligas de titânio apresentam uma massa menor para uma performance mecânica semelhante foi decidido seguir com as ligas de titânio tendo no final sido escolhido: Titanium, alfa-beta alloy, Ti-6Al-4V cast, pois de entre as ligas restantes, é o mais apropriado para processos de fundição.

A fundição foi o processo de fabrico escolhido para estes componentes todos devido á sua flexibilidade, visto que permite criar peças de diferentes tamanhos e complexidades e também devido á resistência e durabilidade que as peças criadas por este processo adquirem.



## Componentes do braço robótico

A próxima fase consistiu em criar o braço robótico num software CAD, neste caso o SOLIDWORKS, assim sendo os componentes a apresentar seriam alguns adquiridos e outros feitos de raiz.

### Motores

Primeiro foram escolhidos o servo motor a usar nos diversos pontos do braço e o *brushless* motor a usar na broca, estes foram a primeira fase do design do braço pois são extremamente importantes para o dimensionamento do braço em termos de raio e espessura do mesmo.

O servo motor escolhido foi o Dynamixel-P PH54-200-S500-R e este foi escolhido pelas seguintes características:

- Controle de torque.
- Controle de velocidade.
- Controle de posição.
- Controle de voltagem.
- Peso : 0.855 kg.
- Dimensões: 54 x 126 x 54 mm

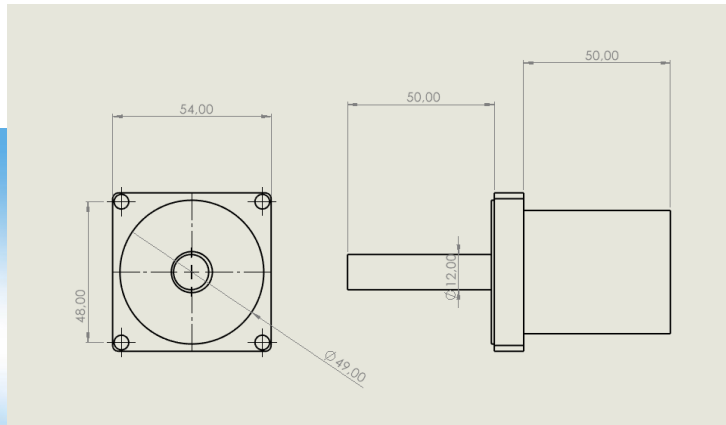
Este motor é uma excelente opção pois apresenta uma alta performance numa massa baixa e em dimensões favoráveis.



**Fig.11**-Servo motor

O brushless motor escolhido foi o Brushless-D2BLD5030S, este apresenta as seguintes características e dimensões:

- Velocidade de rotação: 3000 rpm
- Peso do motor: 2 Kg
- Potência requerida: 0.05 kW

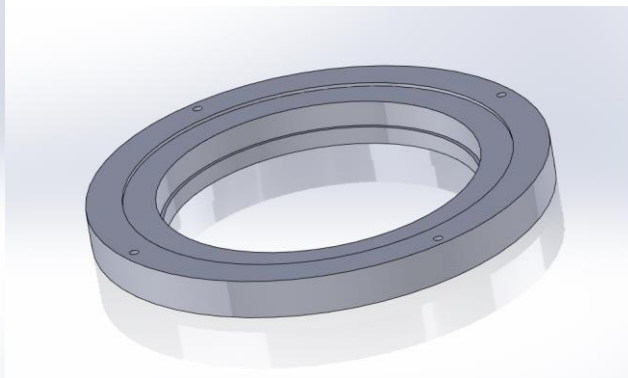
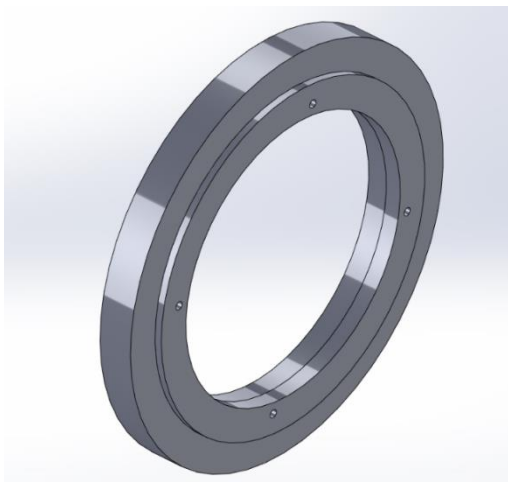


**Fig.12-Brushless motor**

## Rolamento

Para evitar o desgaste dos vários componentes devido ao atrito entre os mesmos. Para isso foi usado um rolamento.

O rolamento que foi escolhido foi um *Crossed Roller Bearing*, pois este é capaz de resistir a esforços radiais, axiais e pequenos momentos. Neste âmbito foi desenvolvido um modelo simplificado deste rolamento, com as dimensões e fixações apropriadas para o braço.

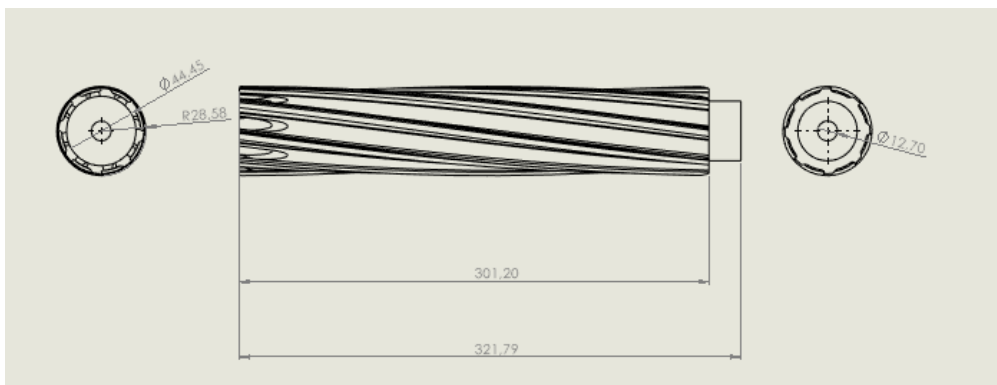


**Fig.12 e Fig.13-Rolamento desenvolvido**

## Broca oca

A seguir foi criada a broca para a coleção de amostras. Esta apresenta as dimensões que podemos ver na imagem e foi feita a partir de Titânio.

Foi escolhido o Titânio devido à sua *strenght-weight* ratio, resistência a corrosão e resistência a temperaturas baixas.

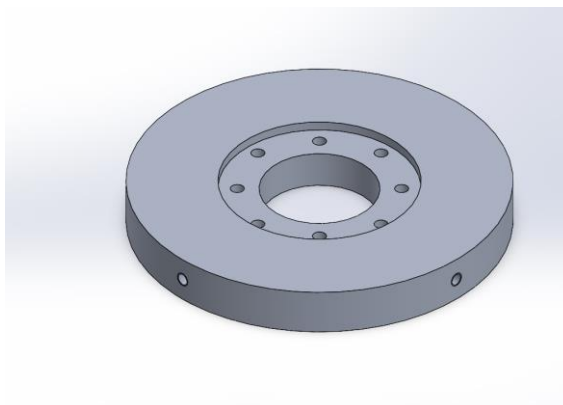


**Fig.14 e Fig.15**-Broca oca e desenho técnico da broca.

Além destes, foram desenvolvidas peças de raiz para a estrutura do braço.

## Transmissor de movimento

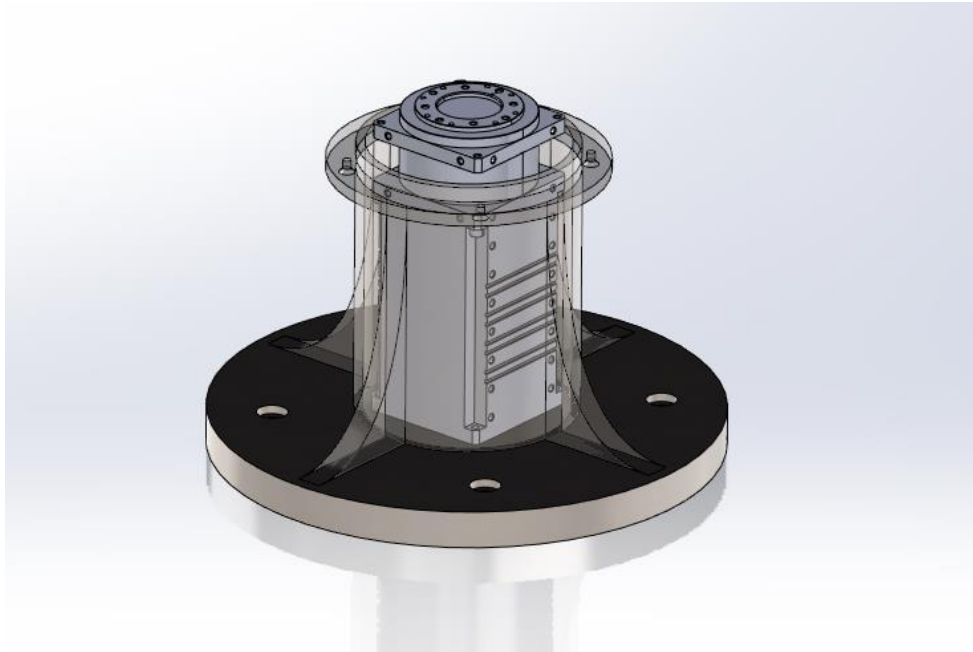
Para ocorrer a transmissão do movimento do motor para o braço foi criada uma peça para esse propósito, transmissão essa que vai ser tipo *direct drive*. Esta peça é feita de titânio e apresenta uma forma circular com um diâmetro de 80 mm. Mais especificamente o material escolhido foi a Liga de titânio Ti-6Al-4V



**Fig.16**-Transmissor de movimento

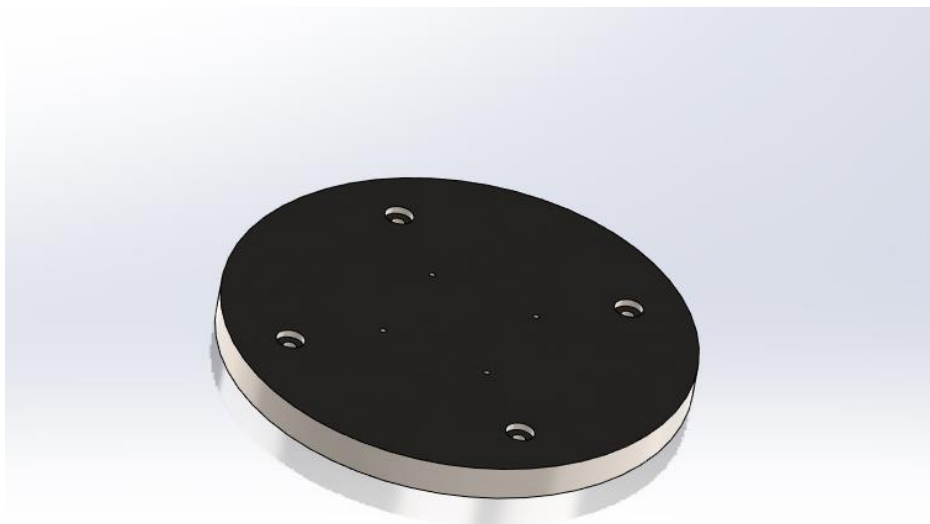
## Base

Primeiro foi desenvolvida a base, esta que vai ser a ligação do braço ao Rover que o sustenta. que se divide numa plataforma circular e um cilindro para conter o motor. Estes componentes são feitos a partir do processo de fundição e a ligação entre a plataforma e a parte cilíndrica é feita a partir de soldadura.



**Fig.17-Montagem do motor na base**

A plataforma circular apresenta furos para a fixação ao Rover e fixação do motor e um diâmetro de 200 mm.



**Fig.18-Base fixa ao Rover**

A parte cilíndrica apresenta uma parte central para alocação do motor e um diâmetro externo de 87 mm, apresenta ainda uma base com furos para a fixação ao rolamento e *ribs* para apoio estrutural.



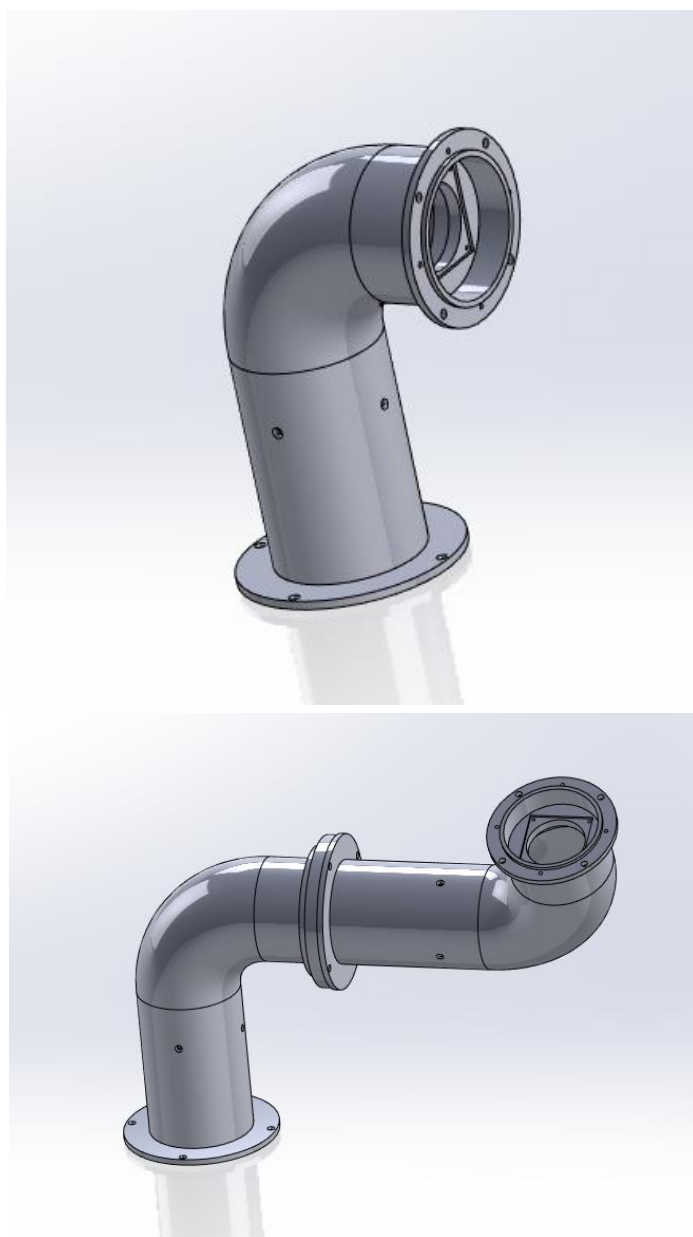
**Fig.19**-Segunda parte da base

## Cotovelos

A seguir temos a ligação “cotovelo”, a principal parte para a rotação do braço. Nesta ligação também temos um diâmetro externo de 87 mm. Esta ligação apresenta vários componentes como o “ombro”, rolamento e motor servo. Sendo que neste ombro temos três componentes sendo esses dois “ombros” podendo ser do mesmo tamanho ou de tamanhos diferentes como é o caso do primeiro que se localiza diretamente acima da base, o motor e o transmissor de movimento. A fixação dos motores é feita numa base no interior do braço que permitem colocar o motor numa posição fixa e aparafusar os motores.

Os “ombros” são também perfurados estrategicamente de forma a aparafusar o transmissor de movimento, os rolamentos e os elos.

Todos os componentes que fazem parte desta ligação são feitos a partir do processo de fabrico de fundição.

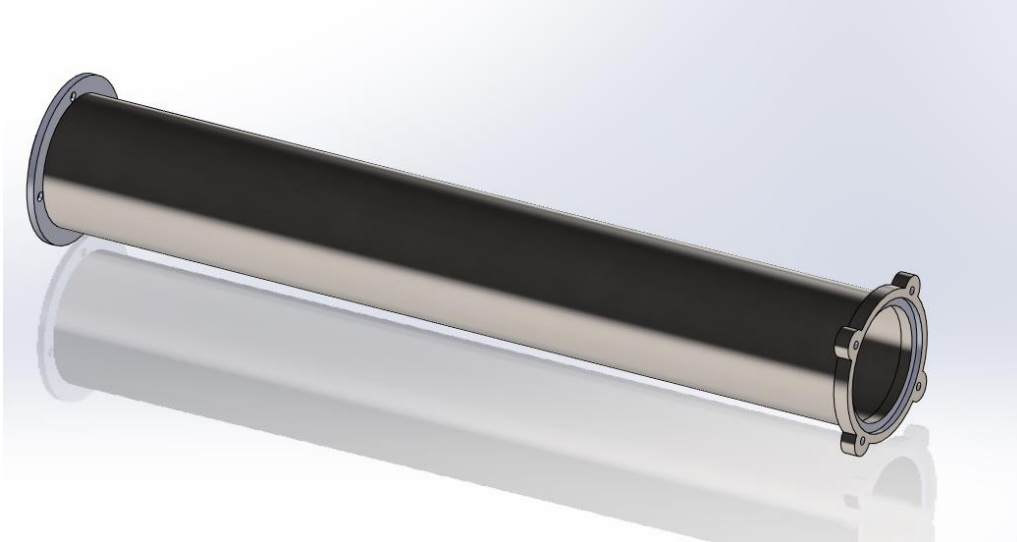


**Fig.20 e Fig.21-“ombro” e “cotovelo”**

## Elo

Por último, temos o elo de ligação mais longo que permite termos um raio de funcionamento favorável. Este elo é usado duas vezes no braço robótico, apresenta 87 mm de diâmetro externo e um comprimento de 505.75 mm, contém uma base para fixação de rolamento do motor e outra base para a sua própria fixação.

É fabricado a partir de fundição.



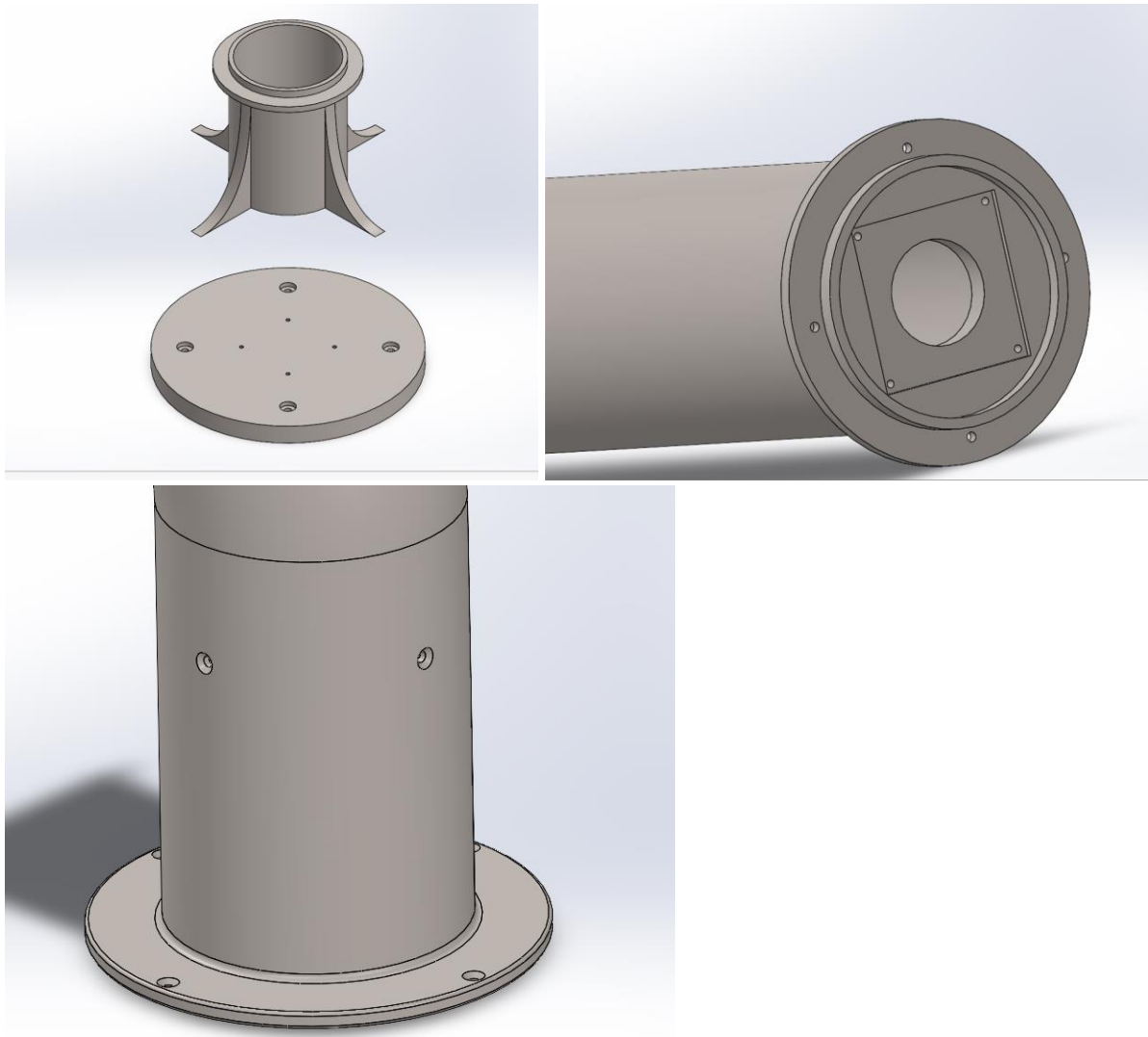
**Fig.22-Elo**

É importante ainda mencionar que as peças todas além de serem feitas por fundição em moldes de areia, devem ainda passar por maquinação para tratamento dos furos e tratamento superficial das superfícies que entram em contacto com outras peças.

## Design for Assembly

Para satisfazer o requisito de montagem em 30 minutos foram tomadas várias decisões durante o design, tais como:

- Separação da base para permitir montagem do motor por ligação aparafusada.
- Criação de bases e furos para fixação e montagem dos rolamentos nos diferentes componentes de interação.
- Adição de filets para remoção de arestas vivas para evitar cortes e lesões.



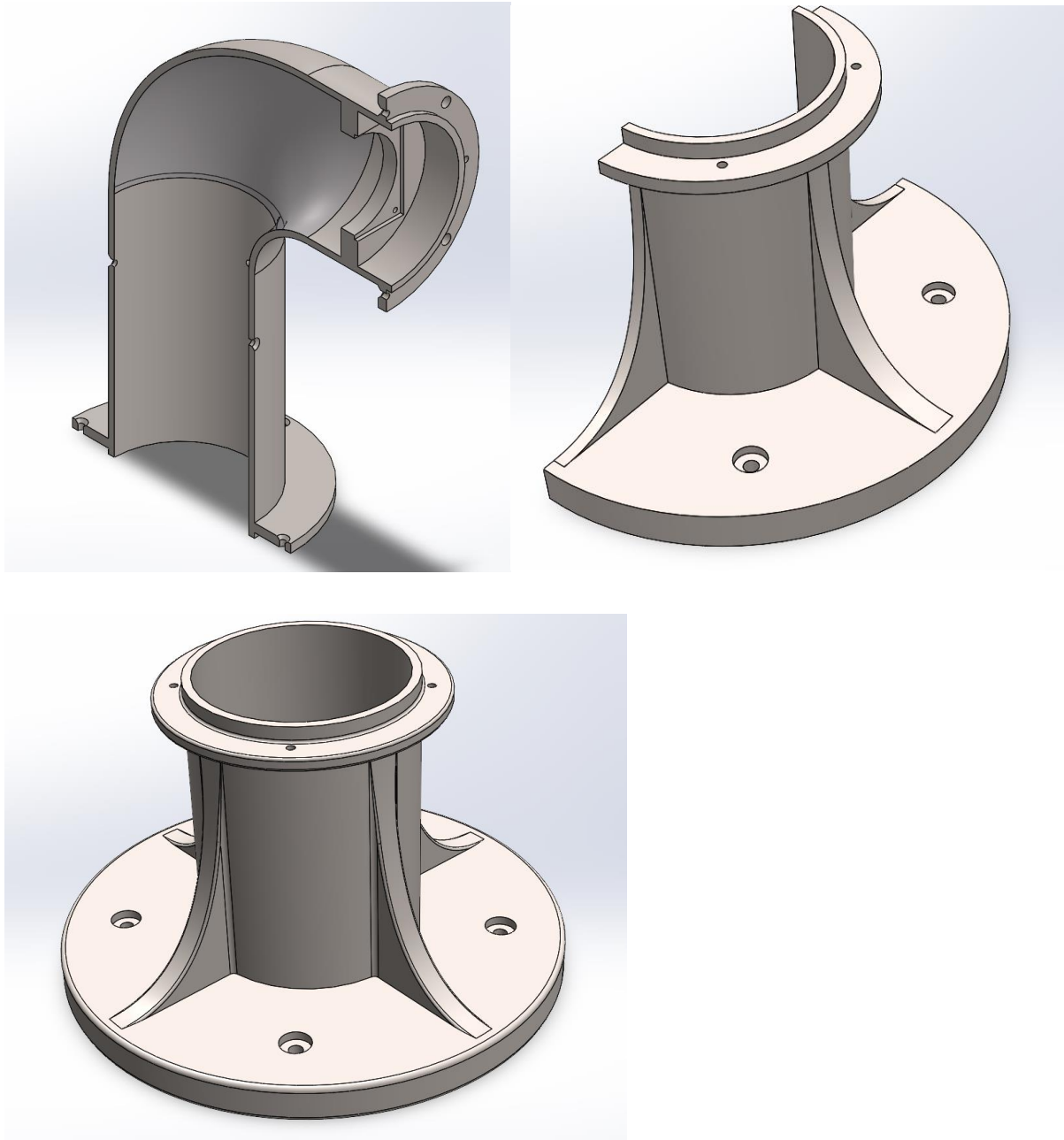
**Fig.23, 24 e 25-**Considerações de Design for Assembly



## Design for Manufacturing

Para acomodar o processo de fabrico escolhido para as peças foram tomadas várias decisões durante o design, tais como:

- Peças com perfil que permita a separação do macho de areia em processos de fundição.
- Peças com pelo menos 1 plano de simetria para maior facilidade de fabrico em fundição
- Adição de filets para acomodação das limitações do fabrico.



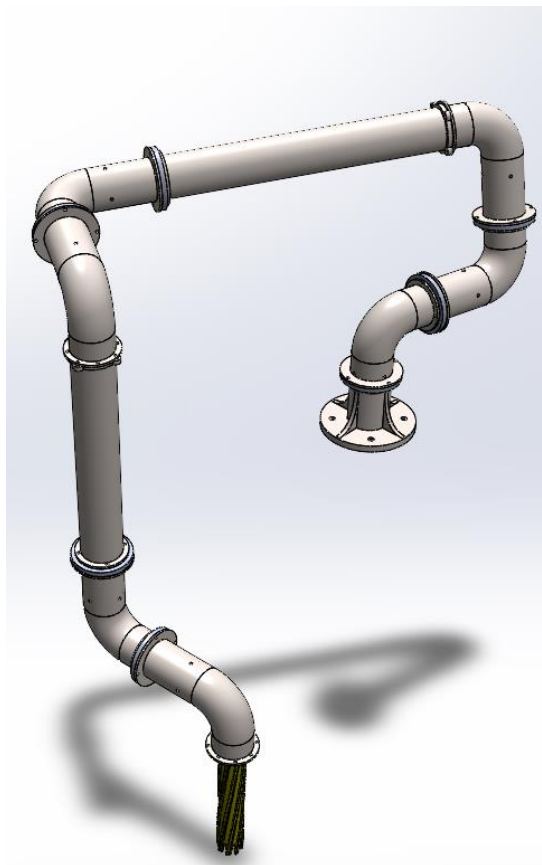
**Fig.26, 27 e 28-**Considerações de Design for Manufacturing

## Especificações finais do braço robótico

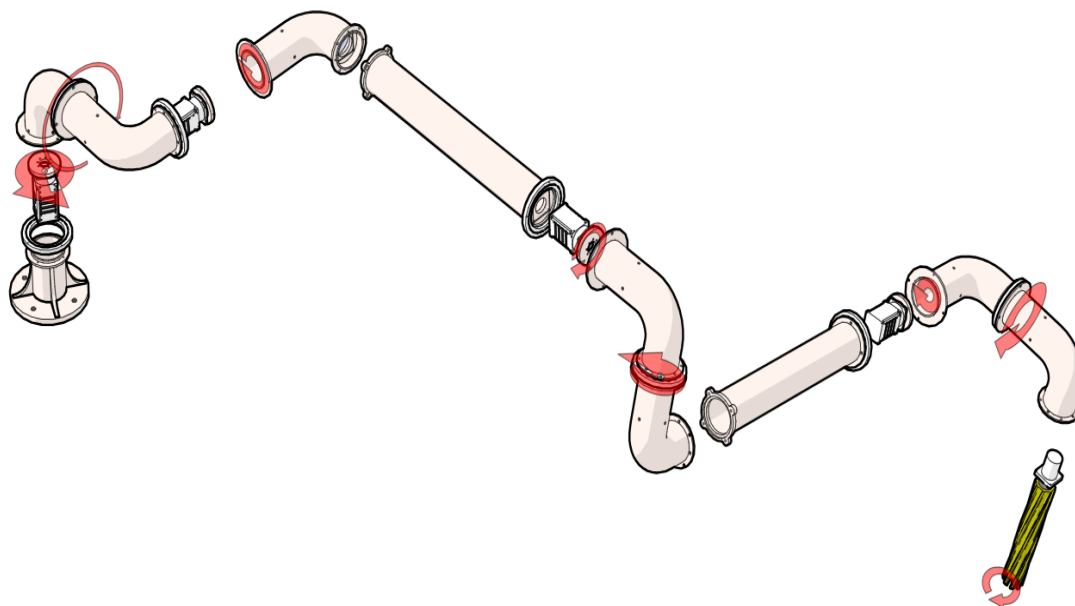
O braço robótico completo apresenta as seguintes características:

- Massa de 25 Kg
- 7 graus de liberdade
- Capacidade de carga de 5 Kg
- Raio de serviço entre 1m e 1,5m.
- Comprimento total de 1.6 m
- Material usado- Liga de titânio Ti-6Al-4V cast.

Assim sendo, considera-se que o braço cumpre com os requisitos propostos.



**Fig.29-Montagem final**



**Fig.30-**Demonstração dos graus de liberdade.

## Conclusões

Em suma, com este projeto, foi possível aprender as diferentes fases que compõem um projeto e desenvolver competências para usar em futuros projetos.

Acredita-se também que este projeto foi bem-sucedido e que poderia avançar à fase de prototipagem, sendo que os requisitos foram cumpridos e que podem ainda ser feitos testes para validação dos mesmos.

## Desenho técnico dos vários componentes

