



1 Objetivo e descrição geral

O objetivo principal do trabalho é simular em ambiente Matlab o movimento do robô Canadarm2 instalado na estação espacial internacional (ISS) em atividades de movimentação e manipulação de objetos. O robô terá de pegar em dois satélites ou objetos similares que se encontram em órbita na sua vizinhança e trocar as suas posições respetivas. O processo consiste primeiro em recolher um dos objetos (satélite) para uma zona a bordo onde poderá ser reparado, ou simplesmente aguardar a próxima operação, e depois ir buscar o outro objeto que se encontre noutra posição para o colocar na posição original do primeiro.

Como os objetos podem estar em zonas demasiado afastadas para ficarem ambos ao alcance do braço na sua posição corrente, será preciso que o robô se relocalize para poder aceder aos objetos caso estejam fora de alcance.

O Canadarm2, ilustrado na figura 1, é um robô simétrico que tem a possibilidade de se acoplar numa extremidade e libertar-se na outra extremidade, permitindo-lhe deslocar-se entre pontos de fixação à estrutura da estação espacial. Portanto, durante esse processo há um instante em que o robô está preso nas suas duas extremidades; quando se liberta de uma extremidade, essa ponta permite-lhe também agarrar um objeto que esteja preparado para esse tipo de acoplamento.



Figura 1: *Ilustração de uma situação real do Canadarm2 a manipular um veículo espacial.*

Para simplificar a simulação, assume-se uma plataforma orbital mais reduzida do que a estação espacial internacional mas que também tem associada a si um Canadarm2. Esta plataforma orbital tem 6 pontos de acoplamento possíveis para o manipulador e tem 4 pontos de colocação de satélites para operações de manutenção ou estacionamento temporário. A figura 2 mostra um potencial cenário onde há dois satélites em órbita nas proximidades da plataforma e sobre os quais o braço robótico terá de intervir.

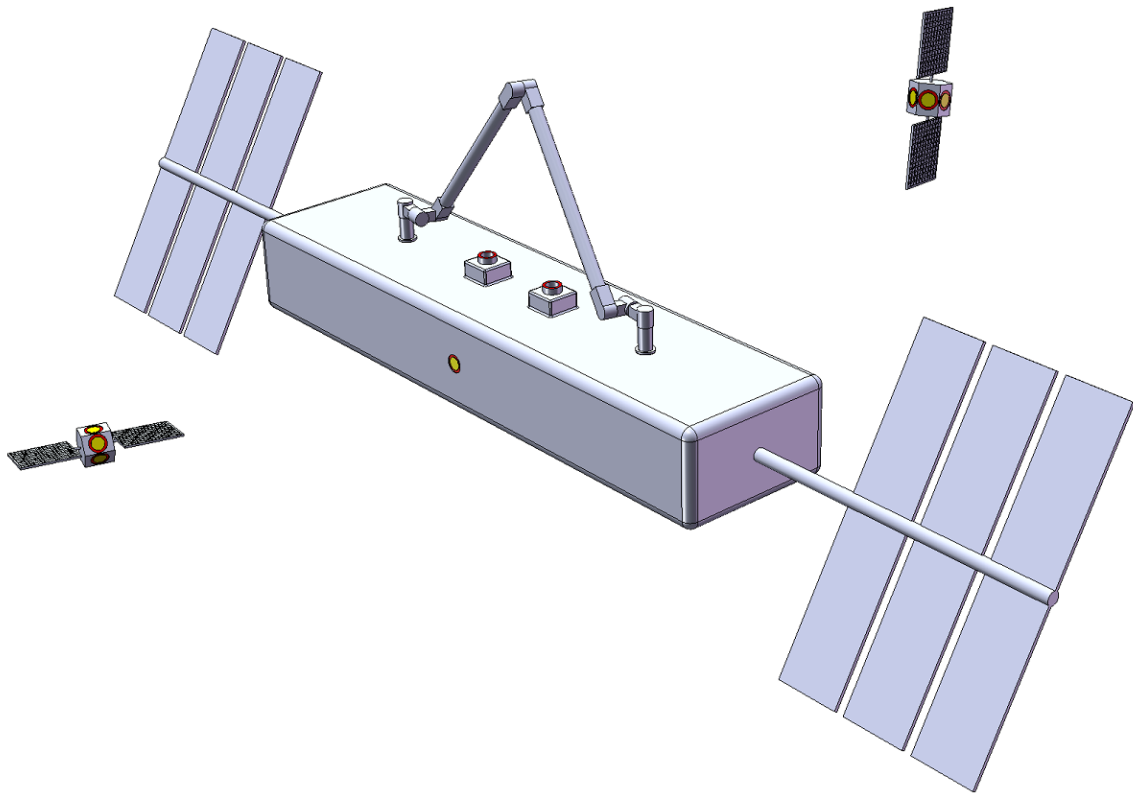


Figura 2: *Possível cenário com dois satélites e o robô em posição de duplo acoplamento na plataforma orbital. Esta é a posição de partida do robô na simulação.*

2 Descrição das etapas principais do processo

1. O robô deve partir de uma configuração estável em que as suas duas extremidades estão acopladas, como ilustrado na figura 2.
2. Haverá dois satélites nas proximidades da plataforma que devem ser trocados de posição entre si. Para isso, pelo menos um deles deve ser colocado numa zona de estacionamento temporária a bordo, num dos 4 locais possíveis (dois em cada umas das duas faces maiores e opostas entre si), como se ilustra na figura 3:

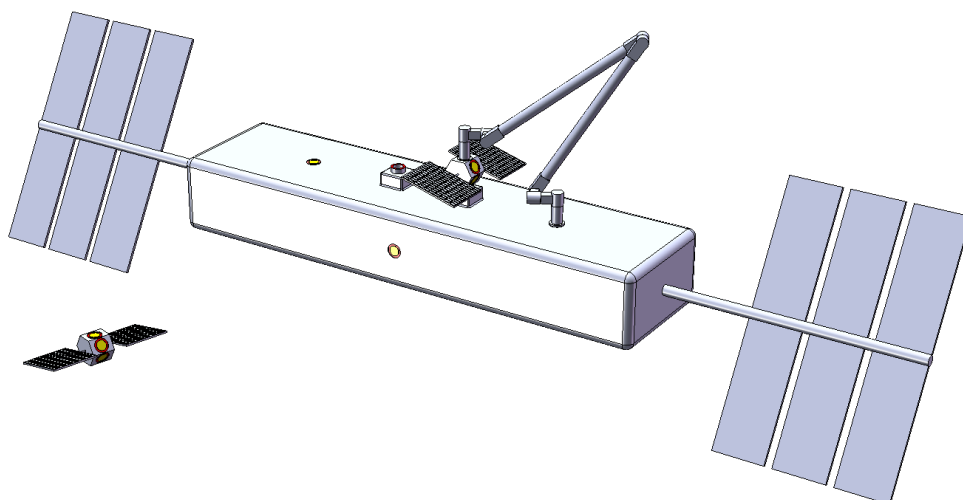


Figura 3: *O robô acabou de estacionar um satélite e terá agora de ir capturar o outro.*

3. Os pontos de estacionamento possíveis estão sobre as faces maiores da plataforma (figura 4). Nesses pontos de estacionamento não é possível acoplar o robô; são reservados exclusivamente aos satélites.

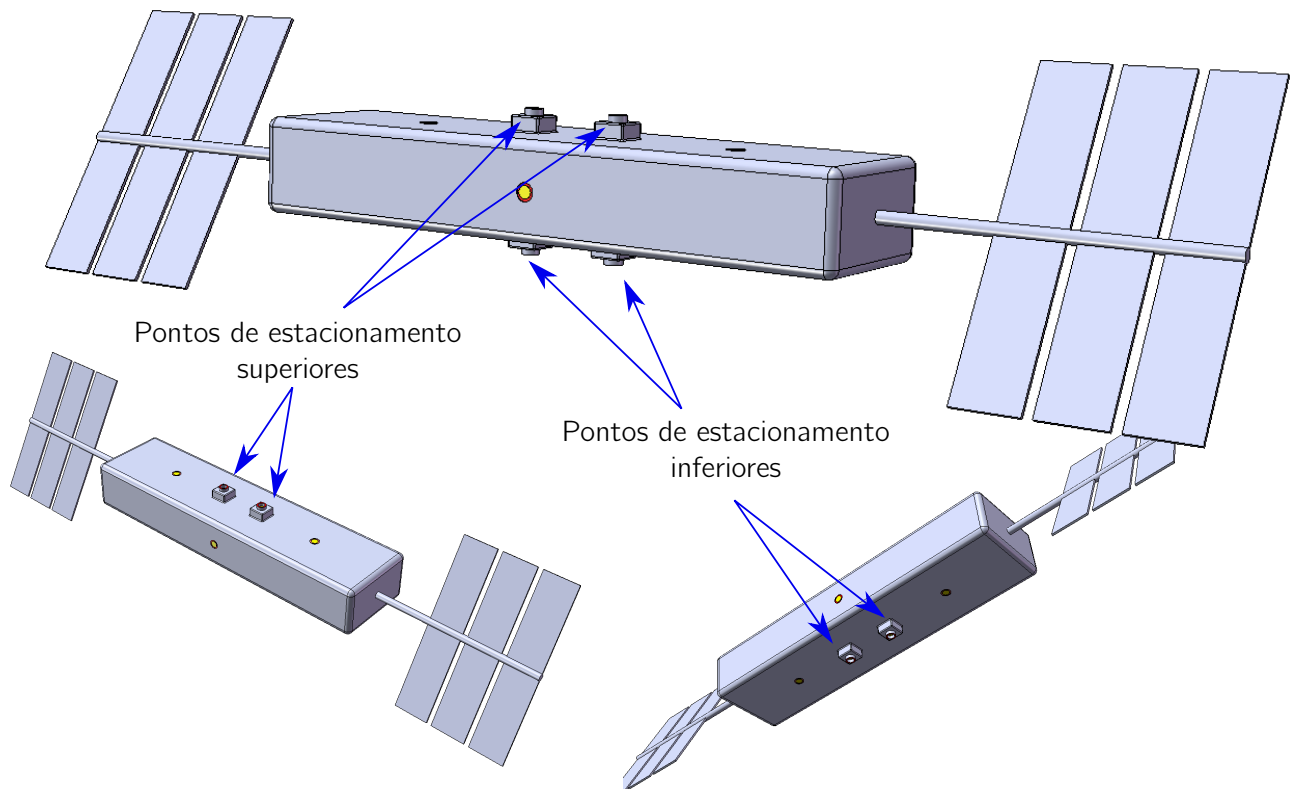


Figura 4: Os 4 pontos possíveis para estacionar satélites na plataforma orbital.

4. Conforme a posição dos satélites, o robô poderá ter de se deslocar entre pontos de acoplamento (*Docking Spots*) para os poder manipular. A figura 5 ilustra as duas possibilidades neste cenário em que os satélites estão de tal forma posicionados que têm de ser agarrados de locais diferentes.

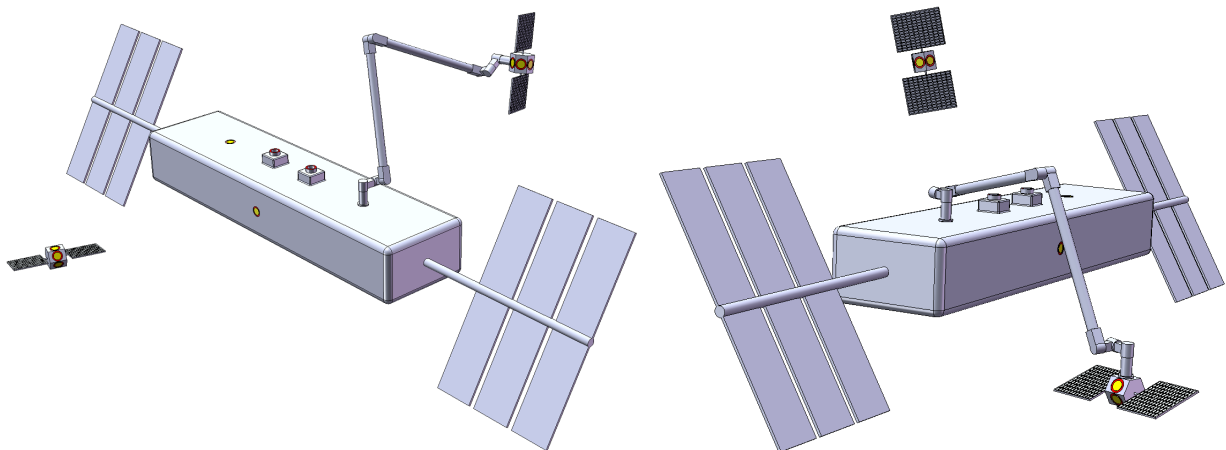


Figura 5: O robô pode decidir qual o satélite a pegar primeiro, mas se não estiver ao alcance, terá de se reposicionar na plataforma para poder ficar em posição de o recolher. Na figura ilustra-se essa situação em que os dois satélites tem de ser agarrados de locais (*Docking Spots*) diferentes.

5. Há múltiplas possibilidades de acoplamento duplo (para depois se poder libertar da forma conveniente) e nem todas as combinações de pontos de acoplamento (*Docking Spots*) são possíveis. O acoplamento

entre dois pontos na mesma face ou em faces adjacentes da plataforma são possíveis. O acoplamento entre pontos em faces opostas da plataforma orbital, embora possa ser possível, poderá estar no limite e talvez não sejam os mais recomendados pelo risco de colisões. Para além da situação ilustrada na figura 2, ilustram-se na figura 6 exemplos adicionais destas duas situações.

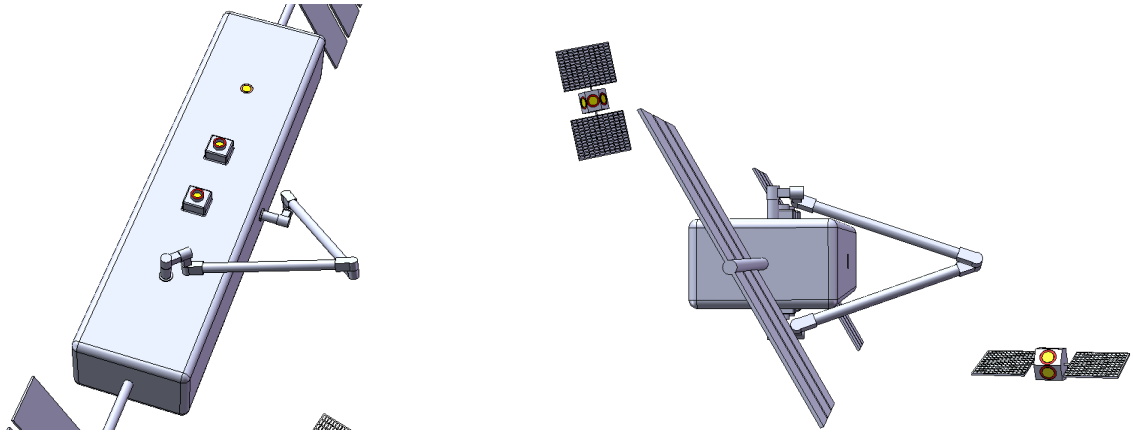


Figura 6: *Ilustração de outras situações de acoplamento duplo do robô, embora a situação da direita aumente muito o risco de colisão e será menos recomendada.*

3 O robô

O robô tem uma cadeia cinemática redundante com 7 juntas rotacionais com os eixos dispostos como ilustrado na figura 7. Embora as juntas tenham limites físicos, para efeito desta simulação podem ser descartados.

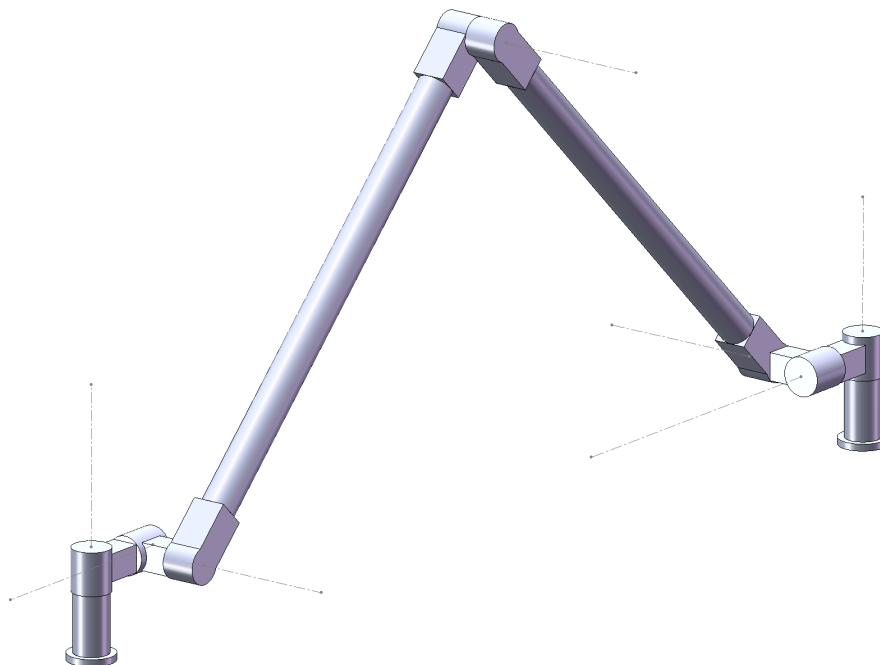


Figura 7: *Modelo 3D e indicação das juntas do robô.*

As medidas do robô estão ilustradas na figura 8 e devem ser essas as usadas para o modelo cinemático na tabela de Denavit-Hartenberg.

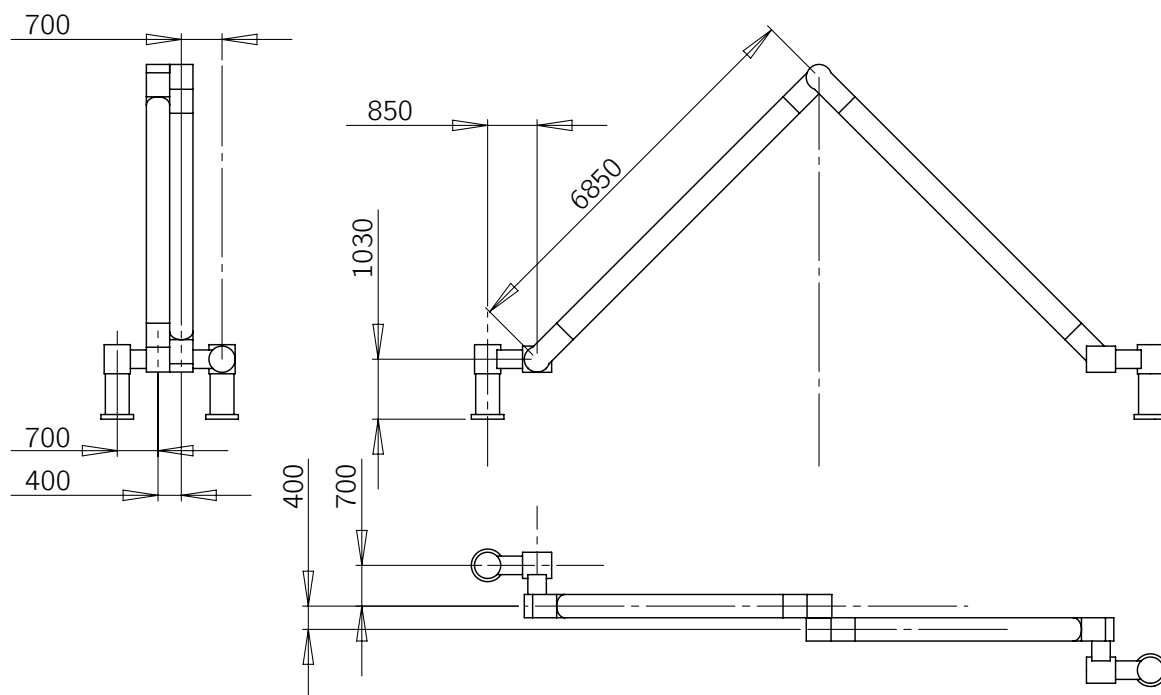


Figura 8: Medidas do robô

4 A plataforma orbital

A plataforma orbital é a estrutura onde está acoplado o robô e onde se podem estacionar temporariamente os satélites. Considera-se que a sua massa e inércia são suficientemente grandes para desprezar os efeitos da dinâmica inerentes às plataformas flutuantes livres. A figura 9 ilustra o modelo geral da plataforma e o sistema de coordenadas associado, e que será o sistema de referência global para as operações a desenvolver.

Além dos 4 pontos de estacionamento de satélites (detalhados na figura 4) a plataforma tem também seis pontos de acoplamento do robô: 2 em cada face superior e inferior, e 1 em cada uma das outras faces ao longo do eixo X, como se representa na figura 9.

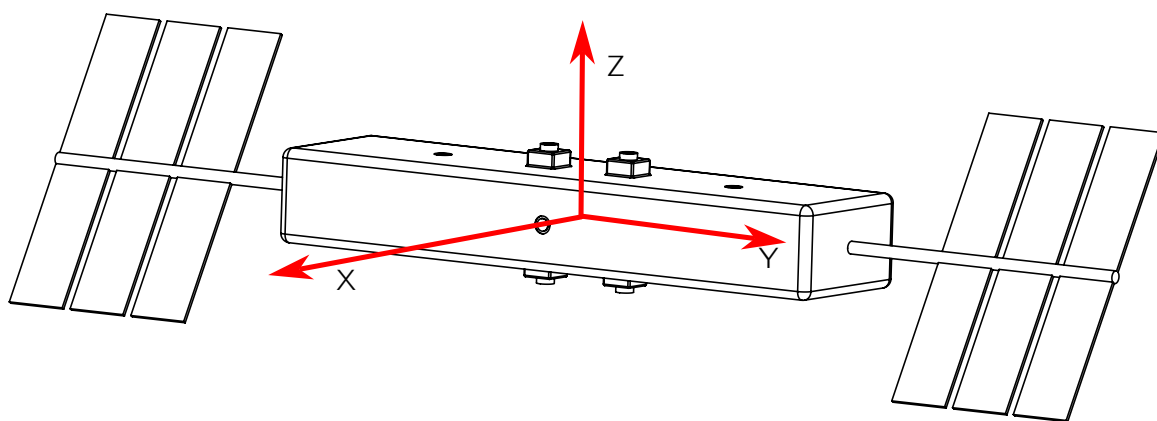


Figura 9: Modelo da plataforma orbital e sistema de coordenadas associado. Este será o referencial global do sistema completo.

As medidas da plataforma estão detalhadas na figura 10. Os painéis solares não têm função específica neste processo e são meramente ilustrativos. Todavia, tal como nos outros componentes deste sistema completo, o braço robótico ou os satélites não podem criar colisões com eles.

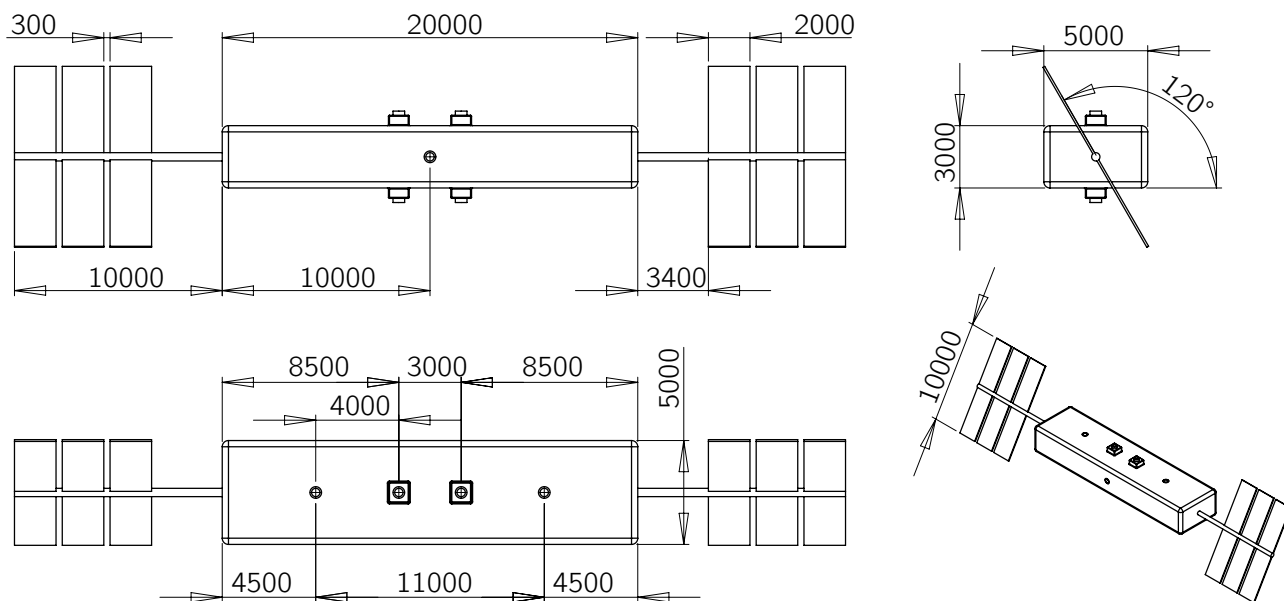


Figura 10: Medidas da plataforma orbital

5 Satélites

Os satélites são iguais entre si, embora possam surgir em posições e orientações variadas, como descrito adiante. Têm um corpo em formato hexagonal regular e painéis solares laterais. Podem ser capturados pelo braço robótico em qualquer uma das suas 6 faces com um mecanismo de acoplamento circular, como ilustrado na figura 11.

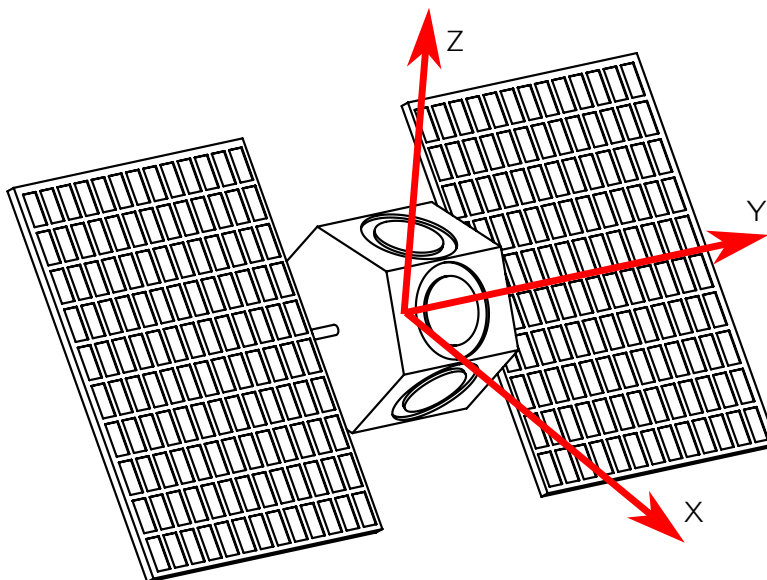


Figura 11: Modelo dos satélites e sistemas de coordenadas local. Note-se o entalhe circular em todas as seis faces do corpo que são os locais por onde se pode fazer a prensão pelo robô. O eixo Z é perpendicular à face virada para cima e passa no seu centro geométrico.

Os satélites podem ser pousados sobre qualquer uma das suas seis faces num dos 4 pontos de acoplamento da plataforma orbital. As medidas físicas dos satélites estão descritas na figura 12.

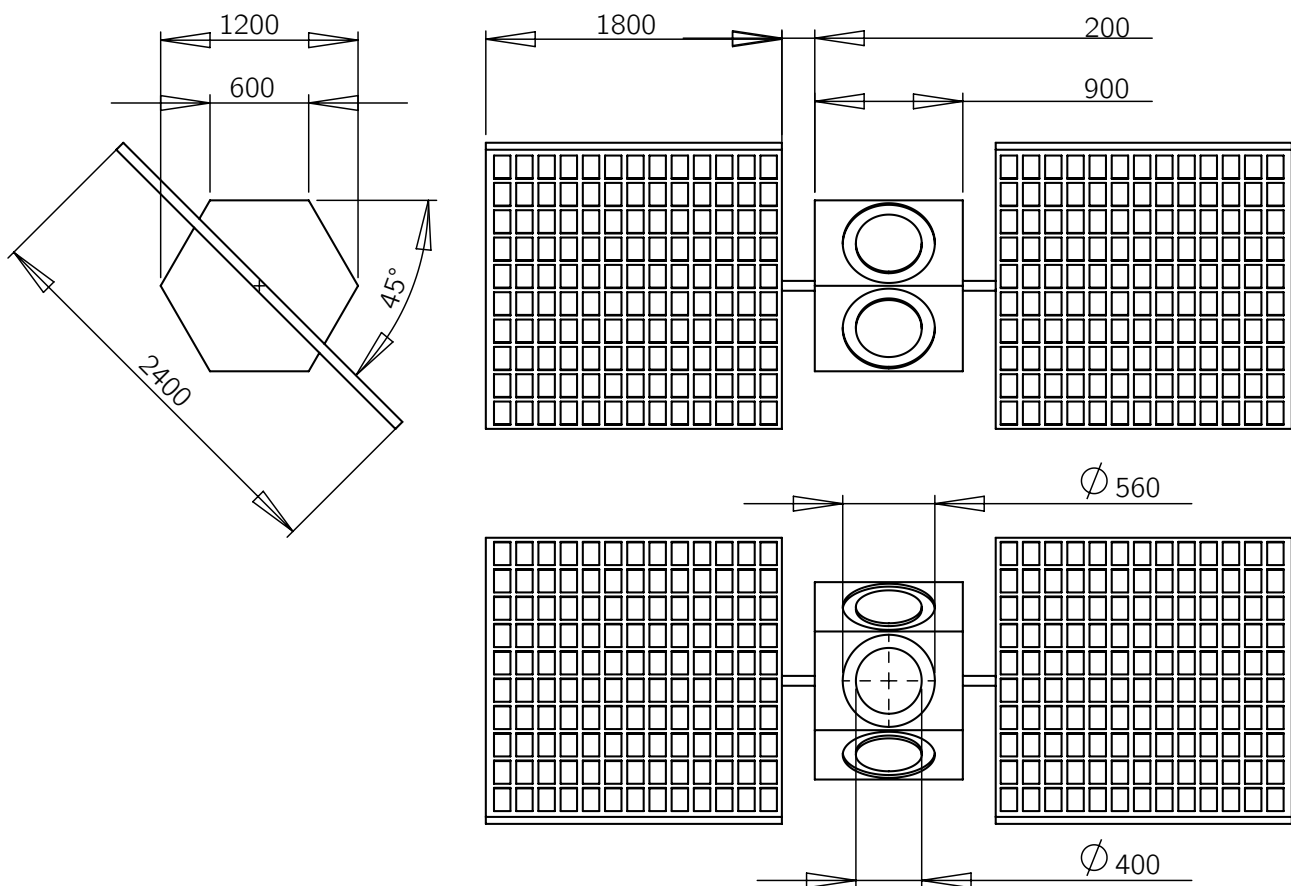


Figura 12: Medidas dos satélites. Vistas de lado, frente e de cima.

6 Movimentos e trajetórias

1. Todos os processos de apreensão e liberação de satélites, e acoplamento e desacoplamento do robô nos pontos de fixação devem ter um ponto de aproximação ao longo do eixo normal à superfície de contacto a pelo menos 50 centímetros de distância da superfície de contacto. O movimento entre esse ponto de aproximação e o ponto de contacto, ou entre o ponto de contacto e o ponto de aproximação, deve ser de movimento linear da ponta.
2. Para além dos movimentos lineares referidos no ponto anterior, quando o robô tem um satélite acoplado a si, a trajetória da ponta também deve ser linear, ou seja, não deverá ser usado um planeamento de juntas quando se movimenta um satélite.
3. Se não for possível um movimento em linha reta único para movimentar um satélite como requerido no ponto anterior (limites do jacobiano, etc.), é aceitável decompor a trajetória em segmentos lineares e executar as trajetórias com paragem nos pontos de mudança de direção. Este procedimento pode ser planeamento de antemão verificando a estabilidade do Jacobiano e caso ela fique comprometida, pode-se usar um qualquer algoritmo de divisão de um caminho em linha reta em dois segmentos com um ângulo entre si mas que continuem a unir os pontos de partida e chegada requeridos.
4. Para além das situações descritas, o movimento é livre podendo ser feito em juntas ou no espaço operacional.

7 Configuração inicial e ficheiro de configuração **tp1.txt**

No arranque, o cenário deverá ser como ilustrado na figura 2 e os satélites devem ser posicionados com as coordenadas lidas de um ficheiro de configuração presente na pasta corrente designado **tp1.txt**.

Esse ficheiro deverá ter em cada linha as coordenadas dos satélites em relação ao referencial global da plataforma orbital. Cada linha terá então 6 números separados por vírgulas, representando a translação e as 3 orientações definidas por ângulos de Euler, como indicado na linha seguinte:

$x, y, z, \psi, \theta, \phi$

Estes valores correspondem a uma transformação geométrica com a convenção RPY dos ângulos de Euler dada por:

$$T = \text{trans}(x, y, z) \text{rotz}(\phi) \text{roty}(\theta) \text{rotx}(\psi) \quad (1)$$

Para facilitar a escrita desse ficheiro, os ângulos devem ser escritos em graus e que depois o programa converterá para radianos para as operações internas.

Se o ficheiro **tp1.txt** não existir ou não puder ser lido com sucesso, o programa deve assumir os seguintes valores de defeito:

8000, -5000, -4000, 0, 0, 0
-8000, 5000, 4000, 0, 0, 0

Estes valores correspondem virtualmente às duas linhas do ficheiro **tp1.txt**, caso ele existisse.

8 Pontos e tarefas relevantes do trabalho

1. Estabelecer a cadeia cinemática do robô (pela metodologia de Denavit-Hartenberg – DH). Note-se que a cinemática se altera (parâmetros da tabela DH) quando o robô comuta de base de fixação.
2. Obter as configurações das posições dos satélites a partir do ficheiro **tp2.txt**. Se o ficheiro não existir, devem usar-se os valores de defeito indicados no enunciado.
3. Representar graficamente o sistema na sua configuração inicial.
 - Devem ser criados modelos poliédricos em matlab para os satélites e para a plataforma orbital. Podem ser usadas instruções de **patch** ou outras formas que façam uma representação similar. Não é preciso exatamente todos os detalhes ilustrados nas figuras anteriores, mas as dimensões com medidas indicadas devem ser respeitadas.
 - Para o robô pode-se usar o modelo criado pela toolbox usada nas aulas.
4. Deve-se verificar se os pontos de destino da ponta estão no espaço de trabalho. Se houver uma situação de um destino fora dos limites atingíveis, a simulação deve terminar com informação ao utilizador do ponto onde ocorreu o problema.
5. Estabelecer e calcular pontos de aproximação como descrito no enunciado.
6. Fazer os diversos planeamentos de trajetória de acordo com as recomendações anteriores (planeamento nas juntas e no espaço operacional, conforme o caso).
7. Antes de executar a animação da simulação, representar previamente o caminho da ponta do robô. Esta representação deve poder ser suprimida por opção do operador.
8. Depois de todos os cálculos e planeamento, animar o movimento do robô para cumprir a tarefa completa e gerar um filme demonstrativo. Durante a animação deve-se movimentar sincronamente o robô e o satélite que estiver a ser manipulado.

9 Material a entregar

1. Código Matlab. Um *script* com o programa principal que deve incluir no seu fim todas as funções eventualmente desenvolvidas especificamente para o trabalho. Os programas serão executados com as

mesmas toolboxes usadas nas aulas. Se houver alguma função de uma qualquer toolbox que não possa ser incluída no ficheiro principal, deixar a indicação em comentário no início do programa principal e também uma observação no relatório.

2. Um relatório em PDF (5 páginas max.) contemplando pelo menos os seguintes pontos:

- Parâmetros cinemáticos do robô.
- Enumeração das principais funções criadas para este trabalho.
- Diagrama de blocos ou similar com o funcionamento geral do programa.
- Eventuais instruções para executar e/ou parametrizar o programa.

É altamente recomendado usar o \LaTeX com o *documentclass report*, ou similar. O trabalho deve ter uma capa com pelo menos o título e identificação do autor (O \LaTeX também gera a capa).

3. Vídeo colocado *on-line* no YouTube com a simulação do processo. O relatório deve incluir o *link*. Este filme deve identificar pelo menos o autor, a data, a UC e a Universidade. O filme não deve ter uma duração superior a 90 segundos.

Em resumo, devem ser entregues dois ficheiros: um ficheiro com o código matlab (.m) e outro ficheiro com o relatório em PDF. Não serão aceites outros formatos. O filme deve ser carregado no youtube e o relatório indicará qual o link.

10 Avaliação

A avaliação levará em conta os pontos das duas secções anteriores, mas também se deve considerar o seguinte:

- Se forem observadas colisões durante a execução há uma penalização de 2% na nota do trabalho.
- Se o robô só completar parcialmente a missão e manipular e estacionar um único satélite, o trabalho terá uma penalização de até 30%.
- Se não forem contemplados os pontos de aproximação e as trajetórias requeridas, o trabalho terá uma penalização de até 15%.
- As penalizações podem acumular.
- É possível haver bonificações sobre trabalhos adicionais ao requerido no enunciado, como por exemplo, manusear mais de dois satélites, criação de uma interface gráfica para a execução e parametrização, ou outros elementos que enriqueçam a simulação. Quaisquer que sejam as bonificações, a nota máxima do trabalho satura sempre no topo da escala!

Nota Final: os trabalhos serão verificados pelo sistema de plágio MOSS da Stanford University, e eventuais situações de plágio no código podem levar a anulação de trabalhos. Todos os elementos ou soluções de terceiros (páginas de internet, LLMs, etc.) devem ser creditados.