

ADENDO AO TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**ESCLARECIMENTO ACERCA DO MODELO PROPOSTO
DENAVID-HARTENBERG**

Rafael Augusto Torres

Brasília, dezembro de 2020



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
2	Fundamentação Teórica.....	2
3	Modelagem.....	4
4	Conclusão.....	7
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	8

LISTA DE FIGURAS

1.1	Novo arranjo de sistemas.	1
3.1	Distância entre os eixos das juntas 1 e 2.....	4
3.2	Distância entre os eixos das juntas 2 e 3.....	5
3.3	Distância entre os eixos das juntas 3 e 4.....	5
3.4	Distância entre os eixos das juntas 4 e 5.....	6
3.5	Distância entre o eixo da junta 5 e a origem do sistema da junta 6.	6

Capítulo 1

Introdução

Durante o desenvolvimento do trabalho de graduação “Instrumentação e Controle de Braço Robótico para Deficientes” foi proposto um modelo com um determinado conjunto de parâmetros Denavit-Hartenberg. Este adendo buscará sanar dúvidas restantes quanto ao modelo desenvolvido e a convenção adotada para o posicionamento dos sistemas de coordenadas no manipulador.

A figura 1.1 ilustra o modelo, com todos os parâmetros.

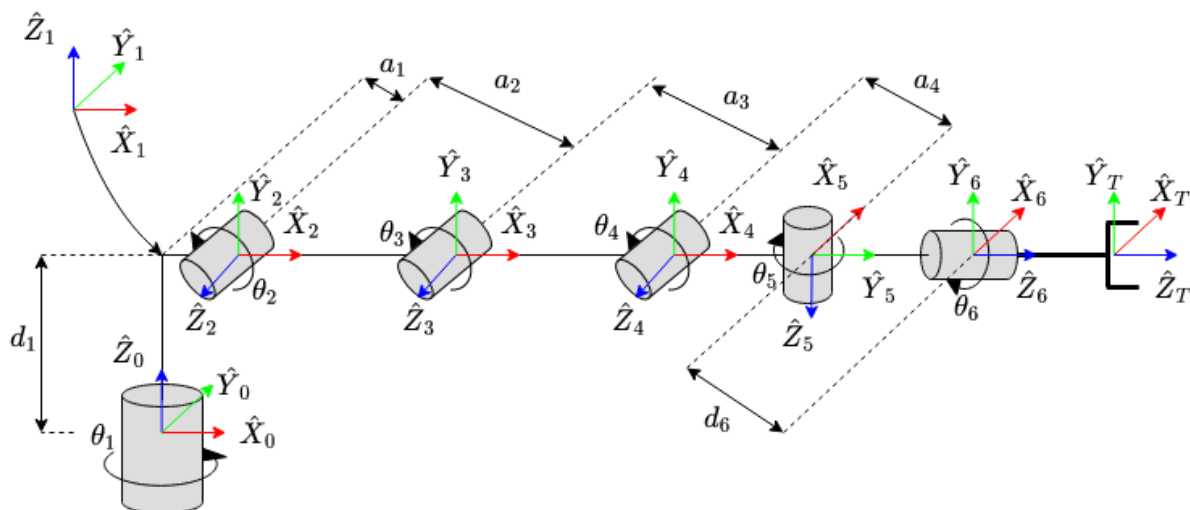


Figura 1.1: Novo arranjo de sistemas.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Como informado no texto original, foi adotada a convenção exposta em [1], tanto para o posicionamento dos sistemas de referência quanto para definição dos parâmetros de Denavit-Hartenberg. É importante notar que o livro utilizado como base para o trabalho emprega a forma modificada destes parâmetros, com a seguinte definição para cada termo:

a_i = distância entre \hat{Z}_i e \hat{Z}_{i+1} , ao longo de \hat{X}_i ;

α_i = ângulo entre \hat{Z}_i e \hat{Z}_{i+1} , em relação a \hat{X}_i ;

d_i = distância entre \hat{X}_{i-1} e \hat{X}_i , ao longo de \hat{Z}_i ;

θ_i = ângulo entre \hat{X}_{i-1} e \hat{X}_i , em relação a \hat{Z}_i .

A versão modificada definida pelo autor em [1] diferencia-se da versão clássica utilizada por outros autores, como Paul [2] e Spong [3]. A relação entre estas versões pode ser vista em [4], que expõe as diferenças nas convenções bem como exemplos de aplicação para alguns manipuladores.

A convenção utilizada no trabalho base, e portanto no trabalho de graduação, é simplificada com base nos seguintes passos [1]:

1. Identificação dos eixos de rotação das juntas e definição de linhas imaginárias infinitas sobre esses eixos. Para os passos de 2 a 5 abaixo, considere duas linhas consecutivas (no eixo i e $i + 1$).
2. Identificação da perpendicular comum entre as linhas, ou ponto de intersecção. No ponto de intersecção, ou no ponto onde a perpendicular comum se encontrar com o eixo da junta i , posicionar a origem do sistema de referências da junta i .
3. Posicionar o eixo \hat{Z}_i na mesma direção do eixo de rotação da junta i .
4. Posicionar o eixo \hat{X}_i na direção da perpendicular comum, ou, se os eixos das juntas i e $i + 1$ se interceptarem, posicionar \hat{X}_i na direção da reta normal ao plano formado pelos dois eixos.

5. Posicionar o eixo \hat{Y}_i para completar o sistema de coordenadas com base na regra da mão direita.
6. Posicionar o sistema da base, $\{0\}$, para coincidir com o sistema da junta 1 quando a variável da primeira junta é zero. Para a última junta, N , escolher a posição da origem e \hat{X}_N livremente, mas geralmente de modo a fazer com que o máximo de parâmetros assumam valor 0.

Capítulo 3

Modelagem

O primeiro sistema de coordenadas a ser posicionado foi o da junta 1. Através da figura 3.1 nota-se que os eixos das juntas 1 e 2 não se interceptam, portanto a origem foi posicionada no ponto de intersecção entre a perpendicular comum e o eixo da junta 1, equivalente ao quadrado verde na figura. O eixo \hat{Z}_1 foi posicionado na direção do eixo da junta 1, com sentido para fora do plano da imagem, e o eixo \hat{X}_1 na direção da perpendicular comum, com sentido do eixo da junta 1 para o eixo da junta 2. Na figura a distância mostrada faz referência ao parâmetro a_1 .

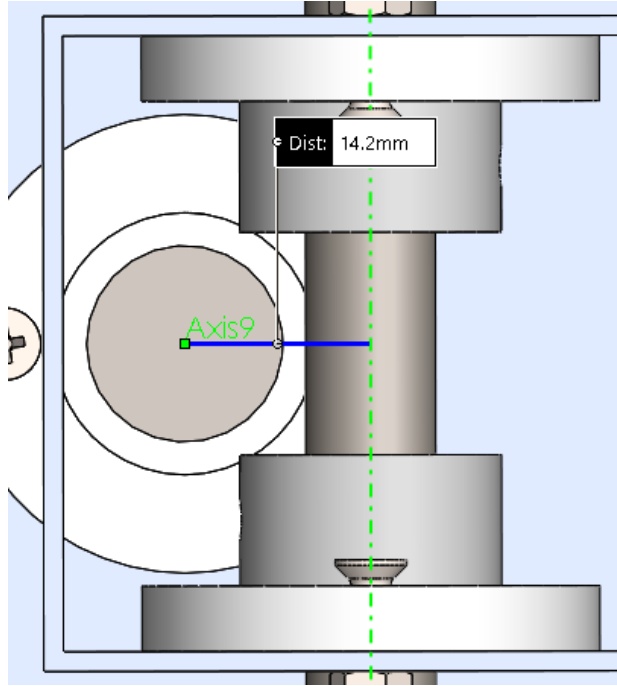


Figura 3.1: Distância entre os eixos das juntas 1 e 2.

Seguindo os passos de 2 a 5 descritos na seção 2 foram definidos também os sistemas de coordenadas das juntas de 2 a 5, resultando nos parâmetros a_2 , a_3 e a_4 . Os valores para estes termos podem ser vistos nas figuras de 3.2 a 3.4. Vale a pena notar que para a junta 5, os eixos \hat{Z}_5 e \hat{Z}_6 se interceptam, como pode ser visto na figura 3.5, portanto o eixo \hat{X}_5 foi definido na direção

da reta normal ao plano formado por esses dois eixos \hat{Z} .

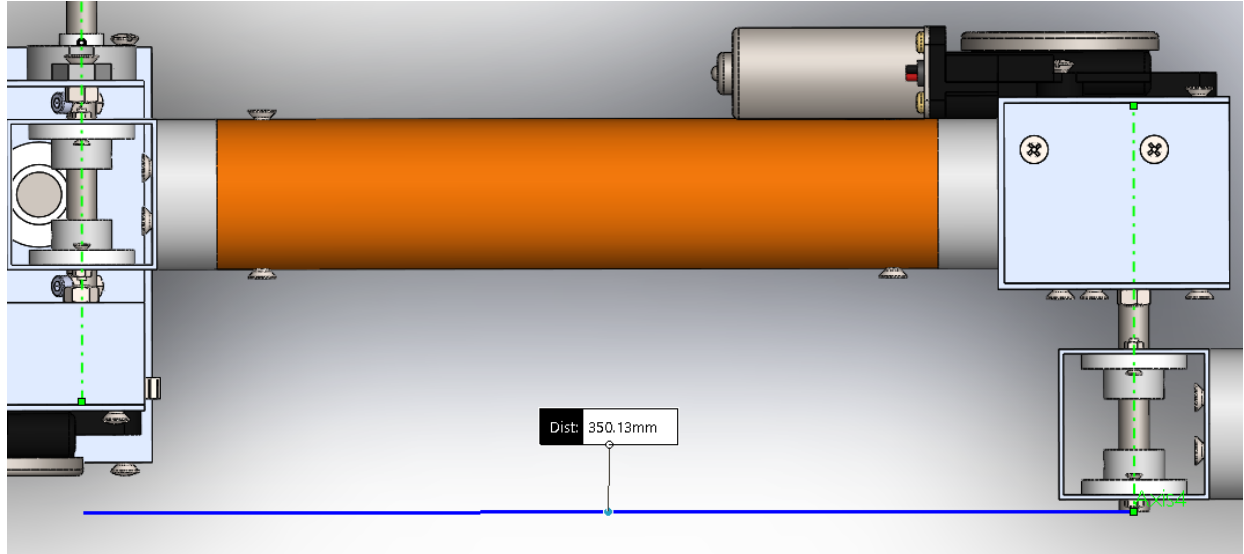


Figura 3.2: Distância entre os eixos das juntas 2 e 3.

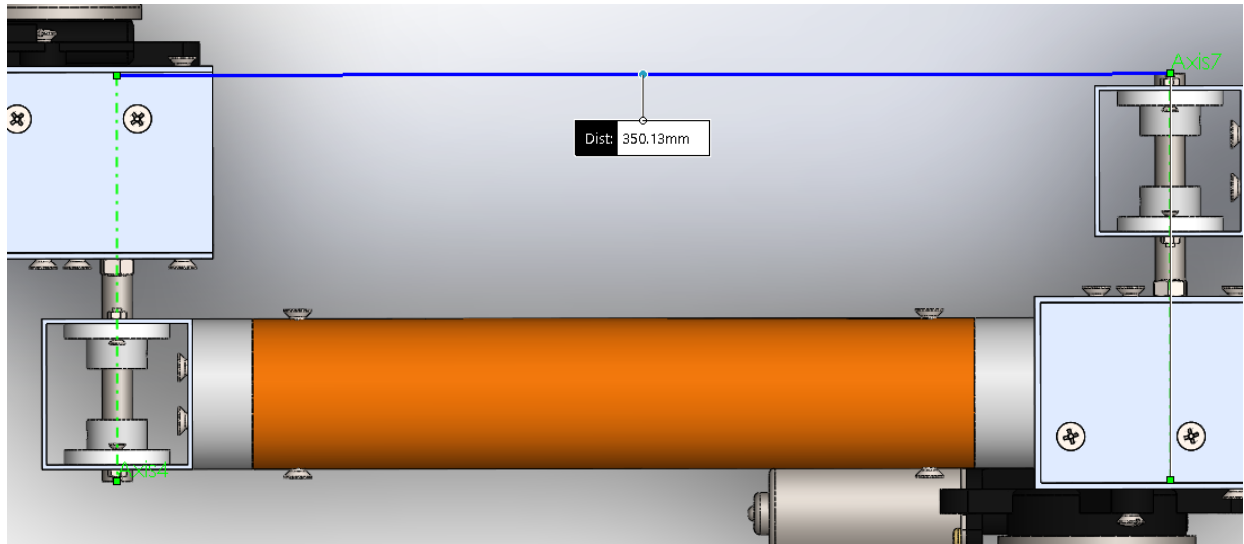


Figura 3.3: Distância entre os eixos das juntas 3 e 4.

Para o sistema de coornadas da base, $\{0\}$, optou-se por posicionar este a uma distância d_1 do sistema 1, por acreditar que isto facilitaria uma transformação entre a base do sistema e um sistema de referência global da estação de uso real do manipulador. Como é definido em [1], a posição deste sistema é arbitrário, portanto esta decisão não fere a convenção adotada.

Para a junta 6, a origem do sistema foi posicionada no centro do eixo de saída do manipulador empregado nesta junta, assumindo que esta decisão tornaria mais simples uma definição da transformação entre a ferramenta a ser utilizada no manipulador e a última junta do sistema. Esta decisão resultou em um parâmetro d_6 , que indica a distância entre \hat{X}_5 e \hat{X}_6 ao longo de \hat{Z}_6 , respeitando a convenção adotada. O valor deste parâmetro pode ser visto na figura 3.5.

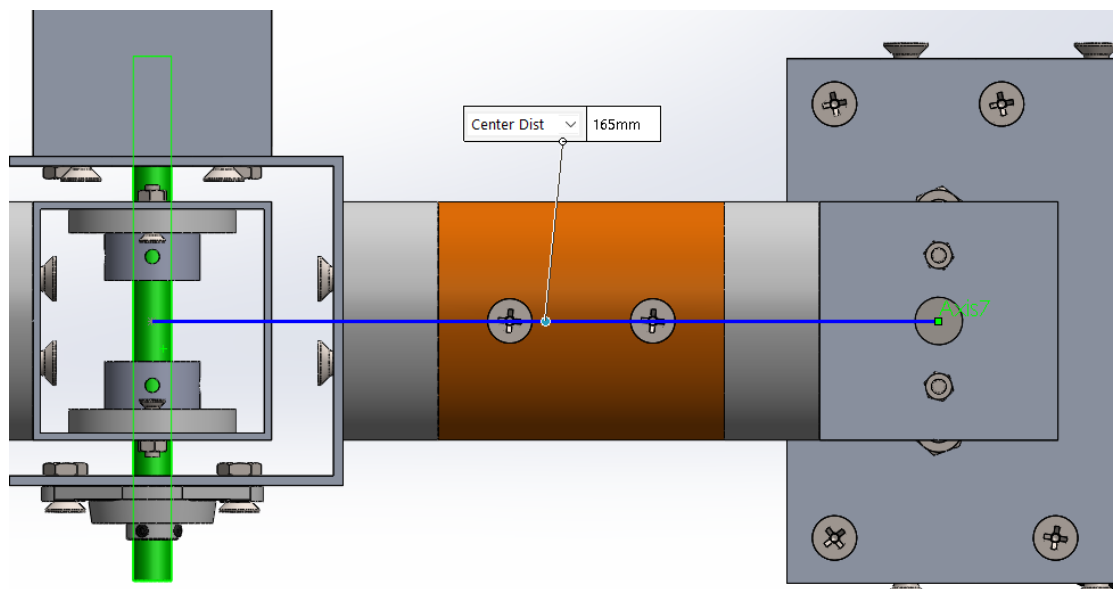


Figura 3.4: Distância entre os eixos das juntas 4 e 5.

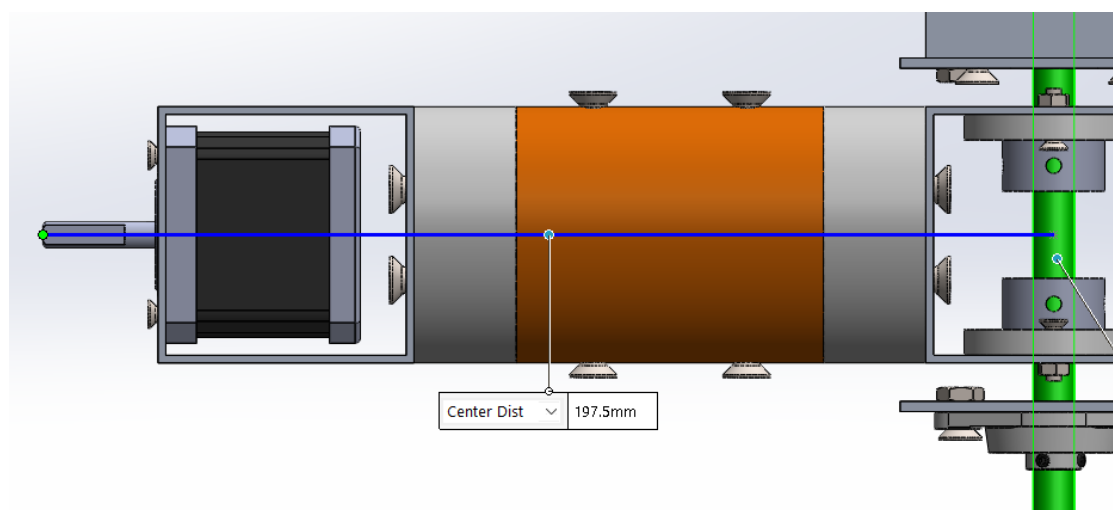


Figura 3.5: Distância entre o eixo da junta 5 e a origem do sistema da junta 6.

Capítulo 4

Conclusão

Com base na modelagem apresentada, assume-se que o modelo apresentado na figura 1.1 está de acordo com a convenção utilizada. Os devidos cuidados na indicação do uso dos parâmetros de Denavit-Hartenberg em sua forma modificada foram tomados, inclusive no módulo de simulação e cálculo dos torques nas juntas, onde através de uma variável no código define-se a versão modificada, ao invés da versão clássica padrão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CRAIG, J. J. *Introduction to robotics: mechanics and control*. 3rd. ed. [S.l.]: Pearson Education India, 2009.
- [2] PAUL, R. P. *Robot manipulators: mathematics, programming, and control: the computer control of robot manipulators*. 1st. ed. Cambridge, Massachusetts and London, England: The MIT Press, 1981.
- [3] SPONG, M. W.; VIDYASAGAR, M. *Robot dynamics and control*. 1st. ed. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- [4] REDDY, A. C. Difference between denavit-hartenberg (d-h) classical and modified conventions for forward kinematics of robots with case study. In: *International Conference on Advanced Materials and manufacturing Technologies (AMMT), 2014, India*. [S.l.: s.n.], 2014.