



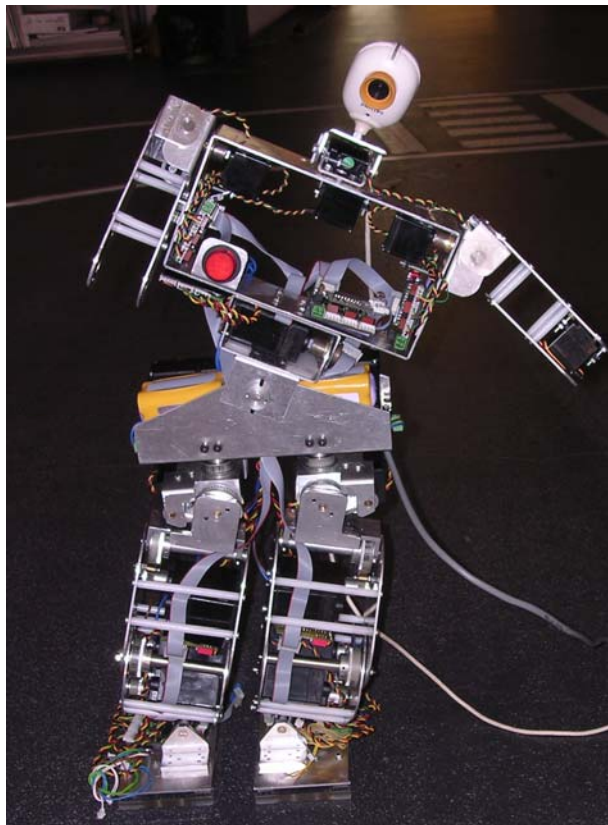
*Departamento de
Engenharia Mecânica*



Universidade de Aveiro

“Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

RELATÓRIO FINAL DE PROJECTO



Autores:

Nuno Beça -----n.º mec: 20075

Ângelo Cardoso -----n.º mec: 23570

Orientadores:

Professor Vítor Santos

Professor Filipe Silva

Nesta versão PDF faltam os desenhos de fabrico das componentes do robot.

Aveiro, 22 de Julho de 2005

Agradecimentos

Este espaço é dedicado àqueles que deram a sua contribuição para que este projecto fosse realizado. A todos eles deixamos aqui o nosso agradecimento sincero.

Em primeiro lugar agradecemos aos nossos orientadores Prof. Vítor Santos e Prof. Filipe Silva pela forma como orientaram o nosso trabalho. O seu apoio, as suas recomendações, e a cordialidade com que sempre nos receberam.

Em segundo lugar agradecemos ao Eng. Festas pela ajuda na construção e também pelo aconselhamento acerca dos métodos de fabrico mais indicados bem como ao Departamento de Física que sempre disponibilizou os meios que lhes solicitámos.

Sem esquecer os nossos colegas que começaram o trabalho no ano anterior, Luís Rêgo e Renato Barbosa, ao Eng. Camilo Christo pela sua constante simpatia e disponibilidade e a todos os colegas que nos acompanharam e ajudaram ao longo deste ano em especial o Mauro Silva e o Luís Gomes, o nosso muito obrigado.

Finalmente, gostaríamos de agradecer em especial às nossas famílias pelo apoio ao longo de todos estes anos.

Resumo

O sistema humanóide representa o sonho inato do engenho humano para a criação artificial de um ser antropomórfico para o servir e ajudar e representa um dos maiores desenvolvimentos até agora conseguidos na área da robótica.

Este projecto tem como principal objectivo o desenvolvimento de uma plataforma robótica humanóide que sirva de base para investigação nos próximos anos.

Neste documento explica-se detalhadamente os problemas encontrados, as soluções propostas e as concretizadas; descrevem-se a concepção e construção do robot; explica-se a necessidade e implementação da análise estática para obtenção de padrões de locomoção; descrevem-se os resultados obtidos na integração deste projecto com o projecto responsável pelo controlo e percepção; e deixa-se ainda uma remodelação do robot construído com vista a aumentar as potencialidades da plataforma.

Índice:

1 - Enquadramento e objetivos.....	9
2 - Introdução.....	11
2.1 – Planeamento do projecto:.....	11
2.2 - Considerações de projecto:.....	12
2.3 - Os requisitos da plataforma:.....	13
3- Evolução do trabalho desenvolvido.....	16
3.1 - Trabalho realizado no ano anterior:.....	16
3.2 - Resolução e validação das limitações encontrados:.....	16
3.3 - Estudo e concepção de soluções para a anca, e ligação à mesma (junta esférica RRR):.....	20
3.4 - Remodelação e alteração de alguns componentes estruturais:.....	22
3.5 - Alteração da estrutura de nylon para alumínio:.....	25
3.6 - Soluções encontradas para o tronco e braços:.....	27
3.7- Troca da transmissão de rodas dentadas para transmissão por correias:	32
4 - Escolha dos componentes.....	35
4.1 - Motores e transmissões:.....	35
4.2 - Baterias e autonomia:.....	36
4.3 - Rolamentos:.....	37
5 - Análise Estática.....	39
5.1 - Cinemática inversa:.....	41
5.2 - Validade de padrões de locomoção:.....	43
5.3 - Actualizações do código:.....	44
6 – Concepção.....	46
6.1 - Pé:.....	46
6.2 - Tornozelo:.....	49
6.3 - Perna:.....	51
6.4- Coxa:.....	54
6.5 - Anca baixo:.....	57
6.6 - Anca cima:.....	60
6.7 - Barra anca:.....	63
6.8 - Cintura:.....	66
6.9 - Peito:.....	69
6.10 - Pescoço:.....	72
6.11 - Cabeça:.....	74
6.12 - Ombro:.....	76
6.13 - Braço:.....	79
6.14 - Ante braço:.....	82
6.15 - Robot completo:.....	84
7 - Construção.....	96
7.1 - Chapa quinadas;.....	96
7.2 - Bloco de alumínio feitas em CNC;.....	96

7.3- Peças torneadas;.....	97
8 - Sequência de Montagem	98
8.1 - Montagem dos pés:	98
8.2 - Montagem das pernas:	99
8.3 - Montagem das coxas:.....	100
8.4 - Montagem da Anca:.....	101
8.5 - Juntar as pernas e coxas:.....	103
8.6 - Juntar a estrutura anterior à anca:.....	104
8.7 - Montagem da ligação cintura:.....	105
8.8 - Montagem do tronco:.....	106
8.9 - Montagem dos braços:	107
8.10 - Montagem do pescoço e cabeça:.....	108
8.11 - Montagem de toda a estrutura:.....	109
9 - Integração com o projecto de controlo e percepção	110
10 - Modelo 2007	114
11 - Conclusão	119
12 – Bibliografia e referências.....	123
Anexos	126
Tabelas de características do robot Humanóide:.....	127
Material adquirido:	127
Relatório de software desenvolvido em MatLab para obtenção de: Cinemática Inversa; Análise Estática; Validade de Padrões de Locomoção;	133
Relatório de software desenvolvido em MatLab para: Diagnóstico de estado do CAN; Leitura do valor de potenciómetros; Controlo do robot em malha aberta;.....	170
Desenhos Técnicos:	192

Índice de figuras:

Fig. 1 – Robot humanóide da Sony, QRIO.....	9
Fig. 2 – Robot ASIMO da HONDA.	9
Fig. 3 – Dimensões do robot modelado.....	15
Fig. 4 – Perna direita do Humanóide a criar.....	16
Fig. 5 – Solução do ano anterior.	17
Fig. 6 – Solução para garantir o entreeixo no Pé.	17
Fig. 7 – Garantir o entreeixo entre o motor e a roda.	17
Fig. 8 – Veio do joelho.....	18
Fig. 9 – Chaveta.	18
Fig. 10 – Roseta com encaixe para chaveta.	18
Fig. 11 – Roseta para garantir que se suporta os momentos.....	18
Fig. 12 – Veio para garantir que se suporta os momentos.....	18
Fig. 13 – Montagem da roseta no veio.	19
Fig. 14 – Modelagem completa das pernas e anca.....	20
Fig. 15 – Junta rotacional.	21
Fig. 16 – Montagem das pernas e anca.	21
Fig. 17 – Torção no motor da anca.	22
Fig. 18 – Rolamento axial de esferas.....	22
Fig. 19 – Adaptador para o motor do pé.....	23
Fig. 20 – Adaptador para os motores do tornozelo e joelho.....	23
Fig. 21 – Adaptador para o motor da anca à frente.....	23
Fig. 22 – Motor da coxa a chocar com o eixo do joelho.	24
Fig. 23 – Montagem final do motor da coxa.	24
Fig. 24 – Alteração da junta esférica.	25
Fig. 25 – Tensão de Von Misses para a estrutura antiga da perna.....	25
Fig. 26 – Tensão de Von Misses para a nova estrutura da perna.....	25
Fig. 27 – Montagem do pé.....	26
Fig. 28 – Montagem da perna.	26
Fig. 29 – Solução da Anca.	26
Fig. 30 – Solução da ligação das pernas à barra anca.	27
Fig. 31 – Solução simplificada para o tronco.....	29
Fig. 32 – Solução para o tronco, com rotação lateral e frontal.	30
Fig. 33 – Solução possível para cintura e cabeça.....	31
Fig. 34 – Solução final para a cintura e cabeça.....	31
Fig. 35 – Braços com três graus de liberdade.....	31
Fig. 36 – Correias usadas.	32
Fig. 37 – Polias em alumínio.	32
Fig. 38 – Sequencia de montagem do apoio para polia de 16 dentes.....	33

Fig. 39 – Montagem final das pernas, já com a transmissão por correia.	33
Fig. 40 – Montagem final da estrutura inferior.	34
Fig. 41 – Correias usadas.	36
Fig. 42 – Polias em alumínio.	36
Fig. 43 – Carregador de baterias de Lítio.	37
Fig. 44 – Bateria 4LI-2400.	37
Fig. 45 – Rolamento de esferas.	38
Fig. 46 – Apoio dos rolamentos para o veio da anca.	38
Fig. 47 – Vista de corte do apoio dos rolamentos para o veio da anca.	38
Fig. 48 – Imagem obtida no programa feito para análise estática.	40
Fig. 49 – Esquema para a cinemática inversa das pernas.	41
Fig. 50 – Modelação do pé.	46
Fig. 51 – Modelação do tornozelo.	49
Fig. 52 – Modelação da perna.	51
Fig. 53 – Modelação da coxa.	54
Fig. 54 – Modelação da anca baixo.	57
Fig. 55 – Modelação da anca cima.	60
Fig. 56 – Modelação da barra anca.	63
Fig. 57 – Modelação da cintura.	66
Fig. 58 – Modelação do peito.	69
Fig. 59 – Modelação do pescoço.	72
Fig. 60 – Modelação da cabeça.	74
Fig. 61 – Modelação do ombro.	76
Fig. 62 – Modelação do braço.	79
Fig. 63 – Modelação do ante braço.	82
Fig. 64 – Modelação completa do robot.	84
Fig. 65 – Peças usadas no pé.	98
Fig. 66 – Vista explodida do pé.	98
Fig. 67 – Montagem final do pé.	99
Fig. 68 – Montagem da estrutura da perna.	100
Fig. 69 – Vista explodida da perna.	100
Fig. 70 – Montagem da estrutura da coxa.	101
Fig. 71 – Vista explodida do pé.	101
Fig. 72 – Peças usadas na montagem da anca.	102
Fig. 73 – Montagem da anca.	102
Fig. 74 – Vista explodida da anca baixo.	102
Fig. 75 – Vista explodida da anca cima.	102
Fig. 76 – Vista explodida da barra anca.	102
Fig. 77 – Ligação das pernas às coxas.	103
Fig. 78 – Ligação das pernas ao pé.	103
Fig. 79 – Ligação das pernas à anca.	104
Fig. 80 – Montagem da cintura ligada à anca.	105

Fig. 81 – Vista explodida da cintura.	105
Fig. 82 – Montagem do tronco.....	106
Fig. 83 – Vista explodida do peito.	106
Fig. 84 – Montagem do braço.....	107
Fig. 85 – Montagem dos braços, ligados ao tronco.....	107
Fig. 86 – Vista explodida do braço.	107
Fig. 87 – Montagem do pescoço e cabeça.....	108
Fig. 88 – Montagem do pescoço e cabeça.....	108
Fig. 89 – Vista explodida do pescoço.....	108
Fig. 90 – Vista explodida da cabeça.....	108
Fig. 91 – Modelação final do robot.	109
Fig. 92 – Estrutura humanóide final.....	109
Fig. 93 – Outra vista da estrutura humanóide construída.....	109
Fig. 94 – Chapa com o rasgo para os esticadores moídos.	112
Fig. 95 – Solução para o peito.....	115
Fig. 96 – Solução para o peito.....	115
Fig. 97 – Solução para o veio do braço.....	115
Fig. 98 – Solução para a cabeça.....	116
Fig. 99 – Solução para o veio do joelho.	116
Fig. 100 – Solução para a roseta do joelho.....	116
Fig. 101 – Solução para o veio e roseta do joelho.	116
Fig. 102 – Solução para se poder baixar mais.	117
Fig. 103 – Solução final.....	118
Fig. 104 – Solução final.....	118
Fig. 105 – Plataforma humanóide construída.....	119

Índice de tabelas:

Tabela 1 – Graus de liberdade da plataforma humanóide..	13
Tabela 2 – Características principais do robot modelado.....	15
Tabela 3 – Servomotores escolhidos..	35
Tabela 4 – Momentos nos motores mais relevantes para três configurações ao longo de um passo. Assinalam-se os momentos mais exigentes..	36
Tabela 5 – Características das baterias..	37

1 - Enquadramento e objectivos

Os robots humanóides correspondem a um dos maiores desafios na área da robótica. O sistema humanóide representa o sonho inato do engenho humano para a criação artificial de um ser antropomórfico para o servir e ajudar. Para além disto, o robot humanóide mostra-se, em primeira aparência, como a única via de algum dia se desenvolver um sistema com a versatilidade e capacidade física que um ser humano possui. E talvez se num futuro mais ou menos próximo, os robots humanóides consigam comunicar e reagir espontaneamente ao convívio com os seres humanos. Diversos robots que cumprem alguns destes objectivos foram até agora desenvolvidos por diversas companhias de renome internacional e algumas universidades espalhadas por todo o mundo. Como por exemplo QRIO da Sony (figura 1) e ASIMO da Honda (figura 2).



Fig. 1 – Robot humanóide da Sony, QRIO.



Fig. 2 – Robot ASIMO da HONDA.

As principais motivações para a realização de um empreendimento desta envergadura recaem sobre:

- Razões filosóficas e utópicas;
- Procura de desafios constantes de complexidade elevada, visto este ser dos primeiros projectos deste tipo a serem desenvolvidos em Portugal;
- Criação de uma plataforma de elevado valor pedagógico para alunos de Engenharia, devido à elevada multidisciplinaridade do projecto;
- Participação prevista num evento mundial ligado à robótica, Robocup2006, onde existe uma liga Humanóide e à qual o Departamento de Engenharia Mecânica teve estreitas ligações de carácter organizacional em 2004.

Dado que a modelação dinâmica da estrutura é muito complexa e fora dos propósitos definidos, a abordagem será a de fazer modelos geométricos e cinemáticos (aflorando também alguns estudos da estática) e, com base neles, definir a estrutura física de suporte. Desta forma, poder-se-á especificar os principais objectivos propostos pelo orientador no início deste projecto:

- Validação da solução já iniciada para a subestrutura inferior;
- Elaboração de uma proposta conceptual de solução para a subestrutura superior e sua implementação e integração no trabalho iniciado no ano anterior;
- Definição de padrões de locomoção;
- Desenvolvimento de uma aplicação de comando;
- Desenvolvimento de uma aplicação de monitorização.

2 - Introdução

2.1 – Planeamento do projecto:

Os principais componentes a ter em conta no desenvolvimento destes objectivos são:

- Implementação dos modelos geométricos:
- Simulação em ambiente MatLab da cinemática directa e inversa da plataforma, definindo de forma genérica o modelo geométrico e cinemático para toda a plataforma para estudar o movimento das juntas;
- Desenvolver e testar modelos cinemáticos parcelares (uma perna livre em relação ao solo, etc.).
- Obtenção do mapa de solicitações estáticas nas juntas para uma configuração genérica:
- Modificar o modelo geométrico anterior acrescentando-lhe determinadas propriedades, como a massa, comprimentos e centros de massa locais, de modo a permitir estudos de estática do sistema, e calcular momentos de inércia em relação a determinados eixos.
- Projecto, fabrico e montagem da estrutura mecânica:
- Com base nos constrangimentos impostos pelos actuadores e controladores seleccionados, definir a estrutura mecânica e os acoplamentos necessários, incluindo os materiais a utilizar;
- Concepção da segunda perna e de todos os componentes passivos para a sua implementação experimental;
- Concepção e desenvolvimento do sistema de pernas - anca, usando juntas esféricas;
- Concepção da anca, para juntar o mais possível as pernas mas, ao mesmo tempo, poder acondicionar as baterias de alimentação do robot;
- Concepção de toda a parte do tronco, bem como suporte para a câmara para ser possível o uso de visão.

Para se atingirem os objectivos, sentiu-se a necessidade de consultar e estudar matérias de variadíssimas cadeiras que foram leccionadas no decorrer do curso, entre elas poder-se-á dar particular relevância a Robótica Industrial, Mecânica das Estruturas, Concepção e Fabrico Assistido por Computador,

Órgãos de Máquinas I e II, Desenho Técnico, Tecnologia Mecânica I e II e Cálculo.

No decorrer deste relatório serão descritas o mais pormenorizadamente possível as diferentes fases desenvolvidas para se poder chegar a uma solução para o projecto proposto.

2.2 - Considerações de projecto:

A concepção de uma plataforma humanóide pressupõe a consideração de três grandes áreas:

- i) a definição dos requisitos físicos e funcionais (i.e., estrutura, dimensões, graus de liberdade) exigidos pelo tipo de aplicação em vista;
- ii) a selecção e integração de hardware e software adequados para alcançar estes requisitos;
- iii) o desenvolvimento de algoritmos eficientes ao nível do controlo, planeamento e percepção (sujeitos aos constrangimentos de tempo real do hardware, do software e das suas tarefas).

A consideração das três áreas mencionadas representa o grande desafio do projecto em curso na Universidade de Aveiro. Para concretizar estes objectivos foram tomadas algumas decisões na fase de projecto. Do ponto de vista dos requisitos físicos e funcionais, as considerações iniciais foram impostas pelas regras do RoboCup (na classe KidSize da liga de humanóide). A adopção desta plataforma teve implicações imediatas nas dimensões do robô, nas exigências de mobilidade, no elevado nível de autonomia exigido e nas tarefas eleitas (equilíbrio estático, andar, virar e chutar uma bola, etc.).

2.3 - Os requisitos da plataforma:

Uma plataforma humanóide em projecto inicial não pode aspirar a ter todos os graus de liberdade que tem o corpo humano! Mesmo assim, descurando os graus de liberdade das extremidades (mãos e dedos, etc.) e focando-se o projecto primeiramente nas questões de locomoção, levando a algumas simplificações, as soluções mais frequentemente adoptadas por outros investigadores impõem geralmente entre 4 e 6 graus de liberdade em cada perna, eventualmente 1 a 2 no tronco, 1 a 2 no pescoço/cabeça, e de 0 a 3 nos braços, ficando de fora as preocupações das mãos onde, mesmo assim, alguns grupos internacionais se têm dedicado.

Para maior versatilidade na locomoção (um forte objectivo deste projecto), decidiram-se 6 graus de liberdade por perna: uma junta universal no pé (2 graus), 1 grau no joelho e uma junta esférica na anca (3 graus). Esta última parte foi uma opção muito ponderada mas, a aspiração à possibilidade de rotação de uma perna para uma mais sofisticada locomoção, impeliu o grupo nessa direcção. Esta formulação de 6 graus de liberdade assemelha-se muito aos graus fundamentais usados no corpo humano. Os dois graus de liberdade no tronco permitem esperar maior flexibilidade para as fases de locomoção (equilíbrio estático), os dois graus de liberdade no ombro podem ajudar a manter o equilíbrio estático mas também na locomoção (dinâmica), 1 no cotovelo e 2 no pescoço (permitindo liberdade para poder obter uma percepção global do meio envolvente). A plataforma humanóide pretendida terá, no final, 22 graus de liberdade, como descrito na tabela 1.

Graus de Liberdade	
Pescoço	2
Braços	3 (2×)
Tronco	2
Anca	3 (2×)
Joelho	1 (2×)
Tornozelo	2 (2×)
Total	22

Tabela 1 - Graus de liberdade da plataforma humanóide.

Três outras questões relevantes são as dimensões, peso e a filosofia geral da estrutura. Em termos de dimensões, tentou-se conseguir um modelo que respeitasse as regras da classe KidSize da RoboCup, actualmente limitado até os 60 cm de altura. É também sentimento no seio de alguns investigadores que este será em limite até ao qual o uso de servomotores de baixo custo poderá servir, dado que acima disso pode ser difícil conciliar binários de motores.

Em relação ao peso do robot, tiveram de se escolher baterias, motores e materiais para os diversos componentes de forma a obter o mínimo peso possível, para assim baixar o binário necessário nos motores.

Na questão da filosofia da estrutura foi preciso optar entre exoesqueleto (carapaça) ou endoesqueleto (notório sobretudo nos membros). Razões de estética, modularidade e acomodação de componentes justificaram já no projecto do ano anterior a via do exoesqueleto com módulos ocultos onde se alojam motores, sensores, cablagens, placas de controlo, etc.

Numa plataforma autónoma são preocupações centrais a autonomia energética e o esquema de controlo (assente numa percepção não menos importante). A obtenção de baterias apropriadas e sobretudo como instalá-las no corpo do robot de forma a não comprometer demasiado as localizações de centros de massa ou momentos de inércia mereceu atenção redobrada.

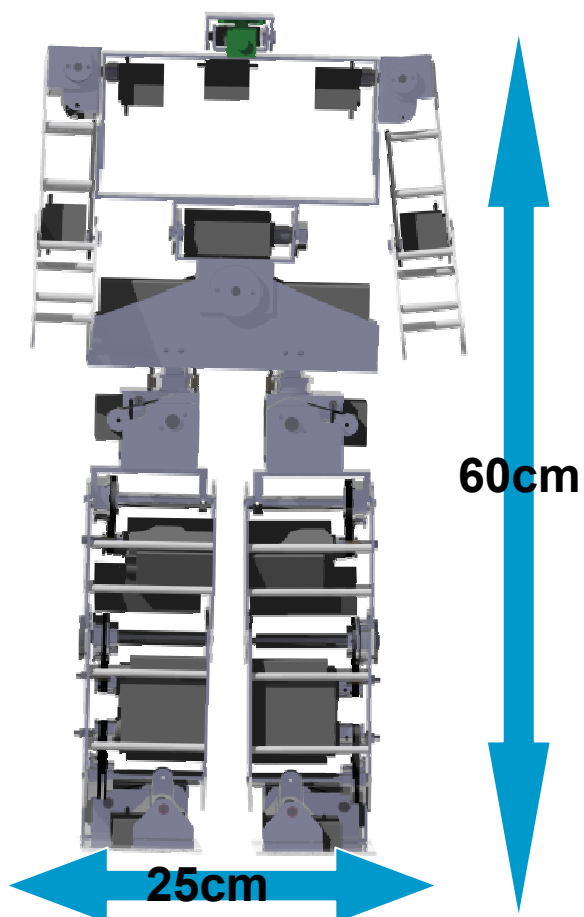


Fig. 3 – Dimensões do robot modelado.

Altura (mm)	600
Largura (mm)	250
Graus de liberdade	22

Tabela 2 – Características principais do robot modelado.

3- Evolução do trabalho desenvolvido

3.1 - Trabalho realizado no ano anterior:

Como este projecto já tinha sido iniciado no ano anterior e é de elevada complexidade, teve-se de tomar conhecimento do trabalho já desenvolvido.

Verificou-se que a informação fornecida pelos diferentes fabricantes de humanóides e universidades envolvidas em projectos deste tipo era bastante limitada. De qualquer forma foi realizado um levantamento que permitisse saber algumas características dos robots já existentes para, desta forma, se começar a definir aspectos essenciais do robot humanóide a desenvolver. Entre estes aspectos salienta-se o número de graus de liberdade, altura, peso, motores, etc., e grande parte deste estudo foi realizado no projecto do ano anterior.

Em seguida, passou-se à parte da montagem e validação do trabalho já feito.

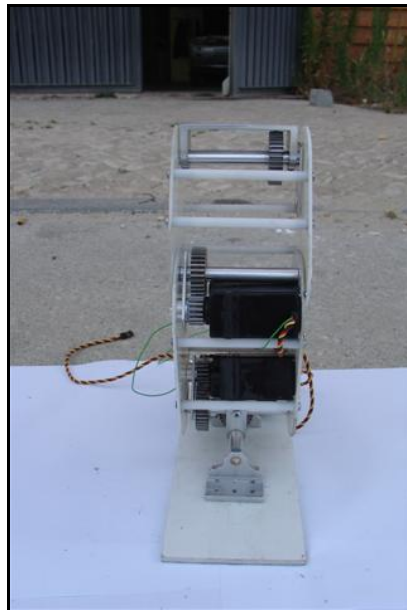


Fig. 4 – Perna direita do Humanóide a criar.

3.2 - Resolução e validação das limitações encontrados:

Aquando da validação, confirmou-se que a estrutura montada no ano anterior era viável, quer em termos de acomodação de componentes mas

também na amplitude dos graus de liberdade. Porém encontraram-se vários pontos a melhorar, tais como:

- Garantir o entre-eixo no pé.

Para solucionar o problema do entre-eixo fez-se a peça da figura 6. peça feita é para substituir a peça que foi feita no ano anterior (figura 5)

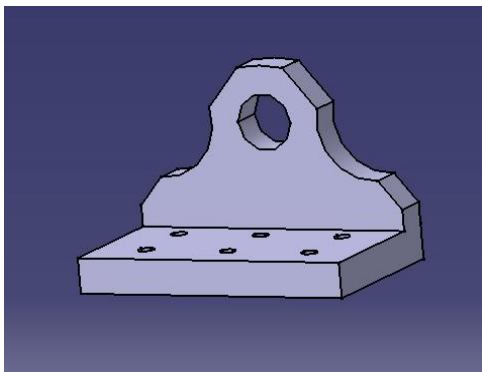


Fig. 5 – Solução do ano anterior.

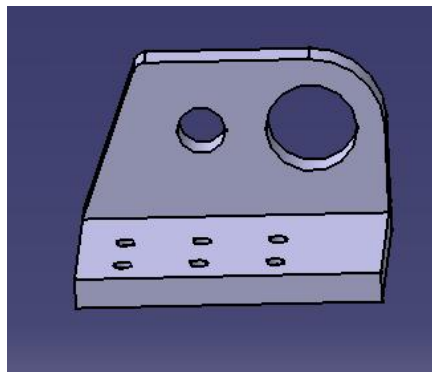


Fig. 6 – Solução para garantir o entre-eixo no Pé.

Como se pode ver na figura 6, a peça idealizada tem dois furos que estão à distância do entre-eixo para as rodas dentadas pretendidas para esta posição (de 12 e 24 dentes com módulo 1), 36mm. Assim apenas é necessário fazer o eixo do motor, ou uma “extensão” do mesmo, passar pelo furo maior e o veio que tem a roda mandada, ser apoiado no furo menor, para se garantir o entre-eixo (ver figura 7).

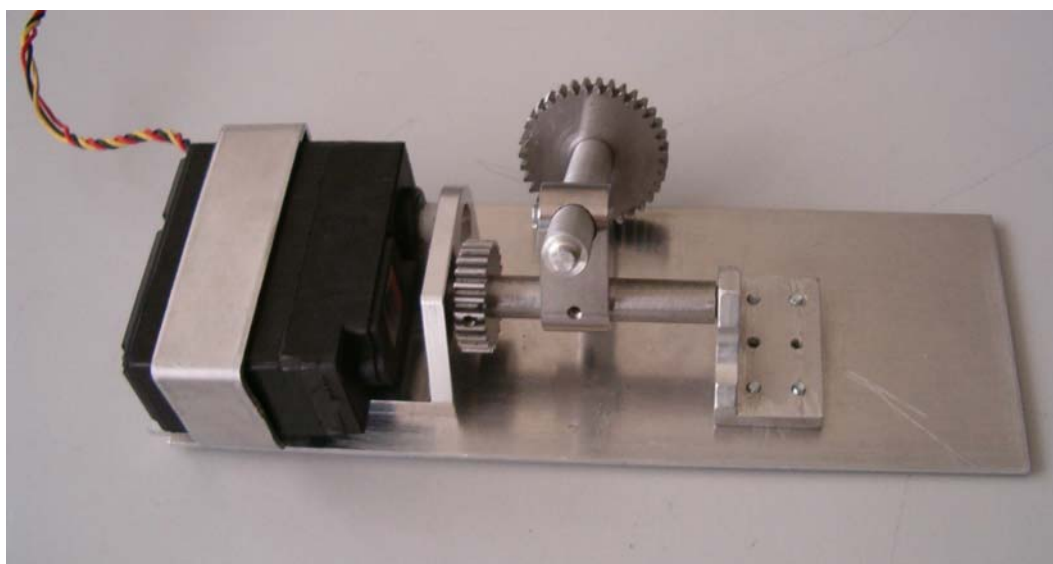


Fig. 7 – Garantir o entre-eixo entre o motor e a roda.

- Garantir que o movimento do motor do joelho era passado para a estrutura, e não houvesse falhas na transmissão. Como o movimento é de rotação, surgiu o problema de passar o movimento do veio (figura 8) para a estrutura.

A 1º solução era a que os colegas do ano anterior propuseram, mas não era de fácil construção. Esta solução consistia em meter uma chaveta (figura 9) a ligação veio roseta (figura 10). Como o veio e de pequenas dimensões era muito difícil meter uma chaveta para garantir que o veio não rode, visto a roseta ser “colada” na placa.



Fig. 8 – Veio do joelho.



Fig. 9 – Chaveta.



Fig. 10 – Roseta com encaixe para chaveta.

A 2º solução era prender o veio à roseta através de um parafuso, só que esta solução não é viável, visto o parafuso poder desaparafusar conforme o sentido de rotação a que estava sujeito.

A 3º solução, que consiste num veio com extremidade em “quadrado” com os cantos boleados (figura 12) para assim passar o movimento do veio para a roseta (figura 11) que está colada à placa exterior, passando o movimento à estrutura. O boleado dos cantos não é algo propositado, visto que o ideal até seria que fossem em ângulo recto para maior superfície de contacto, mas foi uma restrição dos meios disponíveis.

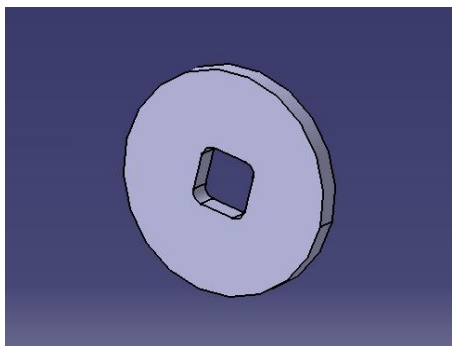


Fig. 11 – Roseta para garantir que se suporta os momentos.

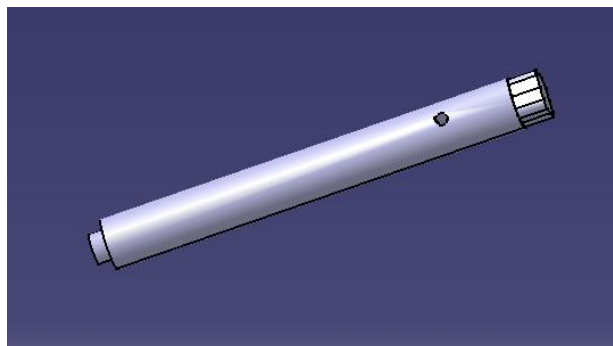


Fig. 12 – Veio para garantir que se suporta os momentos.

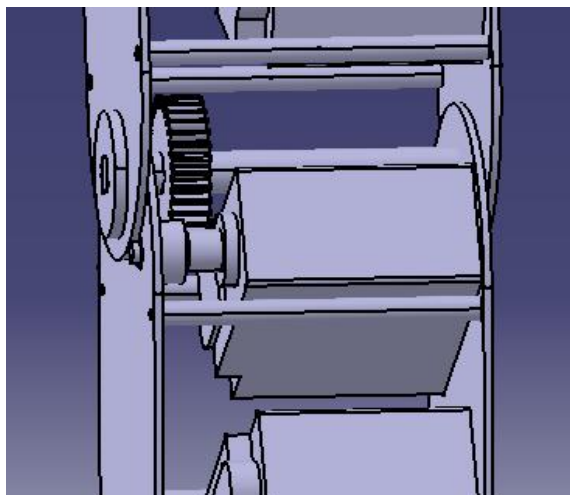


Fig. 13 – Montagem da roseta no veio.

Depois de se construir as peças para melhorar a estrutura existente, passou-se à modelação e montagem das duas pernas e ligação à anca (parte central do robot).

Ao começar-se a fazer a modelação, surgiram muitas dificuldades em seguir o que estava feito do ano anterior. Isto deveu-se ao facto de haver muitos detalhes que faltavam, por ex. as medidas não correspondiam à realidade. Por isso começou-se a modelagem de início. Com a modelagem completa, pode-se fazer um melhor estudo para a solução da anca e de tudo o que ainda não está modelado. A solução encontrada foi a da figura 14:

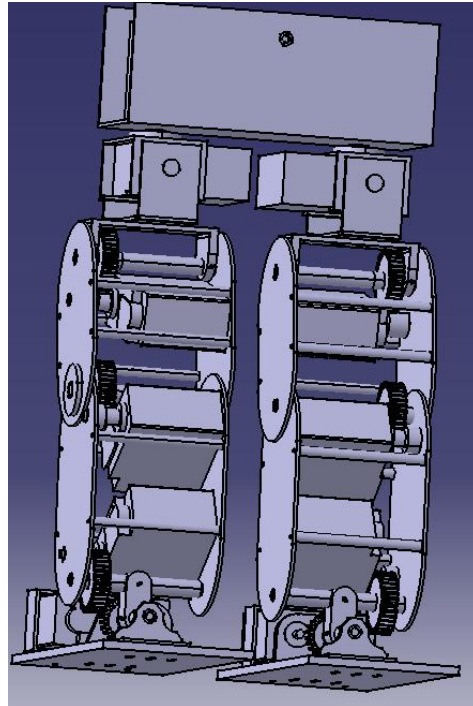


Fig. 14 – Modelagem completa das pernas e anca.

3.3 - Estudo e concepção de soluções para a anca, e ligação à mesma (junta esférica RRR):

Para validar as soluções possíveis para a anca do robot, foram feitas várias simulações no CATIA V5.

Para determinar o tamanho da anca, estudaram-se várias alternativas, para comprimentos de 160, 170 e 180mm. Como se queria que as pernas estivessem o mais próximas possível para se poder aproximar mais da forma humana e ainda ser mais fácil meter o centro de massa sobre os pés, quando se faz o movimento para levantar uma perna. Mas as pernas não podiam ficar muito juntas, porque senão perdia-se mobilidade. Mas também se as pernas estiverem muito afastadas, não se conseguia respeitar as regras concurso RoboCup.

Um dos grandes problemas foi criar a junta esférica, porque teve de se colocar 3 graus de liberdade no menor espaço possível. Estudaram-se várias alternativas, e a mais viável, tendo em conta os motores disponíveis, foi a ilustrada na figura 15. Nesta solução têm-se 3 graus de liberdade, um para

abrir a perna, outro para levantar a perna à frente e o outro roda a perna em torno do eixo longitudinal. Com a solução que se obteve garantiram-se os três graus de liberdade necessários, num espaço reduzido.

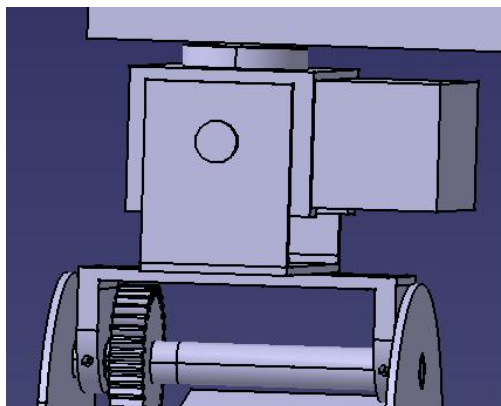


Fig. 15 – Junta rotacional.

Depois de se conceber esta solução, procedeu-se à montagem das duas pernas ligadas já ao primeiro protótipo para a anca, que não era mais que duas chapas quinadas ligadas entre si, formando uma caixa, aberta nos topos (figura 16).

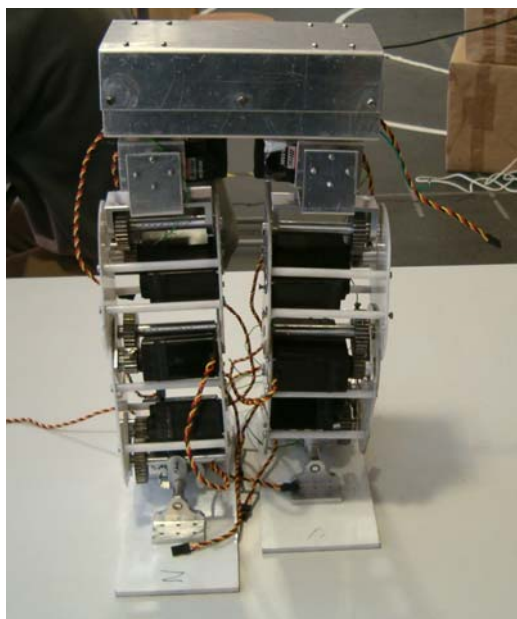


Fig. 16 – Montagem das pernas e anca.

Nesta solução, a transmissão de movimento da anca para as pernas é feita apenas pelo veio do motor; o veio ficará assim sujeito a elevados momentos de torção quando a perna estivesse no ar porque todo o peso da perna estaria por ele suportado.

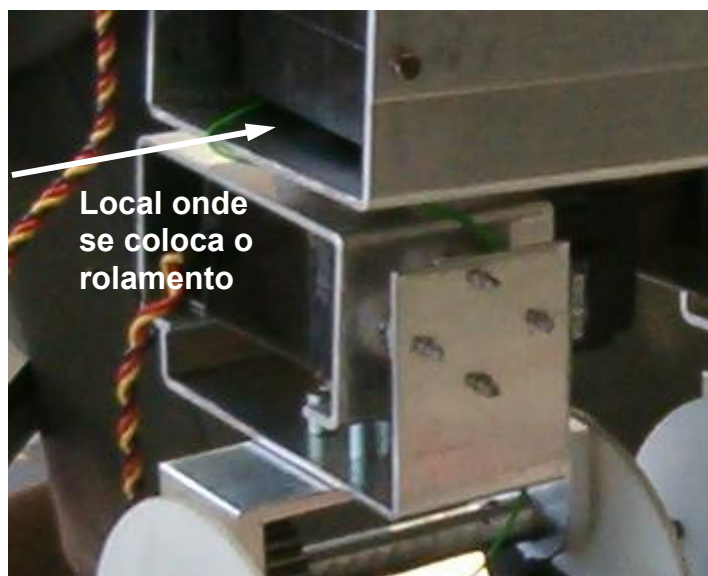


Fig. 17 – Torção no motor da anca.

Para se solucionar esta limitação, optou-se por colocar um rolamento de esferas axial, que é fixo à anca e à perna para assim os esforços de torção serem aplicados no rolamento e não no veio do motor da anca.

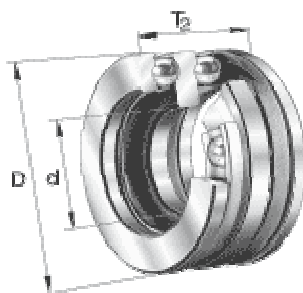


Fig. 18 – Rolamento axial de esferas.

A limitação desta solução é que o peso de toda a perna continuaria a ser exercido sobre o veio do motor quando a perna estivesse o ar. Como o peso é elevado (2 kg), o veio do motor de plástico poderia não suportar o esforço.

3.4 - Remodelação e alteração de alguns componentes estruturais:

-Remodelação dos adaptadores para os motores:

- Pé ao lado - este adaptador foi alterado para assim ser melhor a transmissão de movimento do motor para o veio do pé.



Fig. 19 – Adaptador para o motor do pé.

- Tornozelo e joelho - estes apoios são colados às rodas dentadas de 17 dentes. Os existentes eram demasiado grandes e não tinham medidas exactas, pelo que tiveram de ser refeitos.



Fig. 20 – Adaptador para os motores do tornozelo e joelho.

- Anca à frente - estes apoios são colados às rodas dentadas de 17 dentes. Os existentes eram demasiado grandes e não tinham medidas exactas, pelo que tiveram de ser refeitos.



Fig. 21 – Adaptador para o motor da anca à frente.

- Alteração do material no veio e roseta do joelho:

Esta alteração foi necessária devido aos momentos existentes no veio do joelho. Como o movimento é rotacional, levava ao desgaste do veio e da roseta em alumínio, daí decidir-se alterar o material do veio e roseta para aço de construção. A sua densidade é muito mais elevada do que a do Alumínio, mas como as peças são pequenas, optou-se por ganhar mais um pouco de peso (prejudicial) mas ficar com maior resistência ao desgaste devido à fricção no contacto das peças.

- Alteração da posição do motor da anca à frente:

Como o motor “batia” na estrutura ao fazer movimento de levantar a coxa para $\alpha = 21^\circ$, teve-se de alterar a posição do motor e colocou-se o motor na vertical, mas para isso tiveram de se aumentar as placas laterais, porque o motor não cabia nesta nova posição.

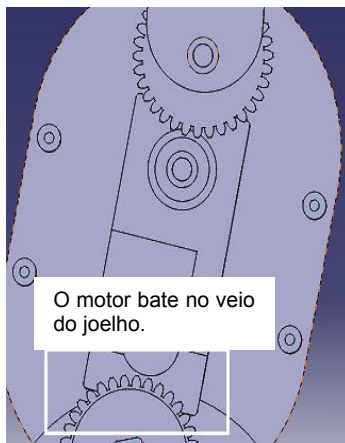


Fig. 22 – Motor da coxa a chocar com o eixo do joelho.

A solução final para a coxa, já com o afastamento necessário para o motor poder ficar na vertical, está representada na figura 23.

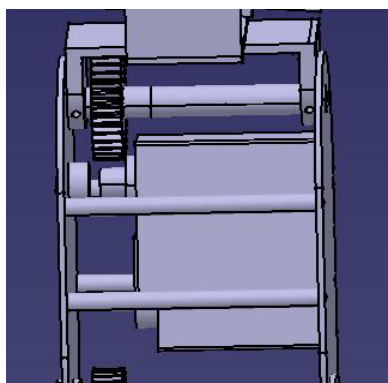


Fig. 23 – Montagem final do motor da coxa.

- Alteração da junta esférica:

Como com a junta rotacional projectada não se conseguia ter ângulos de abertura de perna muito grandes, foi preciso alterar a peça de ligação da perna à anca.



Fig. 24 – Alteração da junta esférica.

3.5 - Alteração da estrutura de nylon para alumínio:

Como o material (nylon) usado na estrutura se mostrou muito flexível quando os motores actuavam, forçando a estrutura a ceder e fazendo com que os veios se soltassem, tiveram de se estudar outras alternativas.

O alumínio corrente foi a melhor alternativa em termos de relação resistência / peso para a situação, já que a alternativa seria fibra de carbono, mas esta, para além de ser mais cara, seria difícil de maquinar.

O alumínio mostrou-se muito mais resistente à flexão e mais viável que o nylon quanto ao outro aspecto importante, o peso, verificasse que a densidade do alumínio ($\pm 2,42 \text{ g/cm}^3$) não é muito superior à do nylon ($\pm 1,56 \text{ g/cm}^3$), logo não iria afectar muito o peso final da estrutura. Por isso decidiu-se trocar toda a estrutura feita em nylon (figura 25) por alumínio (figura 26).

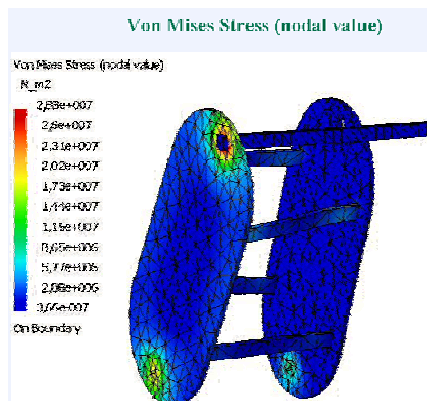


Fig. 25 – Tensão de Von Mises para a estrutura antiga da perna.

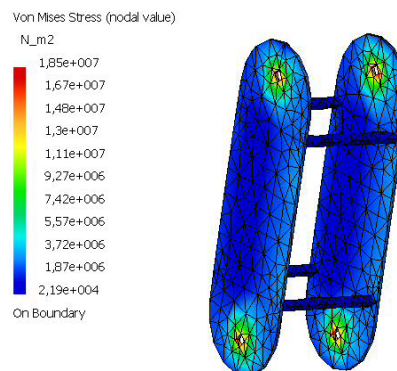


Fig. 26 – Tensão de Von Mises para a nova estrutura da perna.

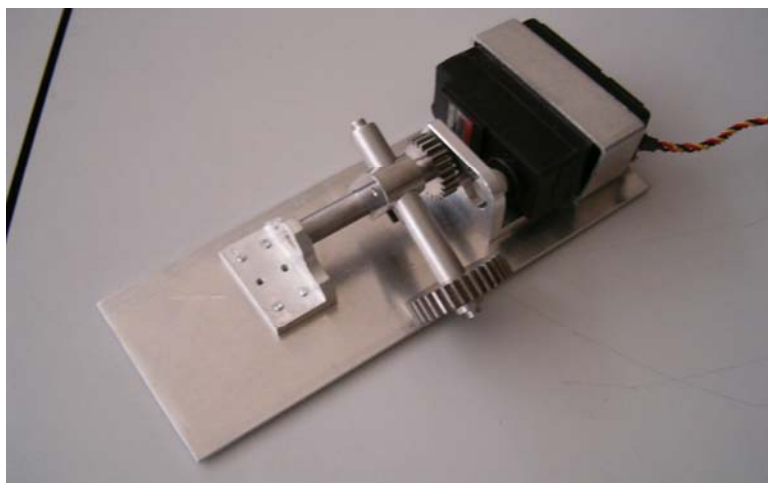


Fig. 27 – Montagem do pé.

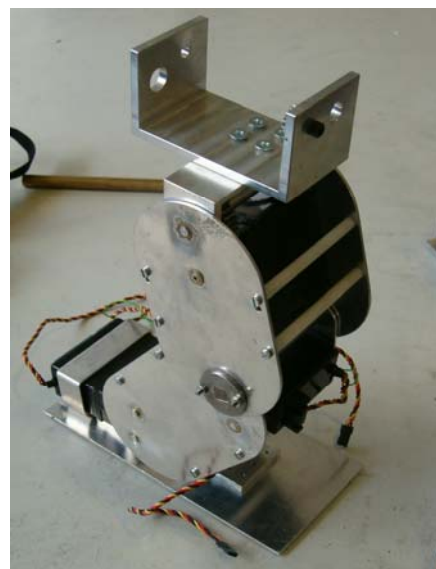


Fig. 28 – Montagem da perna.

Para se poder ter um robot autónomo, teve-se de pensar numa solução que tivesse uma zona onde se pudesse alojar as baterias, placas de distribuição de energia, passagem dos cabos, etc. Como essa zona ficaria muito “densa”, ou seja, muitos componentes em pouco espaço, teve-se de meter no local mais baixo possível, para assim o centro de massa do robot ser o mais baixo possível (por causa da estabilidade). Nos pés não podia ser visto não haver espaço para isso, tal como nas pernas; o local escolhido foi a anca, porque é a ligação entre as pernas e o tronco. A solução validada foi a da figura 29.

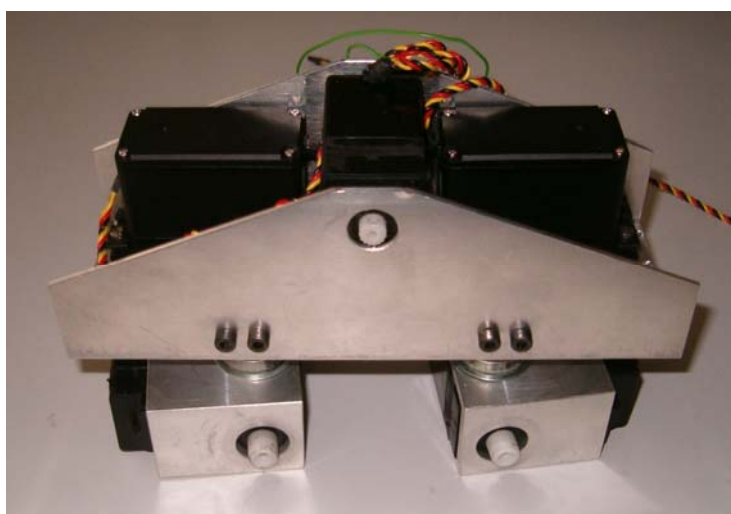


Fig. 29 – Solução da Anca.

As pernas estão ligadas à anca através de um veio em aço, sendo este veio suportado na anca por dois rolamentos e fixo às pernas por um parafuso M3. Garante-se que este parafuso não desaparafusa, quando sujeito a esforços de rotação, graças a 2 parafusos umbraco que estão aparafusados na peça e nas polias.

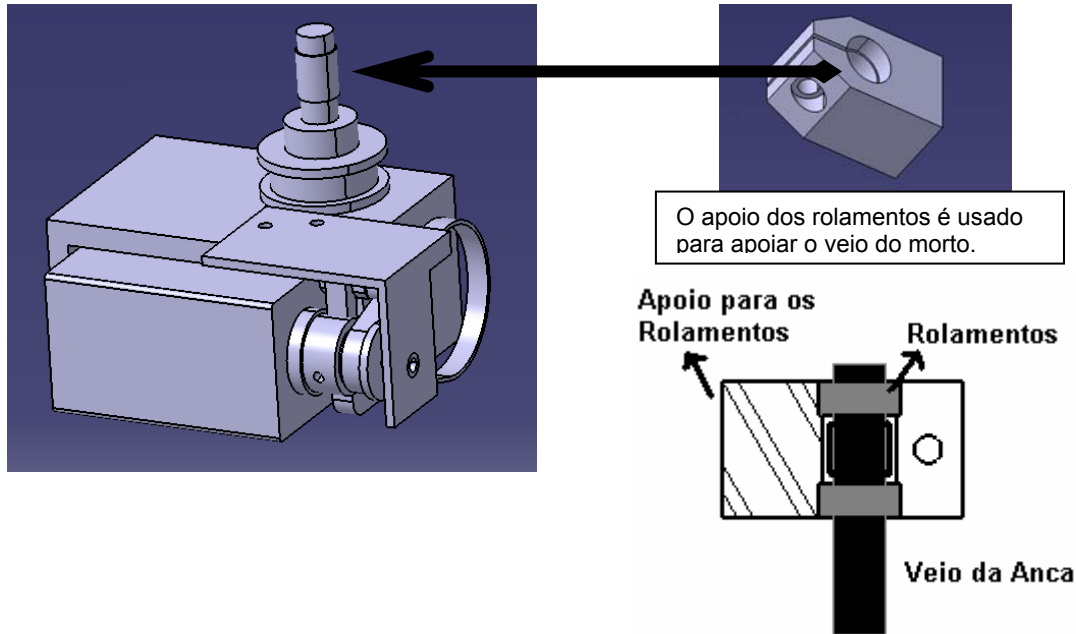


Fig. 30 – Solução da ligação das pernas à barra anca.

3.6 - Soluções encontradas para o tronco e braços:

Esta parte do robot não é tão complexa como as pernas ou anca, porque:

- tem menos graus de liberdade, já que não se idealizou nenhuma junta esférica (RRR), porque a complexidade, acréscimo de peso e de dimensões não traziam grande contributo ao objectivo do projecto, a locomoção;
- a transmissão de movimento é directa, ou seja, o movimento é passado do motor directamente para a estrutura. Foi possível utilizar accionamento directo porque os binários nestas juntas não eram elevados.

As considerações importantes a ter em conta na parte do tronco, incluindo braços, pescoço e cabeça, são :

- ter espaço para a unidade de controlo, baterias , placas e etc.;
- ser leve e resistente;
- ter mobilidade para facilitar a locomoção;
- ser esteticamente aceitável;
- ter altura de modo a estar dentro das regras da classe KidSize da RoboCup.

As soluções ponderadas foram:

- 1- Solução simplificada, um grau de liberdade na cintura.

Nesta hipótese apenas se tem um grau de liberdade na ligação anca-tronco (cintura). Este grau faz o tronco oscilar para os lados.

O tronco é constituído por uma estrutura de suporte, dois braços, pescoço e cabeça (câmara).

Na parte da estrutura virão a ficar mais tarde os controladores, o controlador principal e outras placas. De momento, os braços só têm um grau de liberdade, e servem para ajudar no equilíbrio quando o robot está em movimento.

Na cabeça há dois graus de liberdade, um para inclinar para cima/baixo a câmara e o outro para a poder rodar para os lados. Estes dois graus de liberdade poderão dar grande facilidade para a captura de imagens do meio envolvente para posterior tratamento.

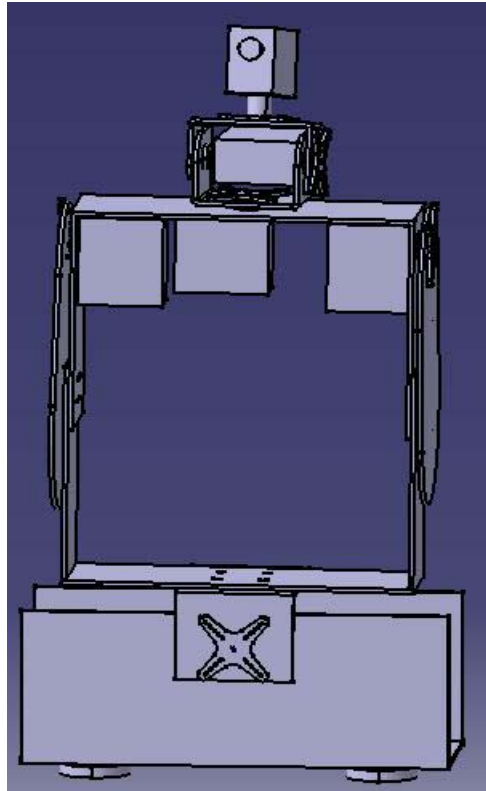


Fig. 31 – Solução simplificada para o tronco.

As vantagens desta solução são:

- o facto de ser de fácil concepção;
- ligação anca-tronco com dimensões reduzidas.

A desvantagem é:

- o facto de só ter um grau de liberdade, o que só permitiria rodar o tronco para os lados, logo não poder ajudar a locomoção com o movimento para a frente e atrás.

2- Solução com dois graus de liberdade na cintura.

Nesta hipótese há dois graus de liberdade na ligação anca-tronco (cintura). Um grau faz o tronco rodar para os lados e outro que faz o tronco inclinar para frente – atrás.

O tronco seria igual a da primeira hipótese.

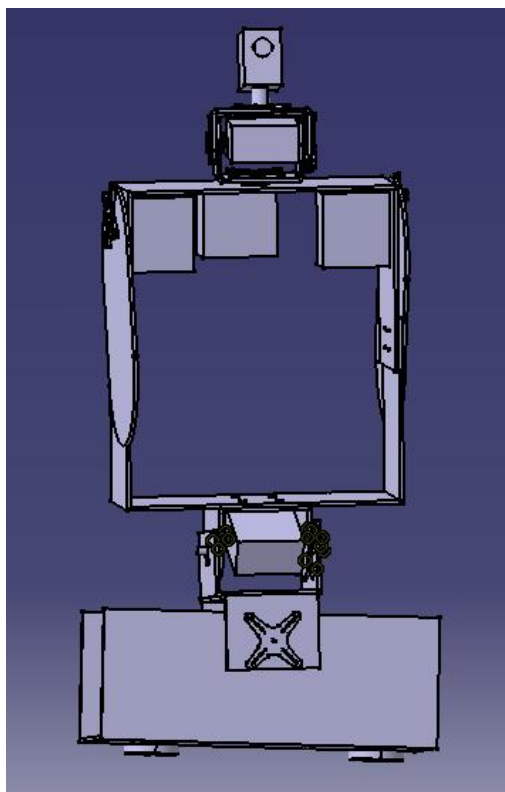


Fig. 32 – Solução para o tronco, com rotação lateral e frontal.

A vantagem desta solução é:

- maior facilidade em manter o equilíbrio, porque se pode jogar com a posição do centro de massa em dois eixos distintos, ajudando na locomoção.

As desvantagens são:

- Ficar com a ligação anca-tronco com dimensões maiores, logo ficaria mais difícil garantir a altura máxima para o RoboCup2006 na classe KidSize (60cm) ;
- o facto de não ser de muito fácil concepção, visto ter dois graus de liberdade;
- aumentar o peso.

A solução escolhida foi a segunda visto ser a mais versátil. Como no futuro o robot irá ter uma locomoção dinâmica, a cintura com dois graus de liberdade facilitará o equilíbrio dinâmico. Uma alteração que se efectuou, em relação às primeiras hipóteses (figura 33), foi a cabeça. Para se poder

participar no RobCup2006 na classe KidSize, a altura máxima do robot é 60 cm, e como nas pernas, anca, cintura e tronco não se podia diminuir mais, teve de se repensar a solução da cabeça, e chegou-se a esta solução, em vez de meter a câmara na parte superior da estrutura da cabeça, optou-se por se meter na parte de baixo, ganhando assim cerca de 2cm, como se mostra na figura 34.

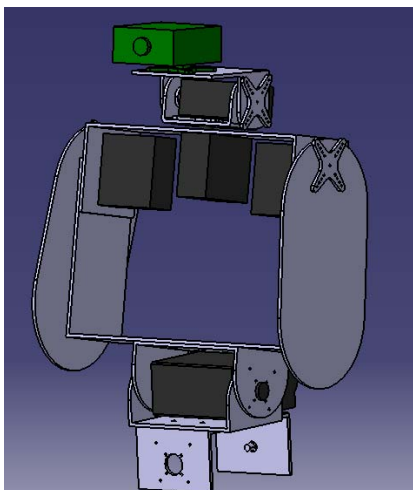


Fig. 33 – Solução possível para cintura e cabeça.

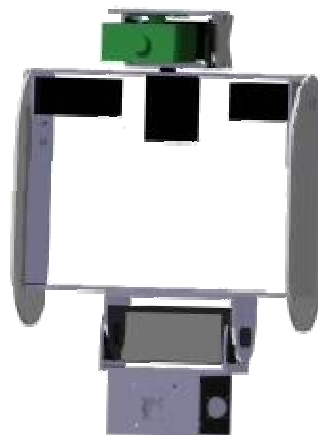


Fig. 34 – Solução final para a cintura e cabeça.

Quanto aos braços, inicialmente eram para ter somente um grau de liberdade como se exemplifica nas figuras 33 e 34 , mas como havia motores e material, decidiu-se modelar e conceber uma solução mais completa. A solução a que se chegou foi dois graus de liberdade no ombro, junta universal (RR) e uma junta rotacional simples (R) no cotovelo (figura 35).

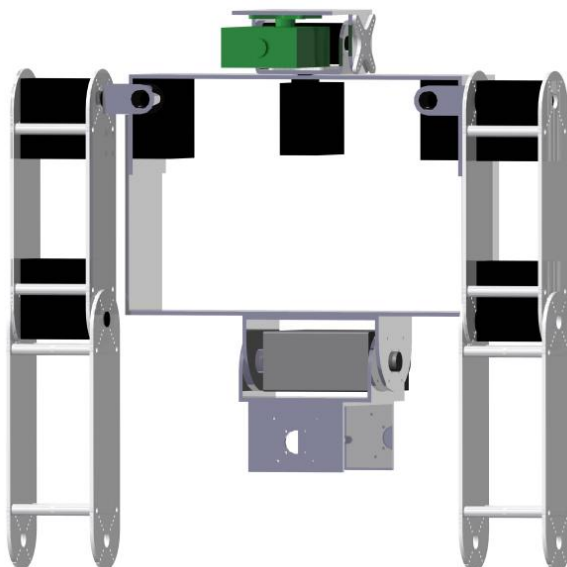


Fig. 35 – Braços com três graus de liberdade.

Para se poder ter os braços na vertical, na posição de descanso, teve-se de aumentar a largura do tronco previamente concedida, ficando no final com 180mm.

3.7- Troca da transmissão de rodas dentadas para transmissão por correias:

Aquando da validação da solução das pernas e anca, viu-se que com a transmissão por rodas dentadas não se podia garantir uma estrutura sem folgas, porque se usavam rodas dentadas de módulo 1, e com pouco dentes (12,17, 24 e 35 dentes), logo, mesmo garantindo o entreixo, não se conseguia eliminar a folga porque a cada dente da roda correspondia um grande ângulo:

Vai-se exemplificar o cálculo para a determinação da amplitude de um dente para a roda de 17 dentes:

$360^\circ / 17 \text{ dentes} = 21.18^\circ/\text{dente}$ → Valor muito grande, assim é difícil de garantir que não haja folgas.

Assim mudou-se a transmissão, e a solução encontrada foi a transmissão por correia dentada. Esta solução mostrou-se válida porque além de diminuir o peso de estrutura (visto as rodas dentadas são em aço com densidade 7.8 g/cm³ e as polias em alumínio com densidade 2.7 g/cm³), também é mais fácil a colocação dos motores, porque se tem mais possibilidades de colocação, visto não ser necessário garantir o entreixo entre as polias, porque podem esticar-se as correias, usando um ou dois esticadores, fazendo assim desaparecer as folgas na transmissão, ou usar correias de dimensões variadas



Fig. 36 – Correias usadas.



Fig. 37 – Polias em alumínio.

Ao montar as polias pequenas, as de 16 dentes, deparou-se um problema: o acoplamento da polia ao motor, visto o diâmetro necessário para se encaixar o motor na polia ser aproximadamente 10 mm e o diâmetro exterior da polia ser de 12mm. A solução encontrada foi fazer uns apoios de ligação em alumínio do motor à polia. Na figura 38 exemplifica-se a montagem do apoio.

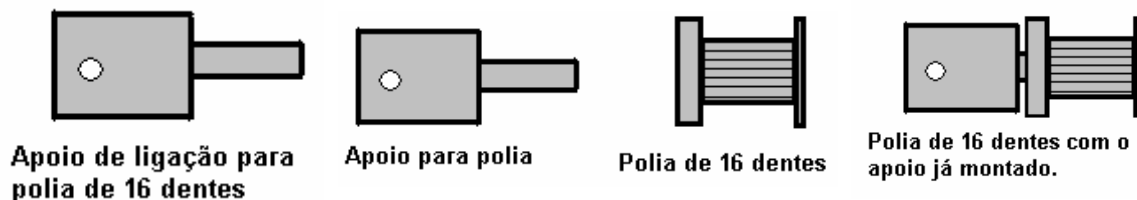


Fig. 38 – Sequencia de montagem do apoio para polia de 16 dentes.



Fig. 39 – Montagem final das pernas, já com a transmissão por correia.

Em seguida procedeu-se a ligação das duas pernas, ou seja, ligaram-se as duas pernas à anca de modo a se poder começar os testes (figura 40).

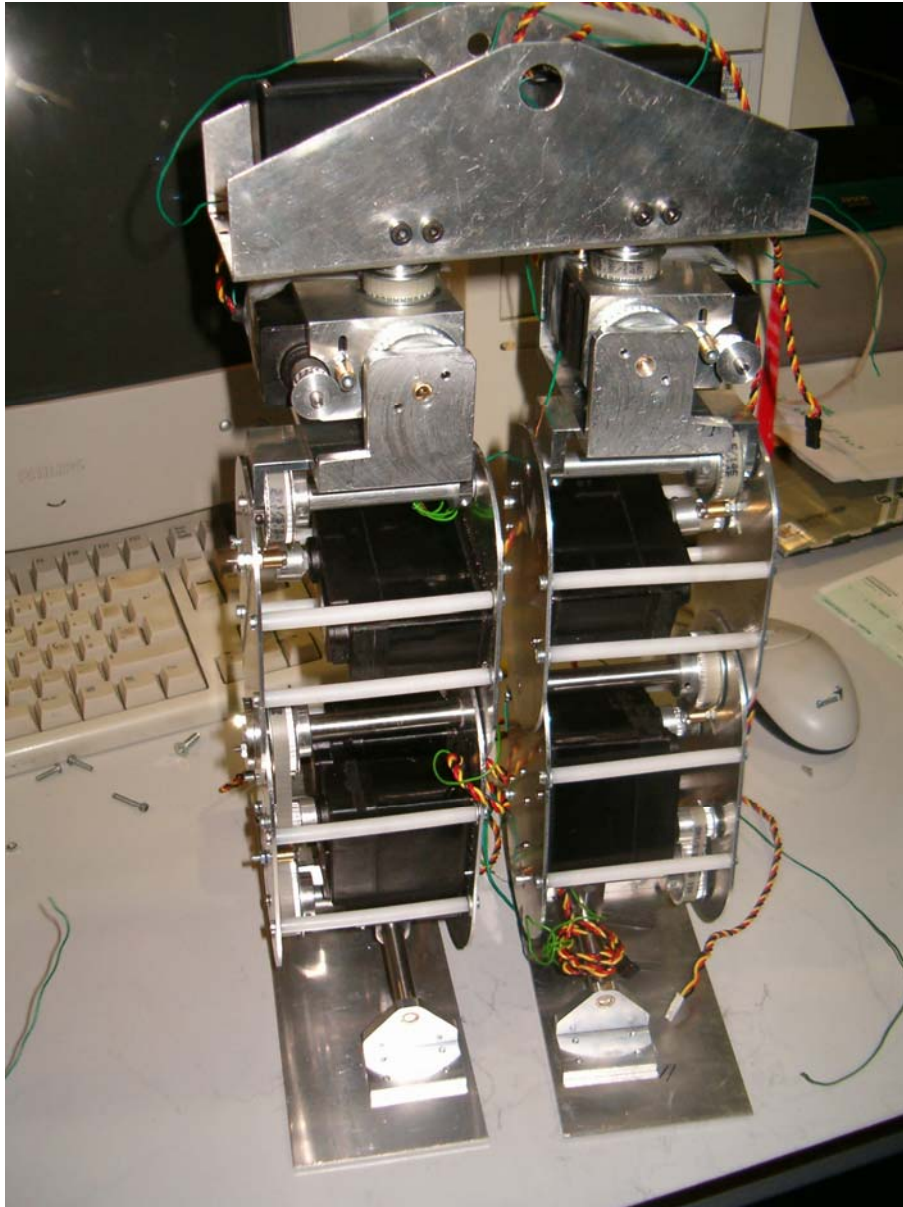


Fig. 40 – Montagem final da estrutura inferior.

4 - Escolha dos componentes

4.1 - Motores e transmissões:

A selecção de motores e mecanismos de transmissão esteve presente desde os primeiros passos do trabalho. Dada a necessidade de encontrar um bom compromisso de projecto, foram realizadas simulações do comportamento estático bem como do comportamento dinâmico do sistema. Neste sentido, fizeram-me diversas simulações estáticas sujeitas a variações de parâmetros (dimensões e massas) e avaliaram-se os momentos exigidos aos actuadores.

Os resultados obtidos com os valores de massas e dimensões definitivas variam, naturalmente, consoante as configurações do robot. As situações exploradas cobrem essencialmente a postura vertical de repouso e algumas configurações do passo de locomoção. Esses estudos foram feitos num contexto mais largo, e podem ser parcialmente observados na Tabela 4 mais à frente no texto. Lá pode-se ver que o caso mais exigente ocorre nos momentos em articulação lateral na anca e no pé (valores maiores que 2 Nm). Assim, dos desenhos, e levando em conta a disponibilidade comercial, resultou que os motores adequados, pelo seu peso, preço e binário, seriam servomotores de posição da HITEC em 3 motorizações distintas (Tabela 3).

Componente	Modelo	P (g)	Binário (Nm)
Motor pequeno	HS85BB	19.8	0.35
Motor médio	HS75BB	110	0.80
Motor grande	HS815BB	152	2.26

Tabela 3 – Servomotores escolhidos.

Observa-se da tabela 3 que a disponibilidade de binário é, no máximo, de 2.26 Nm, o que vai obrigar ao uso de sistemas de redução mecânica para obtenção dos binários suficientes. Assim, alguns dos acoplamentos foram mesmo feitos com recurso a polias para incremento de binário. Nas situações mais críticas, movimento lateral da anca e movimento do joelho, e também no pé (tornozelo), foram usadas transmissões por correia utilizando uma relação de transmissão de 2:1 e 2,2:1 aumentando a disponibilidade de binário para aproximadamente 4-5 N/m, e assegurando um coeficiente de segurança de 2

ou mais para todas as juntas actuadas. Na junta mais crítica, a da anca, teve de se aumentar a razão de transmissão para 3.75, para assim poder ter um coeficiente de segurança 2.

A opção por servomotores explica-se por várias razões: sistema integrado com realimentação, caixa redutora integrada, controlo em posição simples e standard, produto comum e de fácil substituição.

Motor / Junta	Θ_1 [°]	T_1 [N.m]	Θ_2 [°]	T_2 [N.m]	Θ_3 [°]	T_3 [N.m]
Pé 1 lateral	0.0	2.37	7.1	0.98	7.1	0.96
Pé 1 frente	4.7	0.30	10.1	0.20	10.1	0.04
Joelho 1	10.1	0.76	21.8	1.17	21.8	1.01
Anca 1 frente	5.4	0.35	11.7	0.30	11.7	0.14
Anca 1 lateral	0.0	2.26	7.1	2.57	7.1	2.55
Pé 2 lateral	0.0	0.00	7.1	0.00	7.1	0.00
Pé 2 frente	4.7	0.12	10.1	0.12	16.4	0.12
Joelho 2	10.1	0.17	21.8	0.23	41.9	0.30
Anca 2 frente	5.4	0.07	11.7	0.02	25.6	0.14
Anca 2 lateral	0.0	0.01	7.1	0.30	7.1	0.29

Tabela 4 – Momentos nos motores mais relevantes para três configurações ao longo de um passo. Assinalam-se os momentos mais exigentes.



Fig. 41 – Correias usadas.



Fig. 42 – Polias em alumínio.

4.2 - Baterias e autonomia:

Os motores precisam de ser alimentados a cerca de 6V e os seus consumos variam muito consoante o modelo e o binário que cada um têm de despende. Todavia, não é invulgar que um servomotor de 2 Nm de binário possa estar a consumir 1 A de corrente. Daqui resulta uma enorme exigência

em termos de baterias, nomeadamente por questões de autonomia e regime sustentado de corrente debitado.

Além da elevada capacidade, as baterias devem ser leves e compactas. Também deverão ter fácil ligação (para fácil substituição). Da grande variedade de modelos existentes, escolheram-se as 4LI-2400 da MAXX Products. Assim, serão usadas duas destas baterias em paralelo de modo a conseguir-se 9.6 Ah com 7.2V. As suas características principais estão na tabela 5:

Característica	Valor
Modelo	4LI-2400
Tensão	7.2 V
Capacidade	4800 mAh
Corrente Max. sustentada	9.6 A
Dimensões (mm)	37 × 37 × 65
Peso (g)	176

Tabela 5– Características das baterias.



Fig. 43 – Carregador de baterias de lítio.



Fig. 44 – Bateria 4LI-2400.

4.3 - Rolamentos:

Para a solução da anca, teve de se garantir que o veio que sustenta todo o peso da perna pudesse rolar sem atrito mas, ao mesmo tempo, tivesse

suspenso na anca de modo a sustentar a perna. A solução foi criar uma peça que tivesse dois rolamentos que servem de suporte ao veio.

A peça é constituída por dois rolamentos, um em baixo e outro em cima. O rolamento de baixo serve para quando a perna está no ar não cair, serve de suporte ao veio da anca. O outro, o de cima, serve para quando a perna está apoiada não ceder.



Fig. 45 – Rolamento de esferas.

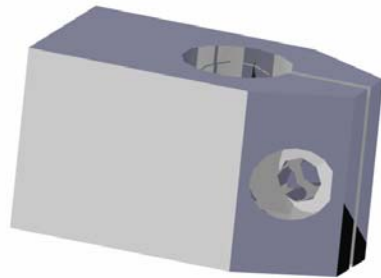


Fig. 46 – Apoio dos rolamentos para o veio da anca.

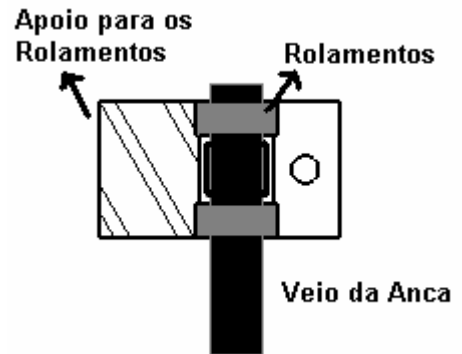


Fig. 47 – Vista de corte do apoio dos rolamentos para o veio da anca.

5 - Análise Estática

Algo que também se tornou necessário a certo momento, foi fazer uma análise estática dos momentos em cada junta quando o robot se encontrasse nas mais diversas configurações, bem como fazer uma abordagem, ainda que simplificada, de padrões de locomoção. No trabalho do ano anterior já tinha sido feito uma tentativa de análise dinâmica, mas a complexidade e falta de clareza do programa levou a que fossem questionados os seus resultados.

Assim optou-se por uma análise apenas estática e quando chegasse a altura de colocar a dinâmica em prática, esta seria baseada em experiências que se tentariam otimizar.

Em síntese, era necessário idealizar alguns padrões de locomoção (teóricos) e extrair quais os ângulos e momentos em cada junta, mas o programa ao mesmo tempo devia ser fácil de usar (cinemática inversa) e fácil de corrigir (ter ficheiros simples para actualizar quando houvessem alterações de dimensões ou massas).

Para tal, foi elaborado um programa em MatLab que se encontra explicado em maior detalhe no anexo “Cinemática inversa, análise estática e validade de padrões de locomoção”.

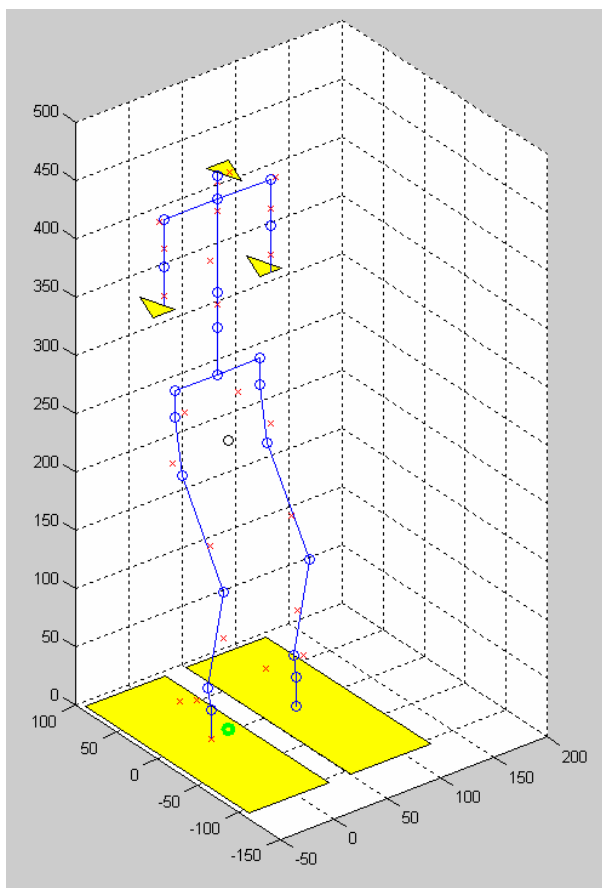


Fig. 48 – Imagem obtida no programa feito para análise estática.

As simulações foram feitas partindo do paralelismo entre o robot (apoiado sobre uma perna) e um manipulador (apoiado sobre uma base fixa), pelo que se simularam 4 “manipuladores”:

$$\text{Ref}(n) = \text{Ref}(n-1) \times A(n), \quad A(n) = \text{Rot}(z, \theta) \cdot \text{Trans}(0,0,d) \cdot \text{Trans}(l,0,0) \cdot \text{Rot}(x,\alpha)$$

- manipulador B (baixo) apoiado no pé de apoio e tem por segunda extremidade o pé livre;
- manipulador C (cima) apoiado no centro da anca e tem por extremidade a cabeça;
- manipulador D (direita) apoiado no tronco (à altura dos ombros) e tem por segunda extremidade a mão direita;
- manipulador E (esquerda) apoiado no tronco (à altura dos ombros) e tem na segunda extremidade a mão esquerda;

5.1 - Cinemática inversa:

Devido às redundâncias na cinemática inversa das pernas (12 DOF), impuseram-se as seguintes restrições:

- a anca está sempre paralela ao chão, não permite inclinação:

- nem ao lado: $J_5 = J_1 = \theta_1$

- nem à frente: $J_2 = -J_3 - J_4 = -\theta_2 - \theta_3$

- o segundo pé está sempre paralelo ao chão, não permite inclinação:

- nem ao lado: $J_8 = J_{12} = \theta_1$

- nem à frente: $J_{11} = -J_{10} - J_9 = -\theta_5 - \theta_4$

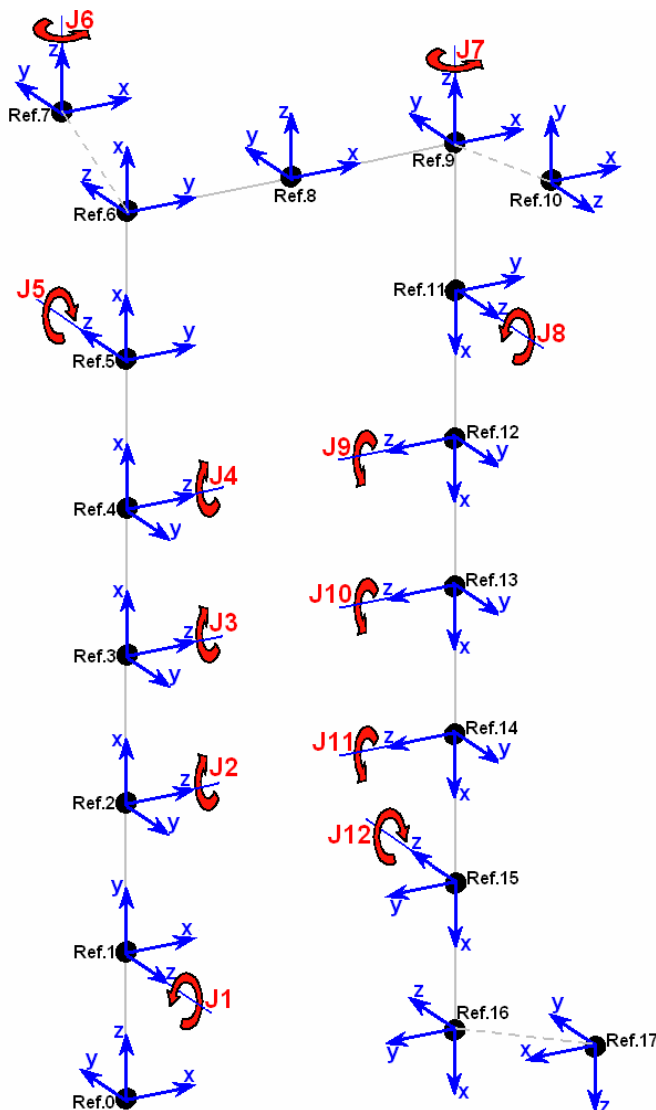


Fig. 49 – Esquema para a cinemática inversa das pernas.

De referir ainda que a rotação das pernas (que permite a mudança de direcção) não é introduzida logo de início, porque não influencia o cálculo dos outros 10 ângulos.

Assim conseguem-se reduzir os 10 graus de liberdade do movimento rectilíneo (as juntas J1 a J12, excepto J6 e J7) para 5 variáveis (θ_1 a θ_5), que são calculáveis com as 5 restrições da posição da anca em X, Y e Z, e da altura (Z) e avanço (Y) do segundo pé.

O cálculo da inclinação ao lado é directo:

$$\theta_1 = \text{atan}(-\text{Anca}_x / \text{Anca}_z)$$

Para saber os ângulos θ_2 e θ_3 , sabendo θ_1 , é um sistema de duas equações com duas incógnitas:

$$\begin{aligned} -\text{Anca}_y &= L_4 \cdot S(\theta_3) + L_3 \cdot S(\theta_2 + \theta_3) \\ \text{Anca}_z &= [L_1 + L_6] + [L_2 + L_5] \cdot C(\theta_1) + [L_4/2] \cdot [C(-\theta_1 + \theta_3) + C(\theta_1 + \theta_3)] + [L_3/2] \cdot [C(-\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + C(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)] \end{aligned}$$

Para obter os ângulos θ_4 e θ_5 , sabendo θ_1 , θ_2 e θ_3 , é têm-se duas equações com duas incógnitas:

$$\begin{aligned} -\text{Pe}_y &= [L_3] \cdot [S(\theta_2 + \theta_3) - S(\theta_4 + \theta_5)] + [L_4] \cdot [S(\theta_3) - S(\theta_4)] \\ \text{Pe}_z &= [L_4/2] \cdot [C(\theta_1 - \theta_3) + C(\theta_1 + \theta_3) - C(\theta_1 + \theta_4) - C(\theta_1 - \theta_4)] + [L_3/2] \cdot [C(\theta_1 - \theta_2 - \theta_3) + C(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) - C(\theta_5 + \theta_1 + \theta_4) - C(\theta_5 + \theta_1 - \theta_4)] \end{aligned}$$

Entenda-se: Pe_y e Pe_z é a posição pretendida para o pé livre em y e z;
 Anca_x , Anca_y e Anca_z é a posição pretendida para a anca em x, y e z
 θ_1 a θ_5 são incógnitas;
 L_1 a L_5 são os comprimentos dos elos;
C significa co-seno;
S significa seno;

Assim conseguiu-se ficar apenas com 5 incógnitas, algo que é fácil inverter: fazendo restrições à anca (X- à frente; Y- ao lado; Z- altura) e ao pé livre (X- à frente; Z- altura).

O cálculo dos momentos estáticos nos motores foi conseguido sabendo o referencial (posição e orientação) de cada motor e as posições (bem como as massas) de cada elo: cálculo vectorial.

Perna de apoio ($i \leq 8$):

$$\begin{aligned} & \text{n}^\circ \text{ elos} \\ \text{Mi} &= \sum_{k=i} [(\text{cm}_{(1:3,k)} - \text{origem}_{(1:3,i)}) \times P_{(k)}] \end{aligned}$$

Perna livre ($i \geq 9$):

$$M_i = \sum_{k=i}^{17} [(cm_{(1:3,k)} - origem_{(1:3,i)}) \times P_{(k)}]$$

5.2 - Validade de padrões de locomoção:

A validade de padrões de locomoção, só foi averiguada de forma estática (este estudo é apenas estático), isto é, se a cada instante a projecção do centro de massa global (círculo verde na figura 48) está sobre o pé de apoio ou, se estiverem ambos os pés no chão, entre eles.

Assim o utilizador apenas precisa de introduzir em “Executavel.m” a configuração pretendida em:

```
pfinal=[ -40 % Deslocamento pretendido da anca em x;
         0   % Deslocamento pretendido da anca em y;
        310 % Altura pretendida para a anca;
         0   % Deslocamento pretendido do 2º pé em x;
        0]; % Altura pretendida para o 2º pé;
```

Exemplo de um “passo” (30mm) validado:

FASE	Posição anca (X, Y,Z) [mm]	Ângulos ($\theta_1, \dots, \theta_5$) [°]	Momentos [N.m] (perna de apoio)
Posição central	0; 0; 310	0; -45; 24; 24; -45	2.1 ; 0.0; 1.8; 0.2; 2.0
Inclina ao lado direito	-40; 0; 310	7; -42; 23; 23; -42	0.9; 0.0; 1.6; 0.2; 2.3
Levanta pé esquerdo (20mm)	-40; 0; 310	7; -42; 23; 36; -67	0.9; 0.1; 1.6; 0.1; 2.3
Leva pé esquerdo à frente (30mm)	-40; 5; 310	7; -42; 21; 43; -65	0.9; 0.5; 1.3; 0.1; 2.3
Apoia pé esquerdo no chão	-40; 10; 310	7; -42; 19; 28; -40	0.9; 0.6; 1.3; 0.0; 2.3
Inclina à esquerda	40; 15; 310	-7; -41; 27; 18; -41	0.9; 0.8; 2.0 ; 0.3; 2.3
Levanta pé direito (20mm)	40; 20; 310	-7; -42; 25; 29; -66	0.9; 0.5; 1.9; 0.3; 2.3
Leva pé direito ao lado do esquerdo	40; 30; 310	-7; -42; 23; 36; -67	0.9; 0.1; 1.6; 0.1; 2.3
Apoia pé direito no chão	40; 30; 310	-7; -42; 23; 23; -42	0.9; 0.0; 1.6; 0.2; 2.3

Tabela 6– Momentos e ângulos rumo à locomoção.

Nota: estas simulações têm o defeito que não têm em consideração a reacção do solo no segundo pé.

5.3 - Actualizações do código:

Caso hajam peças remodeladas, poderão haver alterações de dimensões, massas ou centros de massa de alguns elos, pelo que existem alguns ficheiros simples de actualizar:

- forma do pé:

“Inicializacao.m”

```
Pe=[ -45  30  30  -45
      -105 -105 95  95
       0   0   0   0
       1   1   1   1]
```

- comprimento dos elos:

“dimensions.m”

```
dimensoes=[ 24.8 % 1- altura do chão ao veio do pé (ao lado);
            20   % 2- entre-eixo: pé lado - pé frente;
            110  % 3- " " : pé frente – joelho;
            95   % 4- " " : joelho - anca frente;
            53   % 5- " " : anca frente - anca abrir;
            23   % 6- " " : anca abrir - anca rodar;
            80   % 7- largura da anca;
            40   % 8- distância da base da Barra Anca ate
                % onde a cintura inclina ao lado;
            30   % 9- entre-eixo: cintura ao lado - cintura à
                % frente;
            80   %10- entre-eixo: cintura à frente - eixo dos
                % braços;
            20   %11- entre-eixo: eixo dos braços - pescoço
                % cima/baixo;
            100  %12- largura do peito + ombro;
            40   %13- comprimento do braço;
            40]; %14- " do antebraço;
```

- massas:

“massas.m”

```
mi(1)=355; % pé direito
mi(2)=81; % tornozelo direito
mi(3)=413; % perna direita
mi(4)=344; % coxa direita
mi(5)=109; % anca (parte1) direita
mi(6)=185; % anca (parte2) direita
mi(8)=1720; % barra anca
mi(19)=50; % cintura
mi(20)=50; % peito
mi(22)=50; % pescoço
mi(23)=50; % cabeça
mi(25)=50; % ombro direito
mi(26)=50; % braço direito
mi(27)=50; % ante-braço direito
```

- centros de massa:

“cm.m”

```
cmassa(:,1)=[-0.4; -9.6;-36.9; 1]; % pé direito (gy,gz,gx,1)
cmassa(:,2)=[-7.3; -2.6;-10.1; 1]; % tornozelo direito (gz,gx,gy,1)
cmassa(:,3)=[-53.6; 2.1; 5.3; 1]; % perna direita (gz,gx,gy,1)
cmassa(:,4)=[-58.4; 0; 1.9; 1]; % coxa direita (gz,gx,gy,1)
cmassa(:,5)=[-39.4; -6.1; 1.7; 1]; % anca (parte1) dir. (gz,gy,-x,1)
cmassa(:,6)=[-27.2; 15.2; 7.5; 1]; % anca (parte2) dir. (gz,gy,gx,1)
cmassa(:,8)=[1; 10.9; 91.8; 1]; % anca (barra) (gy,-x,gz,1)
cmassa(:,19)=[-10; 0; 0; 1]; % cintura (gz,gx,gy,1)
cmassa(:,20)=[-10; 0; 0; 1]; % peito (gz,gx,gy,1)
cmassa(:,22)=[0; -5; 0; 1]; % pescoço (gx,gz,-gy,1)
cmassa(:,23)=[0; -15; 0; 1]; % cabeça (gz,-gx,-y,1)
cmassa(:,25)=[0; 5; 0; 1]; % ombro direito (gz,-gx,-y,1)
cmassa(:,26)=[15; 0; 0; 1]; % braço direito (gz,-y,gx,1)
cmassa(:,27)=[15; 0; 0; 1]; % antebraço direito (gz,-gy,gx,1)
```

6 – Concepção

6.1 - Pé:

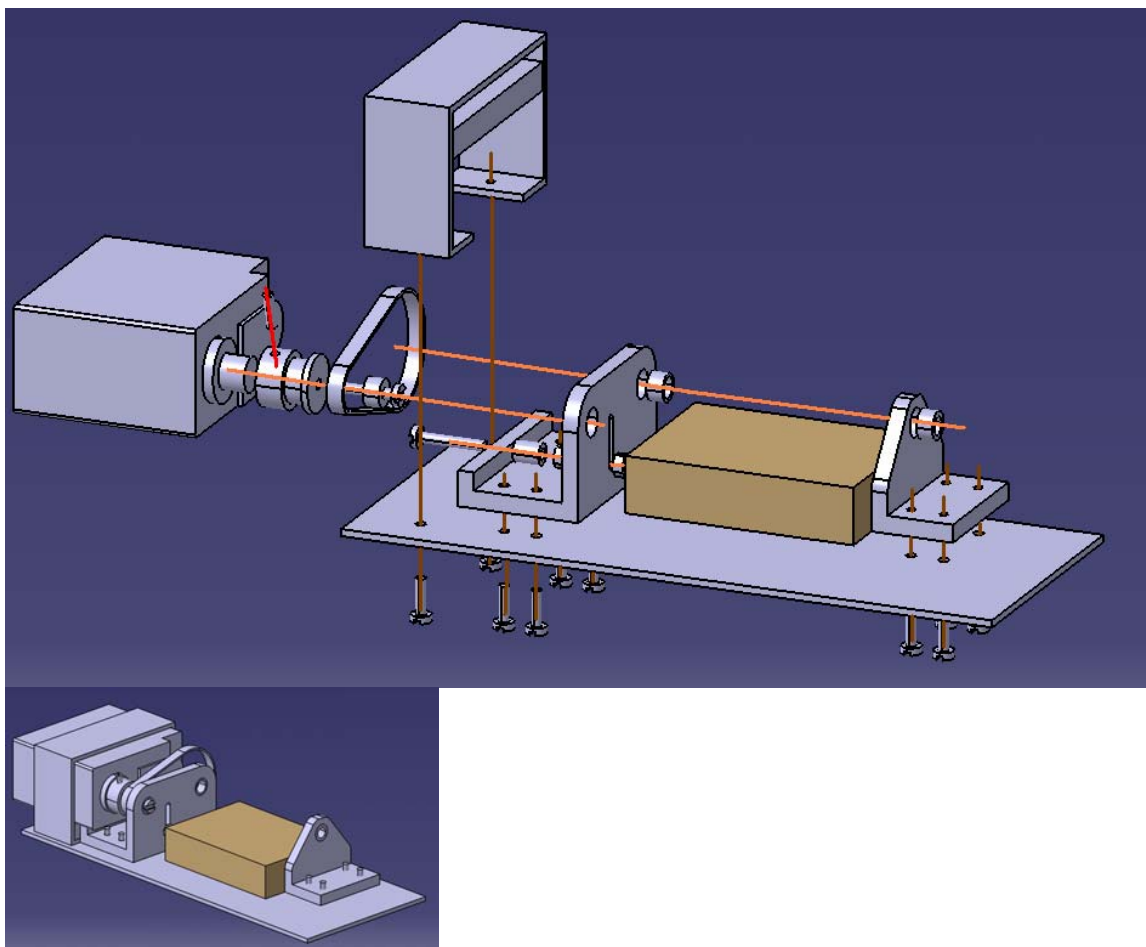
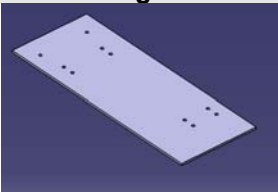


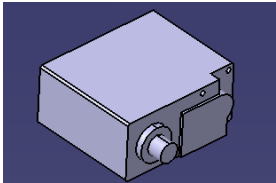





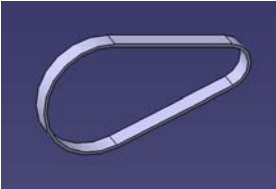








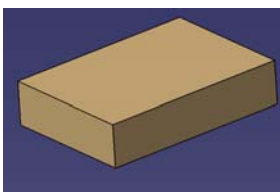
Fig. 50 – Modelação do pé.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Planta Pé Direito		Alumínio (chapa)	86g	1	Feito em CNC para garantir precisão na furação; Iguar (rodado) ao Esquerdo; Tentou-se colocar o motor o máximo a trás para que o tornozelo não seja tanto à frente;
Fixação Motor Pé		Alumínio (chapa)	23g	1	Feito em chapa quinada para ser leve, mas rígido;
Apoio motor Pé		Nylon (chapa)	5g	1	Para elevar o motor de forma a não haver choques entre a placa de controlo e o tornozelo; Feito em nylon para ser leve;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Motor grande sem patilhas		Vários	151g	1	Necessário cortar as “patilhas” de fixação do motor HiTec HB815; É preso por aperto lateral; Binário 2 N.m;
Entre eixo Pé Direito		Alumínio (bloco)	52g	1	Garante o entre eixo do pé ao lado; Serve de apoio ao esticado, ao veio deste motor e ao veio que liga ao tornozelo;
Apoio veio Pé		Alumínio (bloco)	23g	1	Serve de apoio frontal ao veio que liga o pé ao tornozelo;
Polia Z16		Alumínio	5g	1	Necessário aumentar o furo da polia comprada de forma a encaixar no motor; Necessário fazer um furo M3 perpendicular para evitar escorregamento do veio do motor;
Parafuso M3 L20		Ferro	1g	2	Um serve de esticador com duas porcas e o rolete, o outro garante concentricidade da polia com o apoio de trás;
Porca M3		Ferro	0.5g	2	Serve de esticador com o parafuso e o rolete;
Correia L145		Borracha com fios de aço	0.6g	1	Transmite o movimento do motor à estrutura; Tem dentado para evitar escorregamento;
Rolete		Latão (varão)	1g	1	Serve de esticador com duas porcas e o parafuso; Necessário ter comprimento suficiente para ter contacto com toda a largura da correia; Deve ter diâmetro exterior reduzido para diminuir o atrito;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Casquilho 6-8		Latão (varão)	0.9g	1	Necessário para diminuir o atrito;
Casquilho 3-8 L5		Latão (varão)	2g	1	Necessário para diminuir o atrito;
Casquilho 5-8 L5		Latão (varão)	2g	1	Necessário para diminuir o atrito;
Parafuso M3 L10		Ferro	1g	10	Quatro fixam o apoio do veio à frente, outros quatro fixam o de trás e os outros dois fixam o apoio do motor, não precisam de porca porque as peças são roscadas;
Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	1	Evitar escorregamento entre o motor e a polia;
Placas de controlo		Vários	25g	1	Serve para controlar os motores do tornozelo (lado e frente) e joelho;
TOTAL	-	-	581 g	28 peças	(no real, pesou-se 524g)

6.2 - Tornozelo:

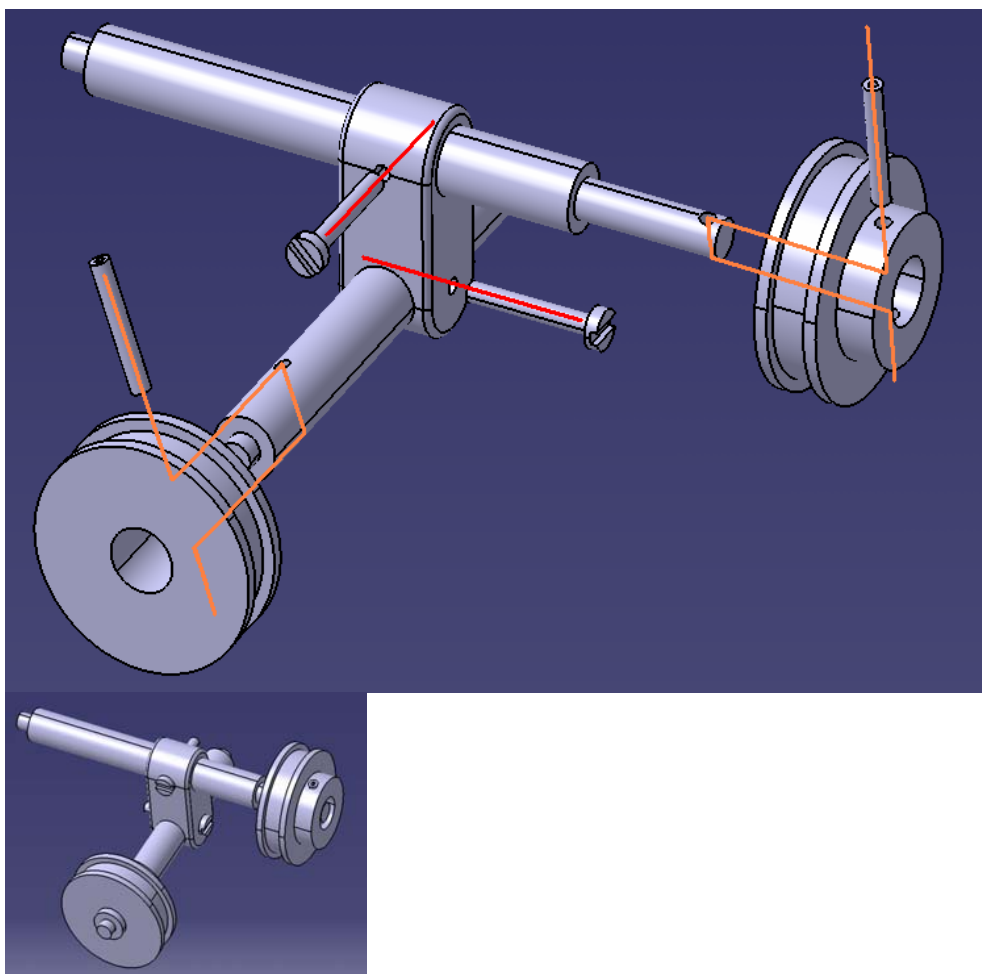








Fig. 51 – Modelação do tornozelo.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Ligação do tornozelo		Aço (bloco)	13	1	Faz a ligação do pé à perna (junta com 2 graus de liberdade: ao lado e à frente); Deve ter as mínimas dimensões possíveis; Os furos são para fixação aos veios;
Veio Pé		Aço (varão)	54	1	Feito em aço para ter dimensões reduzidas a esforços elevados; Os furos são para fixação aos veios; (podia ter comprimento menor, uma vez que não tem de inclinar a trás como inicialmente se pensou);
Veio Tornozelo		Aço (varão)	48	1	Feito em aço porque tem dimensões reduzidas e esforços elevados; Os furos são para fixação aos veios;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Polia Z40		Alumínio	26	2	Para entrar no veio, a polia de cima tem de ter o seu furo longitudinal alargado para 10mm (a polia de baixo não precisa, porque o veio tem diâmetro 6mm onde encaixa); É necessário fazer furos perpendiculares M3 nas polias para fixá-las aos veios;
Parafuso M3 L20		Ferro	1g	2	Garantem que os veios não saem da ligação do tornozelo;
Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	2	Passam o movimento das polias para o tornozelo;
TOTAL	-	-	196 g	9 peças	(no real, pesou-se 165g)

6.3 - Perna:

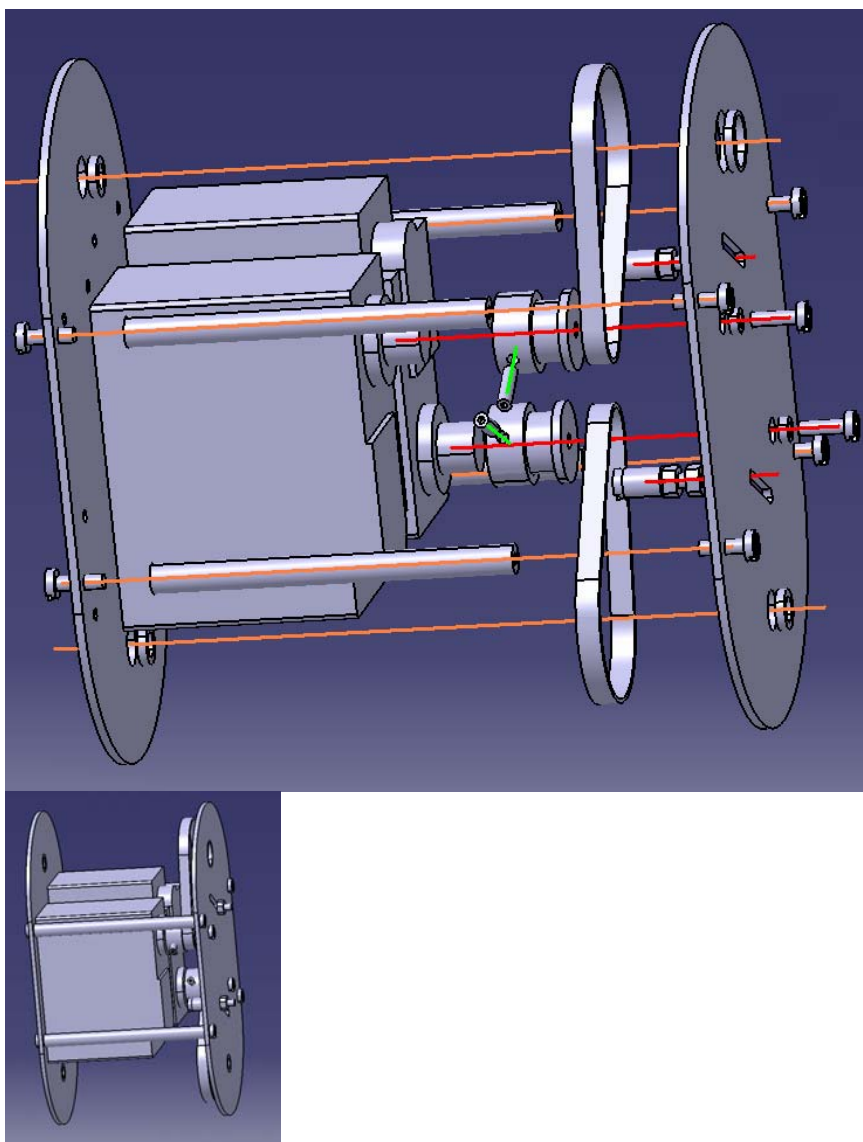

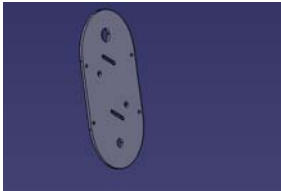


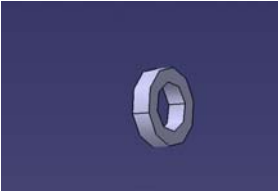

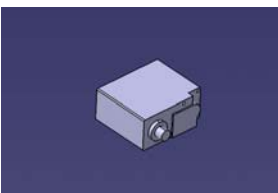







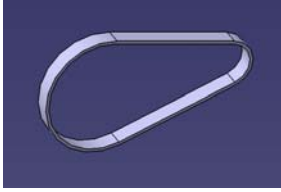

Fig. 52 – Modelação da perna.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Placa interior da perna		Alumínio (chapa)	47g	1	Feito em alumínio para ser leve e rígido; Tem os furos que vão fixar os motores do tornozelo a frente e do joelho;
Placa exterior da perna		Alumínio (chapa)	46g	1	Feito em alumínio para ser leve e rígido;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Ligação das placas da perna		Nylon (varão)	3g	4	Feitos em nylon por ser leve e fácil de trabalhar (não se revelando a sua falta de rigidez);
Casquilho 3-5		Latão (varão)	0.2g	2	Necessário para diminuir o atrito;
Casquilho 5-8		Latão (varão)	0.5g	3	Necessário para diminuir o atrito;
Casquilho 3-12		Latão (varão)	0.6g	1	Necessário para diminuir o atrito;
Motor grande sem patilhas		Vários	151g	2	Necessário cortar as “patilhas” de fixação do motor HiTec HB815; Binário 2 N.m;
Polia Z16		Alumínio	5g	2	Necessário aumentar o furo da polia comprada de forma a encaixar no motor; Necessário fazer um furo perpendicular para evitar escorregamento do veio do motor;
Parafuso M3 L10		Ferro	1g	10	Oito fixam os tirantes que unem as placas de alumínio, os outros dois garantem que os motores não saem do sítio quando sujeitos a esforços;
Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	2	Evitar escorregamento entre os motores e as polias;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Parafuso M3 L20		Ferro	1g	2	Serve de esticador com duas porcas e o rolete;
Porca M3		Ferro	0.5g	4	Serve de esticador com o parafuso e o rolete;
Correia L145		Borracha com fios de aço	0.6g	2	Transmite o movimento do motor à estrutura; Tem dentado para evitar escorregamento;
Rolete		Latão (varão)	1g	2	Serve de esticador com duas porcas e o parafuso; Necessário ter comprimento suficiente para ter contacto com toda a largura da correia; Deve ter diâmetro exterior reduzido para diminuir o atrito;
TOTAL	-	-	439 g	38 peças	(no real, pesou-se 410g)

6.4- Coxa:

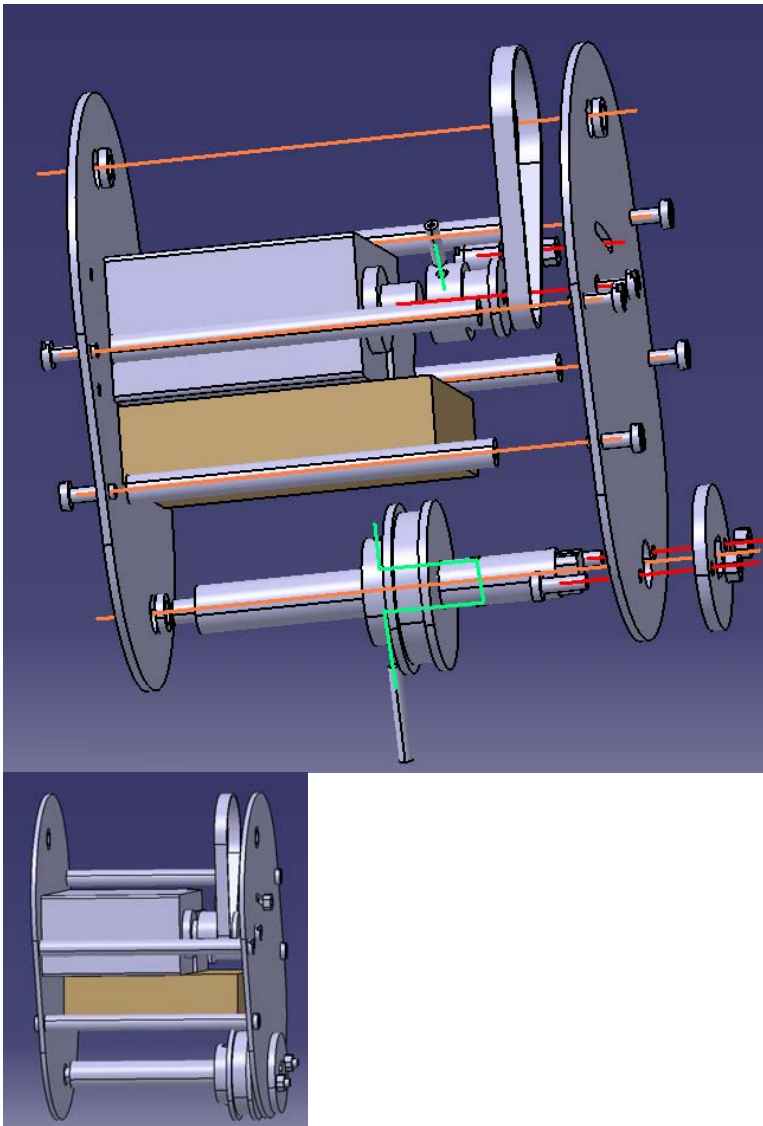
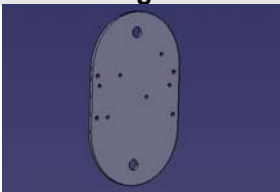
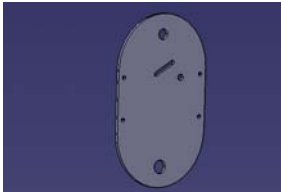


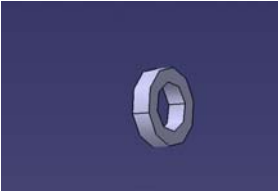
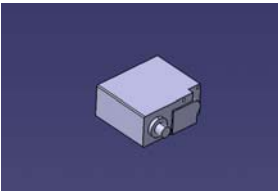
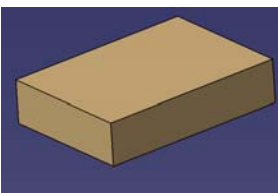





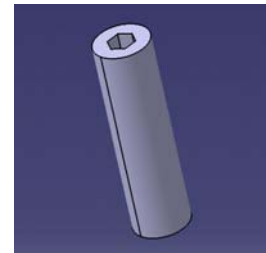

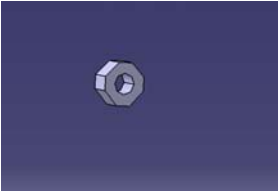
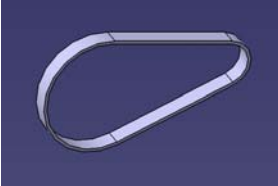



Fig. 53 – Modelação da coxa.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Placa interior da coxa		Alumínio (chapa)	41g	1	Feito em alumínio para ser leve e rígido; Tem os furos que vão fixar o motor;
Placa exterior da coxa		Alumínio (chapa)	41g	1	Feito em alumínio para ser leve e rígido;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Ligação das placas da coxa		Nylon (varão)	3g	4	Feitos em nylon por ser leve e fácil de trabalhar (não se revelando a sua falta de rigidez);
Casquilho 3-5		Latão (varão)	0.2g	1	Necessário para diminuir o atrito;
Casquilho 5-8		Latão (varão)	0.5g	3	Necessário para diminuir o atrito;
Motor grande sem patilhas		Vários	151g	1	Necessário cortar as “patilhas” de fixação do motor HiTec HB815; Binário 2 N.m;
Placas de Controlo		Vários	25g	1	Serve para controlar os motores da anca (frente, lado e virar de direcção);
Polia Z16		Alumínio	5g	1	Necessário aumentar o furo da polia comprada de forma a encaixar no motor; Necessário fazer um furo perpendicular para evitar escorregamento do veio do motor;
Polia Z40		Alumínio	26g	1	Necessário aumentar o furo da polia comprada de forma a encaixar no veio; Necessário fazer um furo perpendicular para evitar que escorregue do veio quando sujeita a esforços;
Parafuso M3 L10		Ferro	1g	11	Oito fixam os tirantes que unem as placas de alumínio, um garante que o motores não sai do sítio quando sujeito a esforços e os outros dois fixam a roseta à chapa para transmissão de movimento;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	2	Evitar escorregamento entre os motores e as polias;
Parafuso M3 L20		Ferro	1g	1	Serve de esticador com duas porcas e o rolete;
Porca M3		Ferro	0.5g	4	Duas servem de esticadores com parafusos e roletes, as outras duas, como a chapa só tem 2 mm e a roseta 3mm, é necessário colocar porcas para passar o movimento do veio do joelho à estrutura superior;;
Correia L145		Borracha com fios de aço	0.6g	1	Transmite o movimento do motor à estrutura; Tem dentado para evitar escorregamento;
Rolete		Latão (veio)	1g	1	Serve de esticador com duas porcas e o parafuso; Necessário ter comprimento suficiente para ter contacto com toda a largura da correia; Deve ter diâmetro exterior reduzido para diminuir o atrito;
Veio do joelho		Aço (varão)	50g	1	Feito em aço para diminuir o desgaste de transmissão de movimento para a chaveta;
Chaveta		Aço (varão)	15g	1	Feita em aço porque o veio do joelho também o está, para não haver desgaste no material mais macio;
TOTAL	-	-	388 g	36 peças	(no real, pesou-se 371g)

6.5 - Anca baixo:

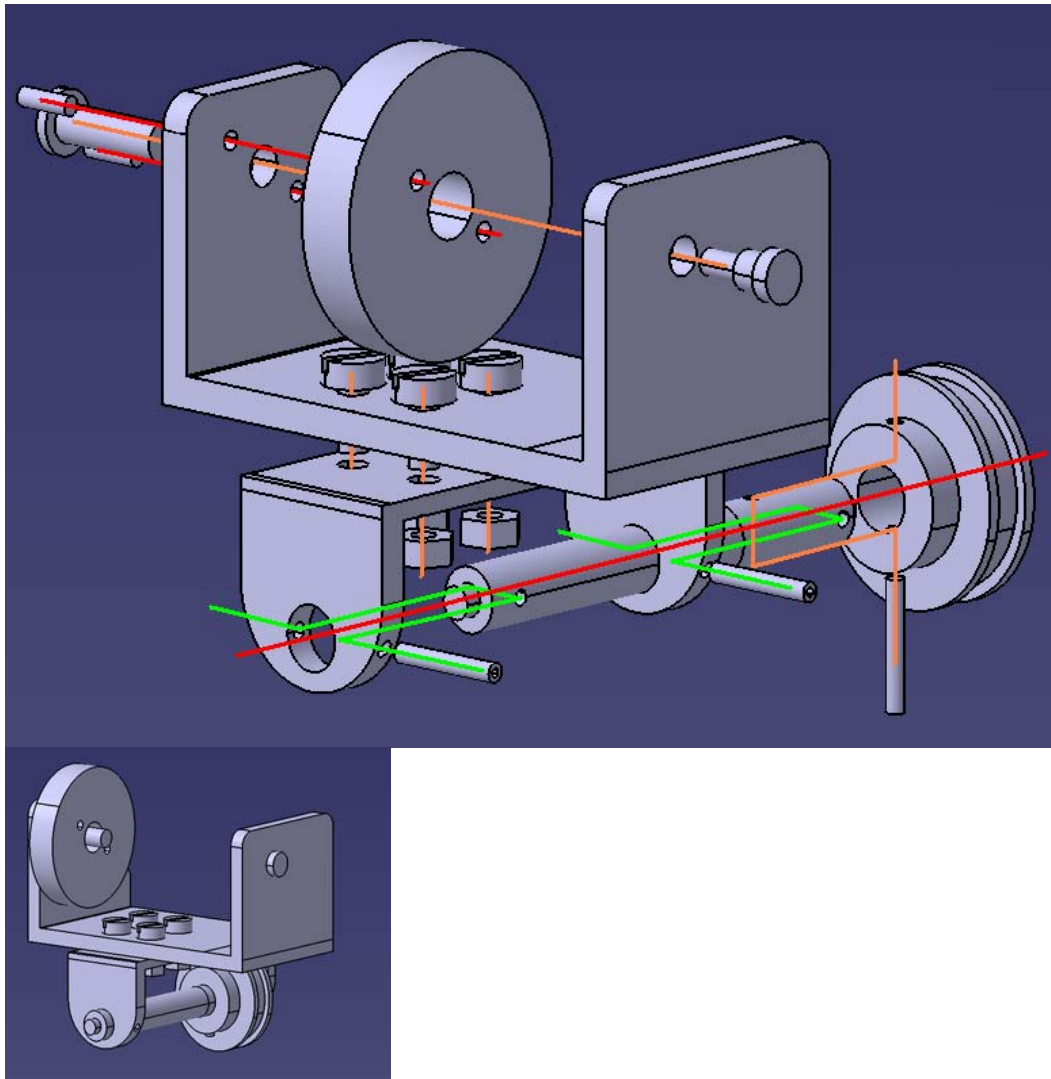
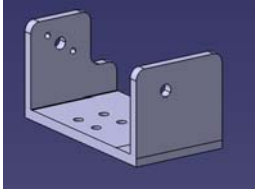
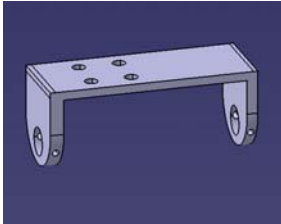

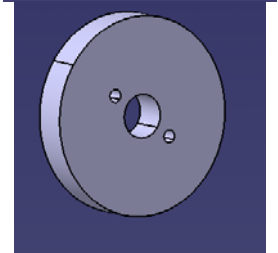

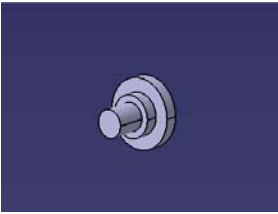

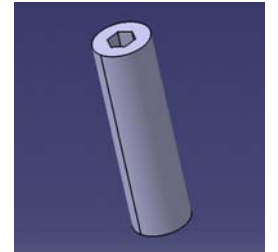
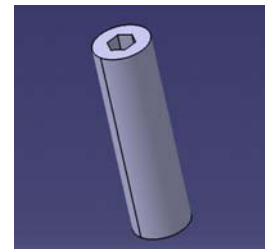


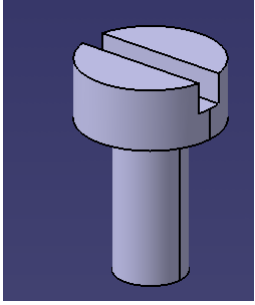
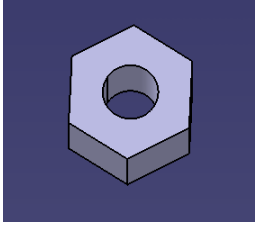
Fig. 54 – Modelação da anca baixo.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Ligação coxa anca 1		Alumínio (bloco)	104g	1	Tem de ter altura suficiente para que o motor que permite inclinar ao lado não lhe bata; A espessura deve ser reduzida mas suficiente para dar rigidez; Feito em CNC para garantir concentricidades;
Ligação coxa anca2		Alumínio (bloco)	34g	1	Tem de ter tamanho suficiente para caber a polia de 40 dentes; A espessura deve ser reduzida mas suficiente para dar rigidez; Feito em CNC para garantir concentricidades;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Veio da anca		Alumínio (varão)	18g	1	Feito em alumínio para ser leve, não se tendo verificado problemas de desgaste neste veio;
Polia Z60		Alumínio	43g	1	Necessário fazer dois furos longitudinais para fixar à peça “Ligação coxa anca 1”;
Polia Z40		Alumínio	26g	1	Necessário aumentar o furo da polia comprada de forma a encaixar no veio; Necessário fazer um furo perpendicular para evitar que escorregue do veio quando sujeita a esforços;
Pino		Latão (varão)	2g	1	Em aço porque os esforços a que estará sujeito são elevados para a sua dimensão;
Apoio da polia da anca		Latão (varão)	6g	1	Em aço porque os esforços a que estará sujeito são elevados para a sua dimensão;
Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	2	Evitar fixar a polia Z60 à peça “Ligação coxa anca 2”;
Parafuso umbraco M3 L20		Ferro	1g	3	Dois fixam o veio à “Ligação coxa anca 1”, o terceiro fixa a polia Z40 ao mesmo veio;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Parafuso M5 L10		Ferro	4g	4	Para, em conjunto com as porcas M5, unirem as peças “Ligação coxa anca 1” e “Ligação coxa anca 2”;
Porca M5		Ferro	0.5g	4	Para, em conjunto com os parafusos M5, unirem as peças “Ligação coxa anca 1” e “Ligação coxa anca 2”; (usam-se porcas em vez de apenas roscados no alumínio, porque se achou arriscado ter 2Kg (peso de cada perna) suspensos em roscado de alumínio;
TOTAL	-	-	255 g	20 peças	(no real, pesou-se 239g)

6.6 - Anca cima:

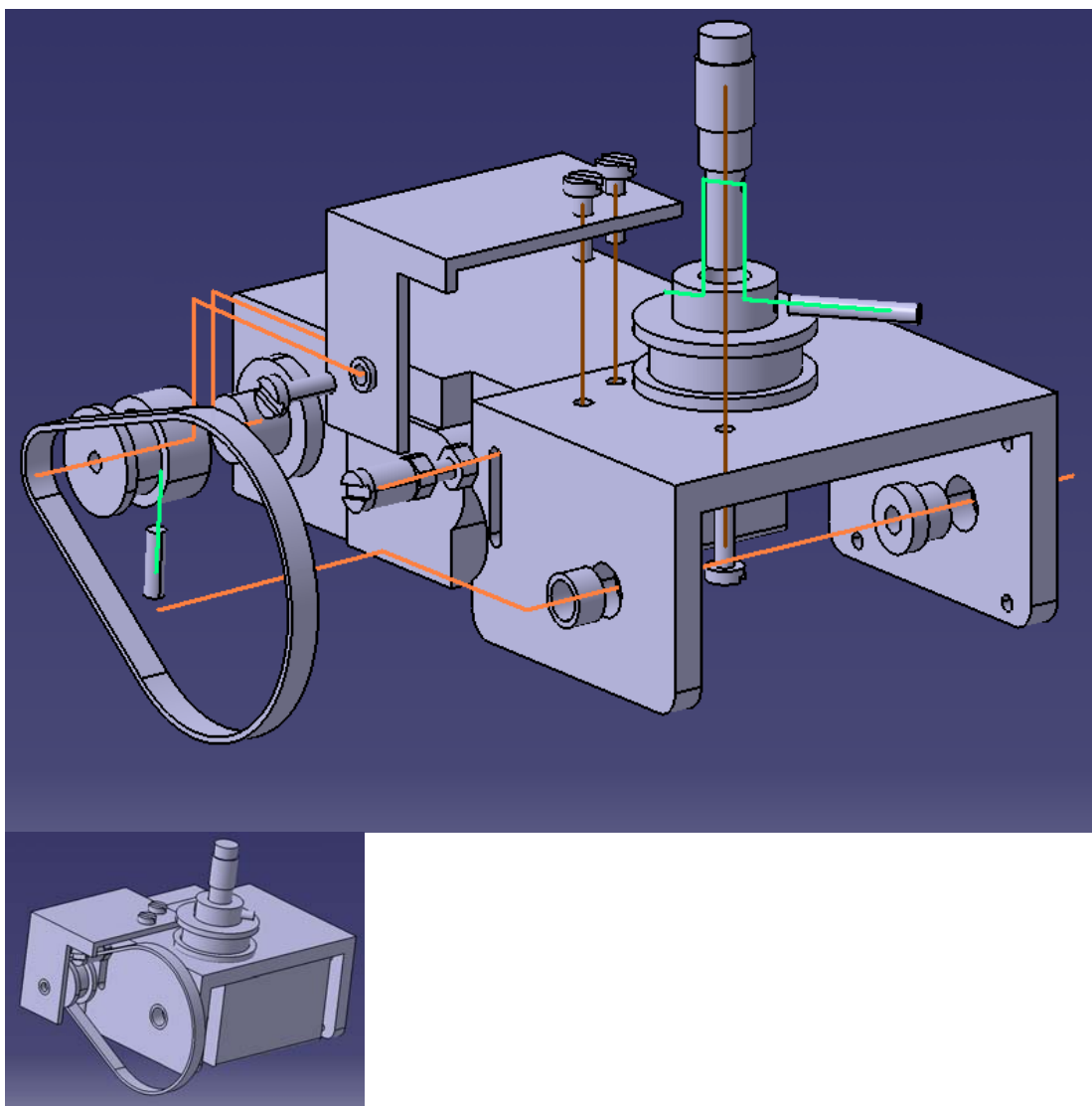
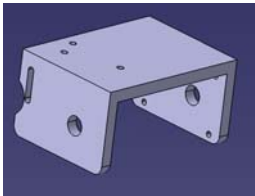
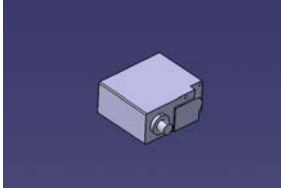

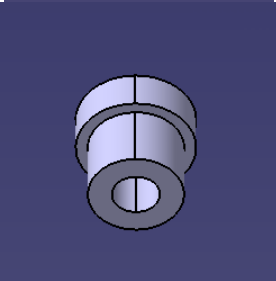

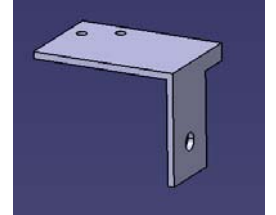





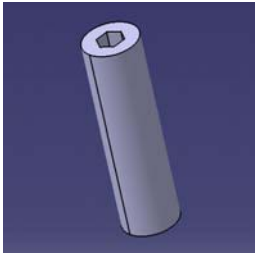
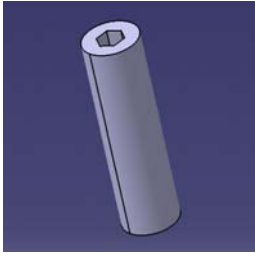



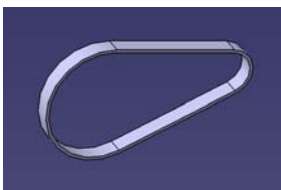

Fig. 55 – Modelação da anca cima.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Fixação do motor anca ao lado		Alumínio (bloco)	79g	1	Deve ter as dimensões mínimas de forma que o motor possa caber; A espessura deve ser reduzida mas suficiente para dar rigidez; Feito em CNC para garantir concentricidades; Tem os furos que vão fixar o motor;
Motor grande sem patilhas		Vários	151g	1	Necessário cortar as “patilhas” de fixação do motor HiTec HB815; Binário 2 N.m;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Polia Z16		Alumínio	5g	1	Necessário aumentar o furo da polia comprada de forma a encaixar no motor e fazer um furo perpendicular para evitar escorregamento do veio do motor;
Encaixe para pino		Latão (varão)	3g	1	É onde o pino (segundo ponto de rotação entre uma peça e a outra) vai rodar; Em latão para diminuir o atrito;
Casquilho 6-8		Latão (veio)	0.9g	1	Necessário para diminuir o atrito;
Apoio do motor anca ao lado		Alumínio (chapa)	10g	1	É o segundo apoio do veio do motor da anca ao lado;
Casquilho 3-5		Latão (varão)	0.2g	1	Necessário para diminuir o atrito;
“Veio” virar		Aço (varão)	12g	1	Este veio vai suportar o peso da perna a “puxar” quando estiver no ar, e do resto do corpo a “comprimir” quando estiver apoiada no chão;
Polia Z30		Alumínio	14g	1	Necessário aumentar o furo da polia comprada de forma a encaixar no veio que liga à Barra Anca; Necessário fazer um furo perpendicular para evitar escorregamento

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	1	Para fixar a polia Z16 ao motor;
Parafuso umbraco M3 L20		Ferro	1g	1	Para fixar a polia Z30 ao “Veio virar”;
Parafuso M3 L10		Ferro	1g	4	Dois fixam o “Apoio do motor anca ao lado”, outro serve para guiar o eixo do motor quando estiver a ser solicitado, e o quarto, liga o “veio virar” à “Fixação do motor anca ao lado”;
Parafuso M3 L20		Ferro	1g	1	Serve de esticador com duas porcas e o rolete;
Porca M3		Ferro	0.5g	2	Serve de esticador com o parafuso e o rolete;
Correia L145		Borracha com fios de aço	0.6g	1	Transmite o movimento do motor à estrutura; Tem dentado para evitar escorregamento;
Rolete		Latão (veio)	1g	1	Serve de esticador com duas porcas e o parafuso; Necessário ter comprimento suficiente para ter contacto com toda a largura da correia; Deve ter diâmetro exterior reduzido para diminuir o atrito;
TOTAL	-	-	286 g	20 peças	(no real, pesou-se 274g)

6.7 - Barra anca:

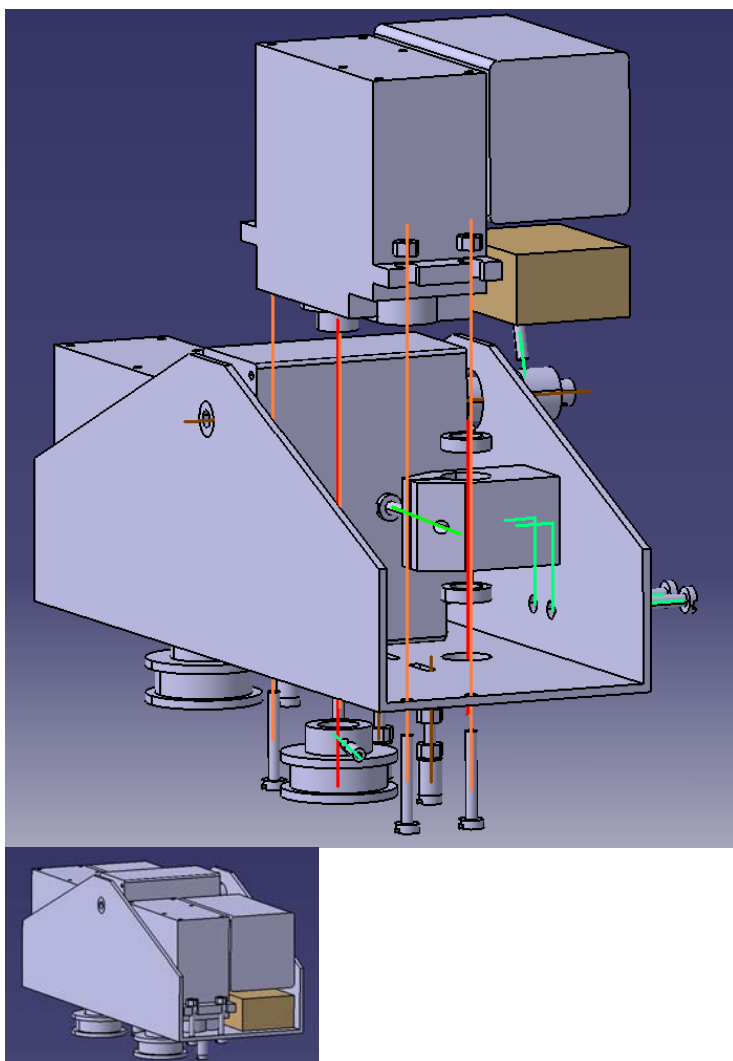
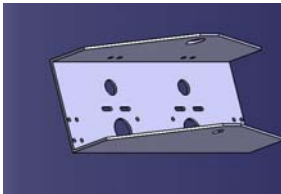
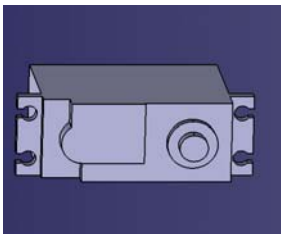
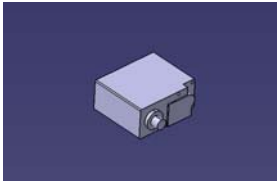

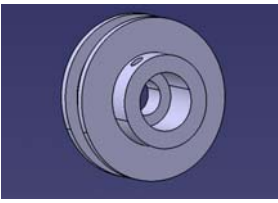

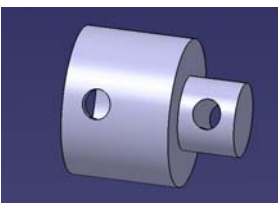
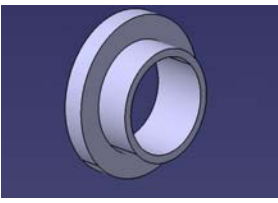

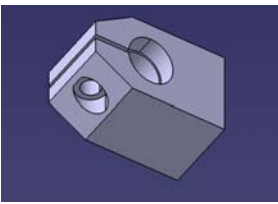


Fig. 56 – Modelação da barra anca.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Ligação das coxas		Alumínio (chapa)	155g	1	É a parte central do robot, liga as duas pernas e é a “base” do resto da estrutura; Apesar da sua grande dimensão tem grande “densidade” de componentes; Tem furos para fixar os 3 motores;
Motor grande com patilhas		Vários	151g	2	São necessárias as “patilhas” para fixar os motores HiTec HB815 que permitem a mudança de direcção; Binário 2 N.m;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Motor grande sem patilhas		Vários	151g	1	Necessário cortar as “patilhas” de fixação do motor HiTec HB815 que permite inclinar a cintura ao lado; Binário 2 N.m;
Encaixe do pino		Latão (varão)	0.7g	1	São necessários dois pontos de apoio para a rotação de uma peça em relação à outra, este é um;
Polia Z30 mandante		Alumínio	14g	2	Necessário aumentar o furo da polia comprada de forma a encaixar no motor; Necessário fazer um furo perpendicular para evitar escorregamento do veio do motor;
Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	3	Para fixar as polias aos motores;
“Veio” da cintura ao lado		Aço (varão)	5g	1	Transmite o movimento de cintura ao lado à estrutura superior; É em aço porque estará sujeito a esforços elevados (para a sua dimensão);
Apoio do “veio” da cintura ao lado		Latão (varão)	7g	1	Necessário para que o veio não seja sujeito a flexão; Necessário para diminuir o atrito;
Rolamento		Aço	0.6g	4	Para permitir a rotação dos veios verticais (mudança de direcção) sem deixar a pernas “cair” quando esta está no ar;
Apoio dos rolamentos		Alumínio (bloco)	27g	2	Serve para fixar os rolamentos (as suas partes interiores continuam livres, obviamente)

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Parafuso M3 L10		Ferro	1g	6	Quatro fixam os apoios dos rolamentos, enquanto os outros dois apertam esses mesmos apoios (de forma a os rolamentos não saírem quando sujeitos a esforços longitudinais);
Parafuso M3 L20		Ferro	1g	12	Quatro são parte dos esticadores, os restantes oito fixam os motores que permitem a mudança de direcção;
Porca M3		Ferro	0.5g	16	Oito são usadas nos esticadores, as restantes oito, com a ajuda de oito parafusos, são usadas para fixarem os motores que permitem a mudança de direcção;
Rolete		Latão (varão)	4g	4	Necessário ter comprimento suficiente para ter contacto com toda a largura da correia; Deve ter diâmetro exterior reduzido para diminuir o atrito;
Bateria		Vários	176g	2	São baterias de 7.4V e 4800mAh cada;
Placa das baterias		Vários	12g	2	Fazem a ligação paralela entre as baterias (7.4V e 9600mAh em conjunto); Disponibilizam a energia ao resto do robot;
TOTAL	-	-	1124 g	60 peças	(no real, pesou-se 1212g)

6.8 - Cintura:

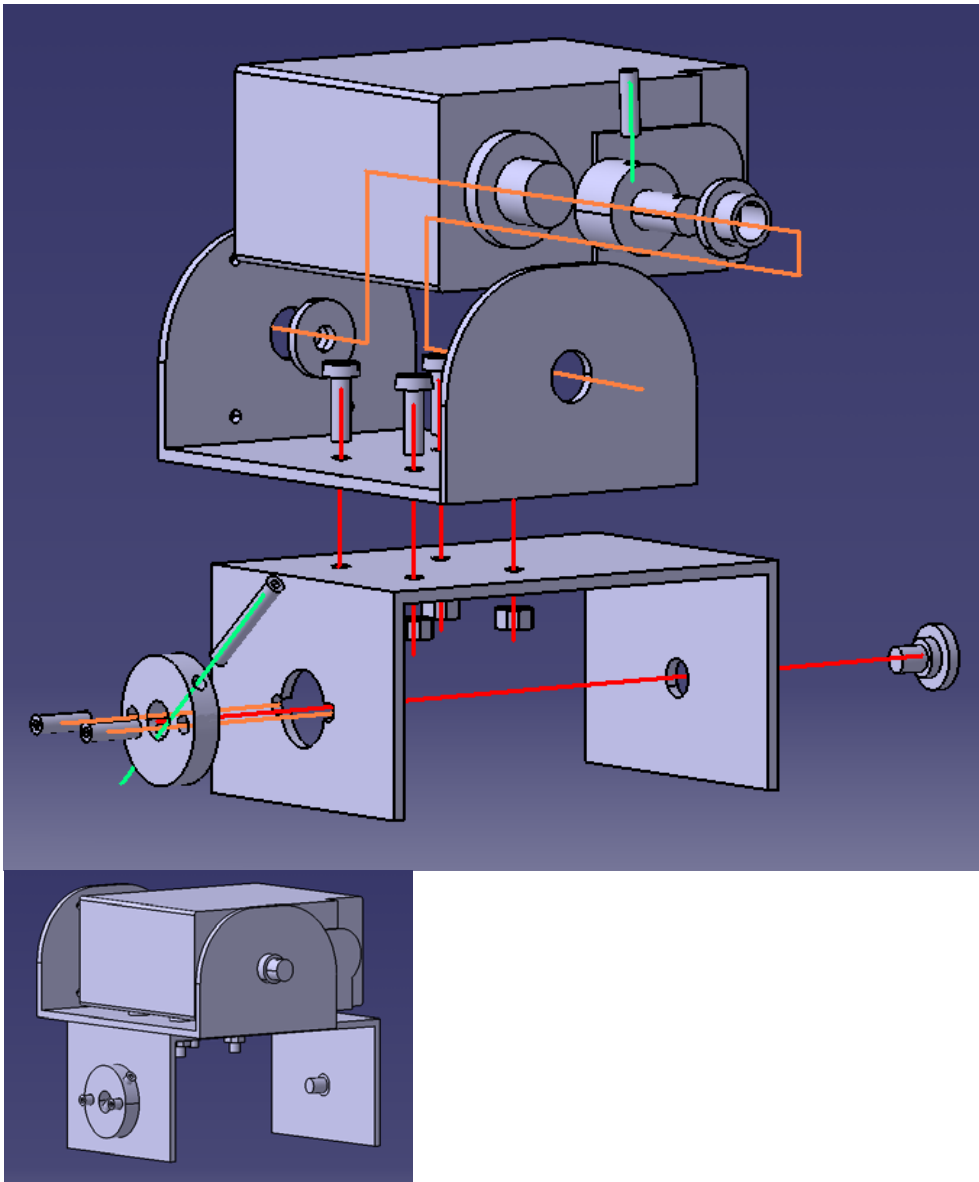
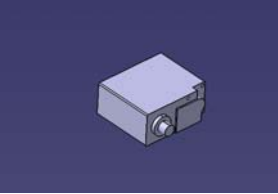
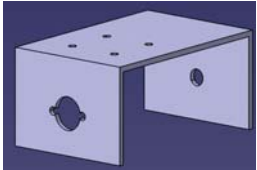
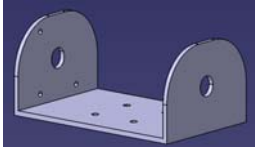
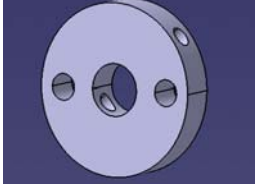




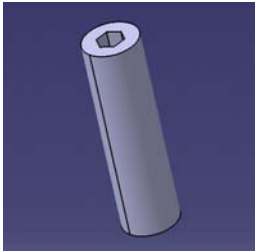


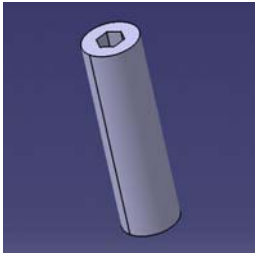

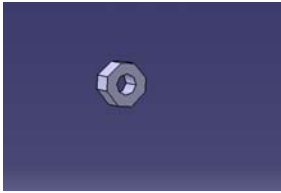
Fig. 57 – Modelação da cintura.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Motor grande sem patilhas		Vários	151g	1	Necessário cortar as “patilhas” de fixação do motor HiTec HB815; Binário 2 N.m;
Ligação cintura anca 1		Alumínio (chapa)	34g	1	Chapa quinada que faz parte da cintura (liga “Barra-Anca” ao “Peito”); Os furos estão mais para um lado para permitir inclinar mais à frente;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Ligação cintura anca 2		Alumínio (chapa)	33g	1	Segunda chapa quinada que faz parte da cintura (liga “Barra-Anca” ao “Peito”); Necessária por causa dos 2DOF;
Roseta pequena		Alumínio (varão)	3g	1	Esta pequena peça recebe movimento do “veio” que vem do motor (furo transversal) e passa-o à estrutura (furos longitudinais);
Pino		Aço (varão)	0.7g	1	Em aço porque os esforços a que estará sujeito são elevados para a sua dimensão;
Encaixe de pino		Latão (varão)	0.8g	1	São necessários dois pontos de apoio para a rotação de uma peça em relação à outra, este é um;
“Veio” da cintura à frente		Aço (varão)	10g	1	Transmite o movimento de cintura à frente à estrutura superior (transmissão directa); É em aço porque estará sujeito a esforços elevados (para a sua dimensão);
Casquilho do “veio” da cintura à frente		Latão (varão)	2g	1	Necessário para que o veio não seja sujeito a flexão; Necessário para diminuir o atrito;
Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	3	Dois garantem a transmissão de movimento da roseta para a estrutura (ao lado), enquanto que o terceiro ajuda do motor para o “veio” (à frente);

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Parafuso umbraco M3 L20		Ferro	1g	1	Garante a transmissão de movimento entre o “veio” de cintura ao lado e a roseta;
Parafuso M3 L10		Ferro	1g	4	Com as quatro porcas, ligam as duas chapas que fazem a cintura;
Porca M3		Ferro	0.5g	4	Com os quatro parafusos M3 L10, ligam as duas chapas que fazem a cintura;
TOTAL	-	-	243 g	20 peças	(no real, pesou-se 246g)

6.9 - Peito:

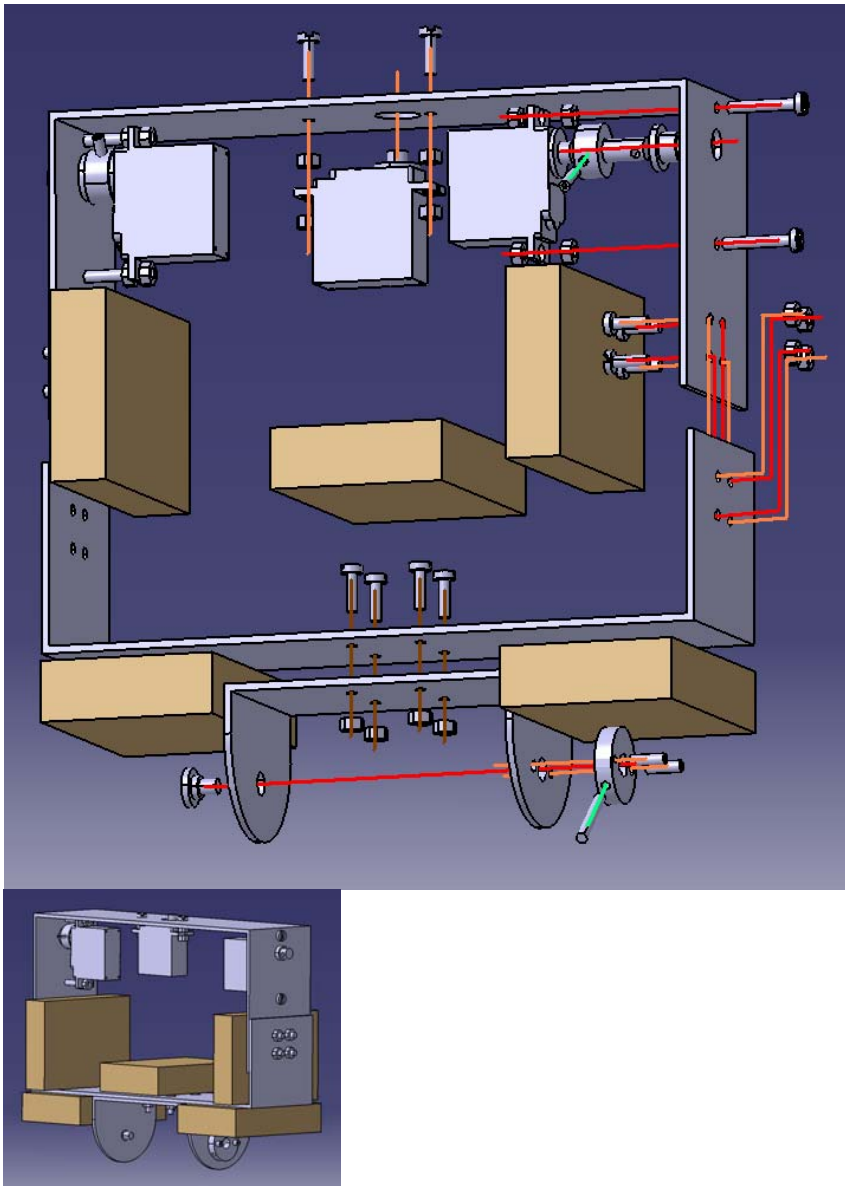

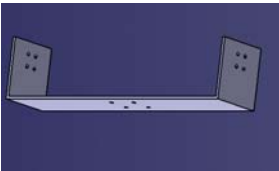
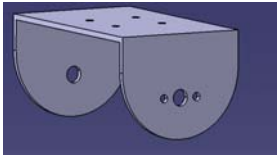


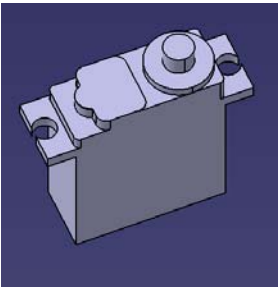
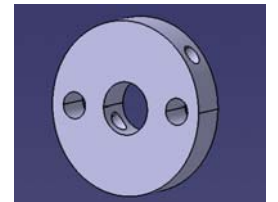

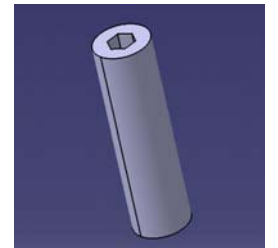


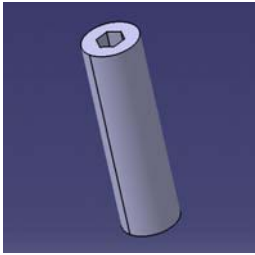


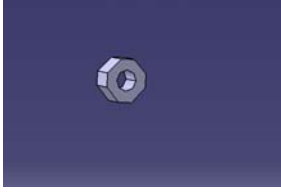
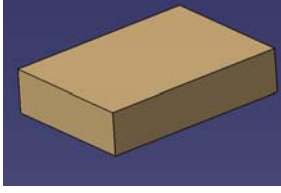
Fig. 58 – Modelação do peito.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Estrutura de cima do peito		Alumínio (chapa)	81g	1	Metade da estrutura do peito, simplesmente uma chapa quinada; Tentou-se reduzir a sua altura ao mínimo que coubessem os componentes e fosse esteticamente razoável;
Estrutura de baixo do peito		Alumínio (chapa)	69g	1	Segunda metade da estrutura do peito, simplesmente uma chapa quinada;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Inclina cintura à frente		Alumínio (chapa)	35g	1	Chapa quinada que recebe movimento da cintura à frente para o peito; Tentou-se reduzir a sua dimensão;
“Veio” ombro		Aço (varão)	10g	2	Transmite o movimento de braço à frente aos ombros (transmissão directa); É em aço porque estará sujeito a esforços elevados (para a sua dimensão);
Casquilho do “veio” ombro		Latão (varão)	2g	2	Necessário para que o veio não seja sujeito a flexão; Necessário para diminuir o atrito;
Motor pequeno com patilhas		Vários	27g	3	São necessárias as “patilhas” para fixar os motores HiTec HB85; Binário 0.2 N.m;
Roseta pequena		Alumínio (varão)	3g	1	Esta pequena peça recebe movimento do “veio” que vem do motor (furo transversal) e passa-o à estrutura (furos longitudinais);
Pino		Aço (varão)	0.7g	1	Em aço porque os esforços a que estará sujeito são elevados para a sua dimensão;
Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	4	Dois garantem a transmissão de movimento da roseta para a estrutura (cintura à frente), enquanto que os outros dois fixam os “veios” dos motores dos ombros aos motores;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Parafuso umbraco M3 L20		Ferro	1g	1	Garante a transmissão de movimento entre o “veio” de cintura à frente e a roseta;
Parafuso M3 L10		Ferro	1g	14	Oito ligam as duas metades da estrutura do peito, outras quatro ligam à peça que permite inclinar à frente (cada um destes parafusos necessita de uma porca, o que dá 12), faltam ainda dois parafusos que são os que fixam o motor da cabeça mas este necessita de duas porcas;
Parafuso M3 L20		Ferro	1g	4	Com a ajuda de 8 porcas (duas para cada parafuso) fixam os motores dos ombros à estrutura (dois parafusos por motor);
Porca M3		Ferro	0.5g	24	Feitas as contas das porcas que os 18 parafusos M3 necessitam, são necessárias 24 porcas;
Placas de Controlo		Vários	25g	5	Uma controla o pescoço (2DOF); Outra controla a cintura (2DOF); Outras duas controlam os braços (2x3DOF); A quinta é o MASTER;
TOTAL	-	-	448g	64	(no real, pesou-se 457g)

6.10 - Pescoço:

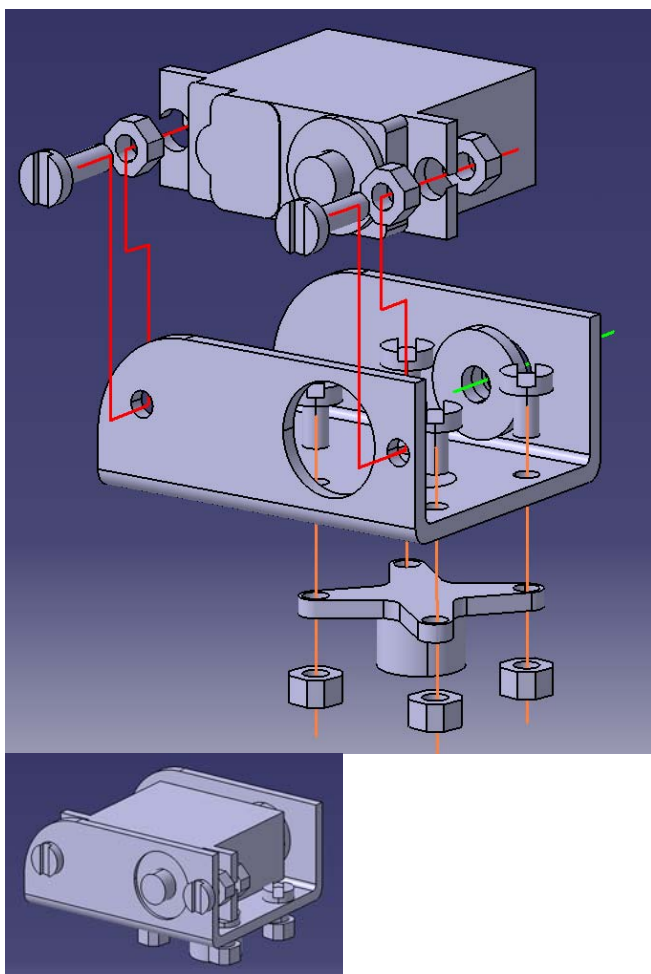

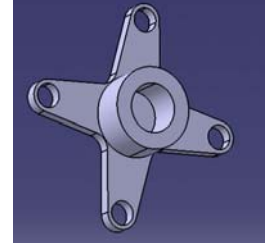
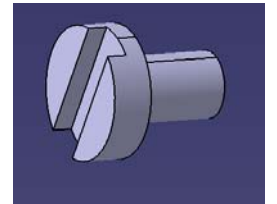

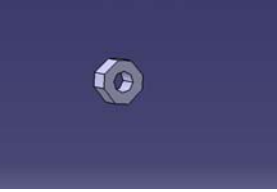


Fig. 59 – Modelação do pescoço.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Estrutura do pescoço		Alumínio (chapa)	13g	1	Estrutura que permite o pescoço ter 2DOF;
Motor pequeno com patilhas		Vários	27g	1	São necessárias as “patilhas” para fixar os motores HiTec HB85; Binário 0.2 N.m;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Encaixe de pino		Latão (varão)	0.8g	1	São necessários dois pontos de apoio para a rotação de uma peça em relação à outra, este é um;
Estrela do motor pequeno		Plástico	0.9g	1	Passa o movimento do motor à estrutura;
Parafuso M3 L5		Ferro	0.6g	4	Fixam a estrela do motor pequeno à estrutura;
Parafuso M3 L10		Ferro	1g	2	Com a ajuda de quatro porcas, fixam o motor à estrutura;
Porca M3		Ferro	0.5g	8	Quatro fixam a estrela à estrutura, enquanto que as outras quatro fixam o motor à estrutura;
TOTAL	-	-	49 g	18 peças	(no real, pesou-se 43g)

6.11 - Cabeça:

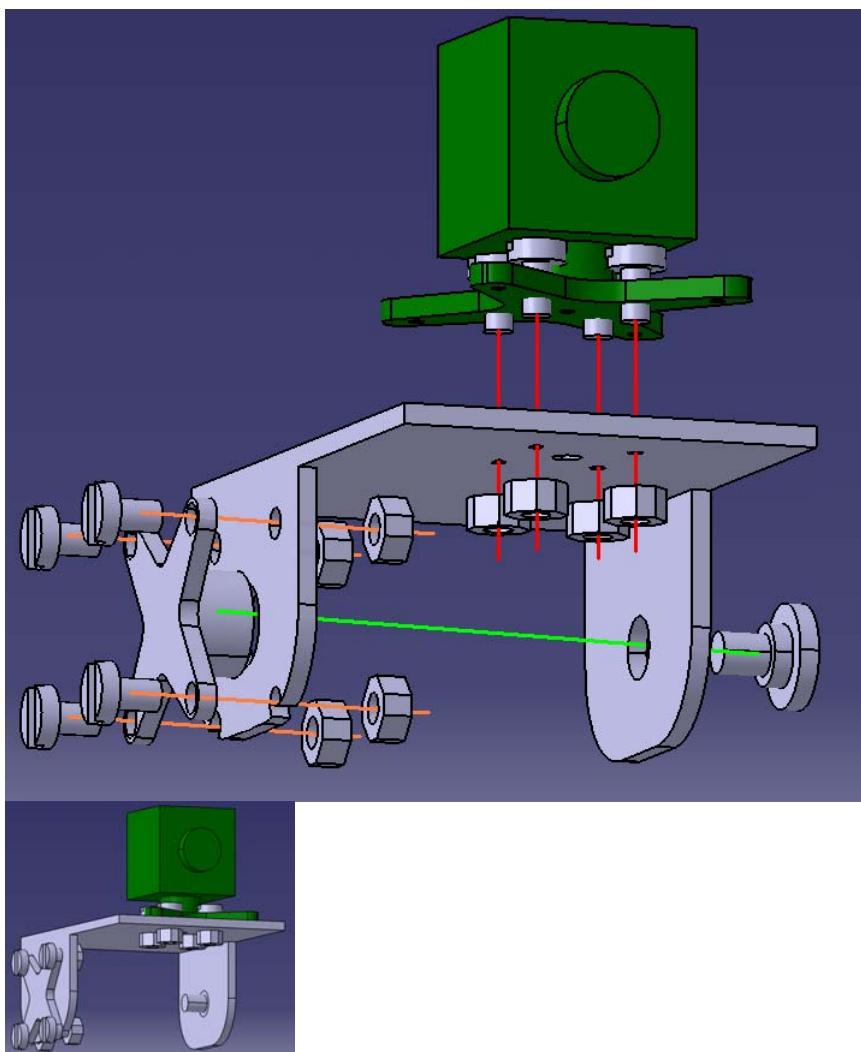
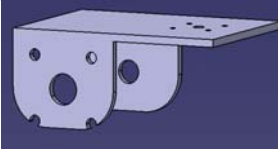
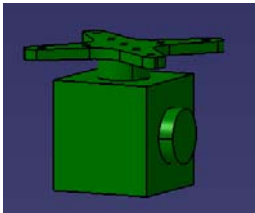
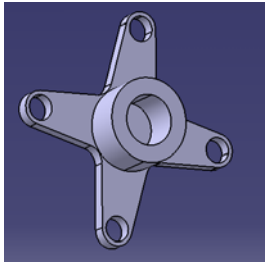

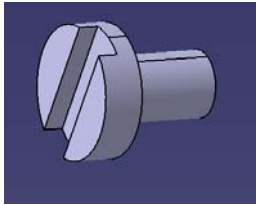



Fig. 60 – Modelação da cabeça.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Estrutura da cabeça		Alumínio (chapa)	18g	1	Estrutura que serve de suporte à câmara;
Câmara		-	25g	1	Também pode ser colocada virada para baixo para evitar o acréscimo de altura;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Estrela do motor pequeno		Plástico	0.9g	1	Passa o movimento do motor à estrutura;
Pino		Aço (varão)	0.7g	1	Em aço porque os esforços a que estará sujeito são elevados para a sua dimensão;
Parafuso M3 L5		Ferro	0.6g	8	Quatro fixam a estrela do motor pequeno à estrutura, os outros quatro fixam a câmara;
Porca M3		Ferro	0.5g	8	Quatro fixam a estrela do motor pequeno à estrutura, as outras quatro fixam a câmara;
TOTAL	-	-	54 g	20 peças	(no real, pesou-se 24g)

6.12 - Ombro:

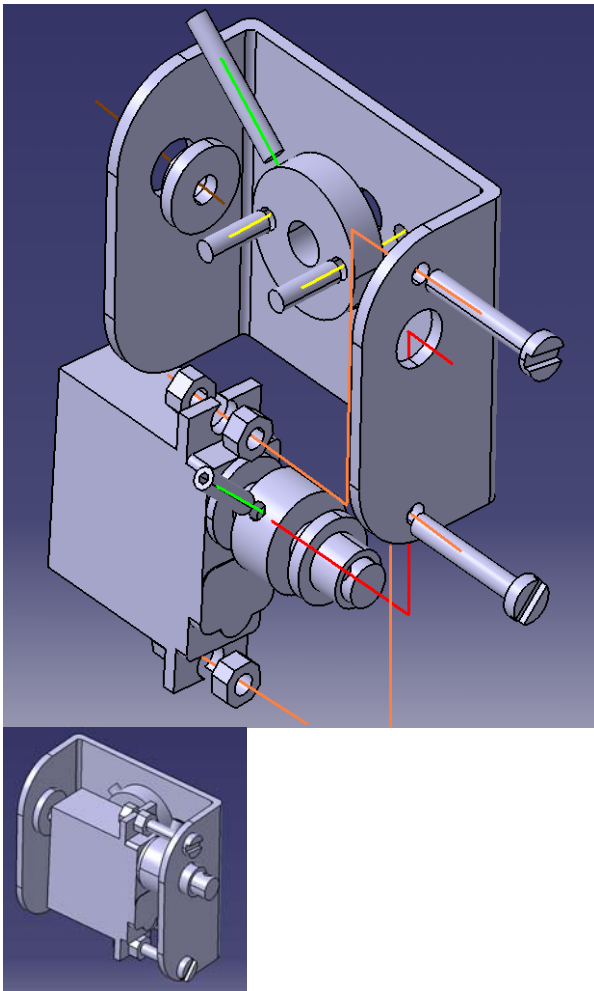
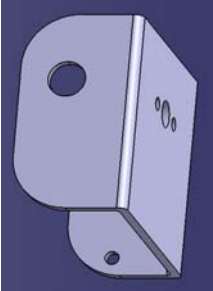
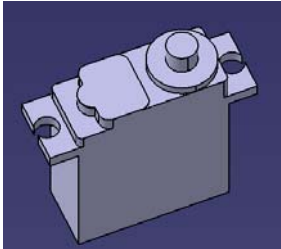


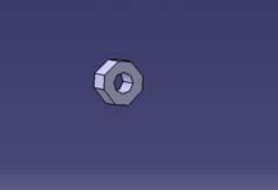
Fig. 61 – Modelação do ombro.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Estrutura ombro direito		Alumínio (chapa)	19g	1	Devido aos 2DOF é necessária uma peça intermédia, idealizou-se esta;
Motor pequeno com patilhas		Vários	27g	1	São necessárias as “patilhas” para fixar os motores HiTec HB85; Binário 0.2 N.m;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Encaixe de pino		Latão (varão)	0.8g	1	São necessários dois pontos de apoio para a rotação de uma peça em relação à outra, este é um;
Roseta pequena		Alumínio (varão)	3g	1	Esta pequena peça recebe movimento do “veio” que vem do motor (furo transversal) e passa-o à estrutura (furos longitudinais);
“Veio” ombro		Aço (varão)	10g	1	Transmite o movimento de braço ao lado (transmissão directa); É em aço porque estará sujeito a esforços elevados (para a sua dimensão);
Casquilho do “veio” ombro		Latão (varão)	2g	1	Necessário para que o veio não seja sujeito a flexão; Necessário para diminuir o atrito;
Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	3	Dois garantem a transmissão de movimento da roseta para a estrutura (braço à frente), enquanto que o outro fixa o “veio” ao motor de abrir braço;
Parafuso umbraco M3 L20		Ferro	1g	1	Garante a transmissão de movimento entre o “veio” de cintura à frente e a roseta;
Parafuso M3 L20		Ferro	1g	2	Com a ajuda de quatro porcas, fixam o motor à estrutura;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Porca M3		Ferro	0.5g	4	Fixam a estrela à estrutura;
TOTAL	-	-	68 g	16 peças	(no real, pesou-se 71g)

6.13 - Braço:

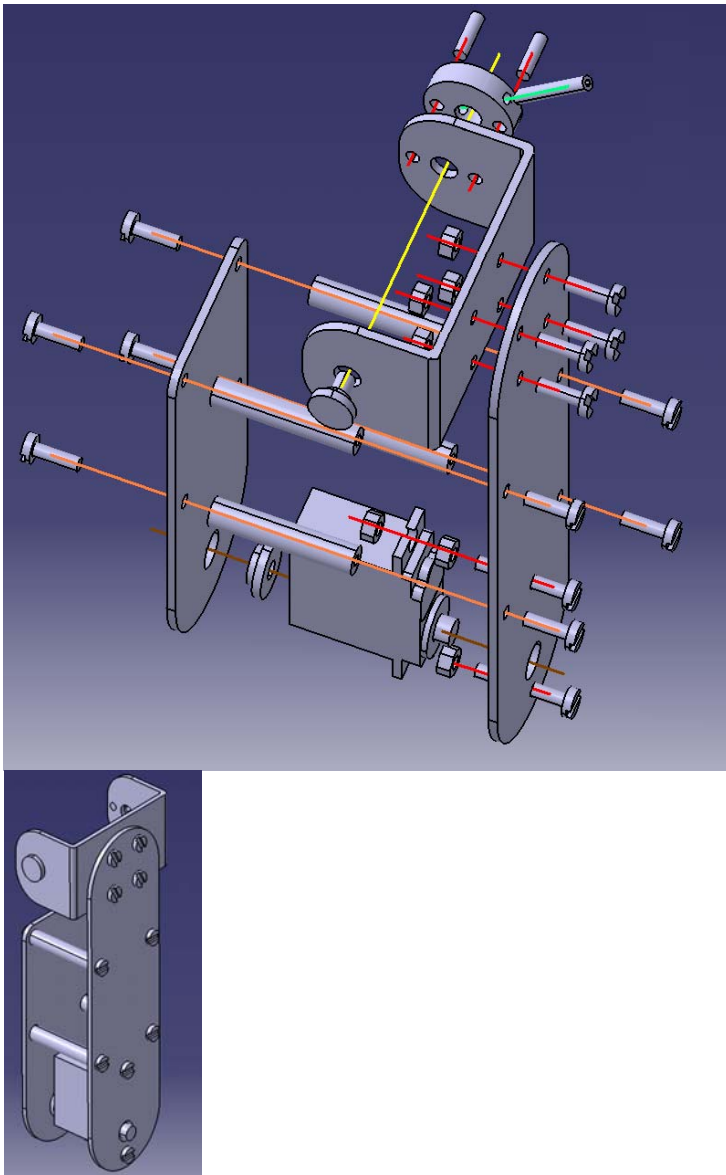
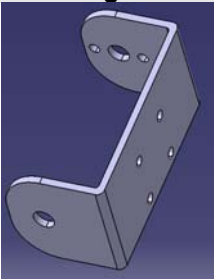
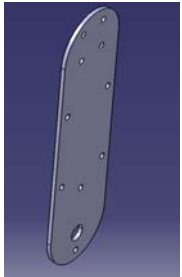
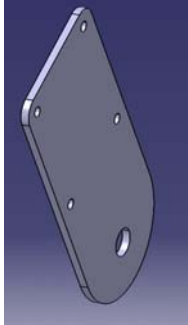
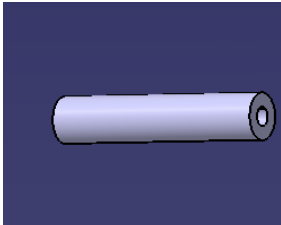
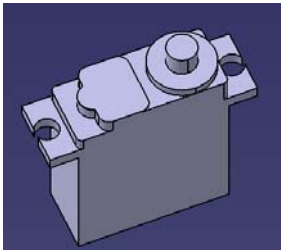


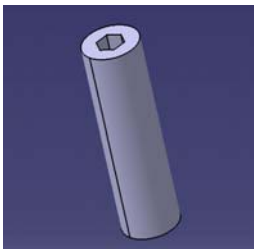


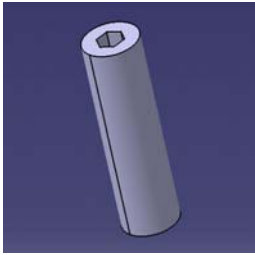



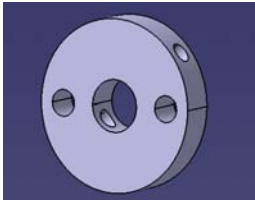
Fig. 62 – Modelação do braço.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Estrutura do braço		Alumínio (chapa)	15g	1	Faz a ligação entre o ombro (com 2DOF) e o braço propriamente dito;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Placa exterior do braço		Alumínio (chapa)	16g	1	Feito em alumínio, mas aqui talvez até pudesse ser em Nylon já que a falta de rigidez não seria grave, mas como havia mais alumínio e também por ser esteticamente mais aceitável, optou-se pelo metal;
Placa interior do braço		Alumínio (chapa)	8g	1	Para se evitar um “buraco” por baixo do ombro / braço, criou-se esta peça com um designe diferente de todas as outras “placas”, mas que permite rentabilizar ao máximo o espaço e tornar o modelo mais parecido com o corpo humano;
Ligação das placas do braço		Nylon (varão)	1g	4	Em semelhança às pernas, criaram-se em nylon estes “tirantes” que ligam as placas dos braços ;
Motor pequeno com patilhas		Vários	27g	1	São necessárias as “patilhas” para fixar os motores HiTec HB85; Binário 0.2 N.m;
Encaixe de pino		Latão (varão)	0.8g	1	São necessários dois pontos de apoio para a rotação de uma peça em relação à outra, este é um;
Pino		Aço (varão)	0.7g	1	Em aço porque os esforços a que estará sujeito são elevados para a sua dimensão;
Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	2	Garantem a transmissão de movimento da roseta para a estrutura (braço ao lado);

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Parafuso umbraco M3 L20		Ferro	1g	1	Garante a transmissão de movimento entre o “veio” de braço ao lado e a roseta;
Parafuso M3 L20		Ferro	1g	2	Com a ajuda de quatro porcas, fixam o motor à estrutura;
Parafuso M3 L10		Ferro	1g	12	Oito unem as placas através de “Ligação das placas do braço”;, enquanto os outro quatro unem as placas a “Estrutura do braço” que liga o braço ao resto do corpo;
Porca M3		Ferro	0.5g	8	Quatro fixam o motor à estrutura, os outro quatro unem as placas a “Estrutura do braço” que liga o braço ao resto do corpo;
Roseta pequena		Alumínio (varão)	3g	1	Esta pequena peça recebe movimento do “veio” que vem do motor (furo transversal) e passa-o à estrutura (furos longitudinais);
TOTAL	-	-	96 g	36 peças	(no real, pesou-se 64g)

6.14 - Ante braço:

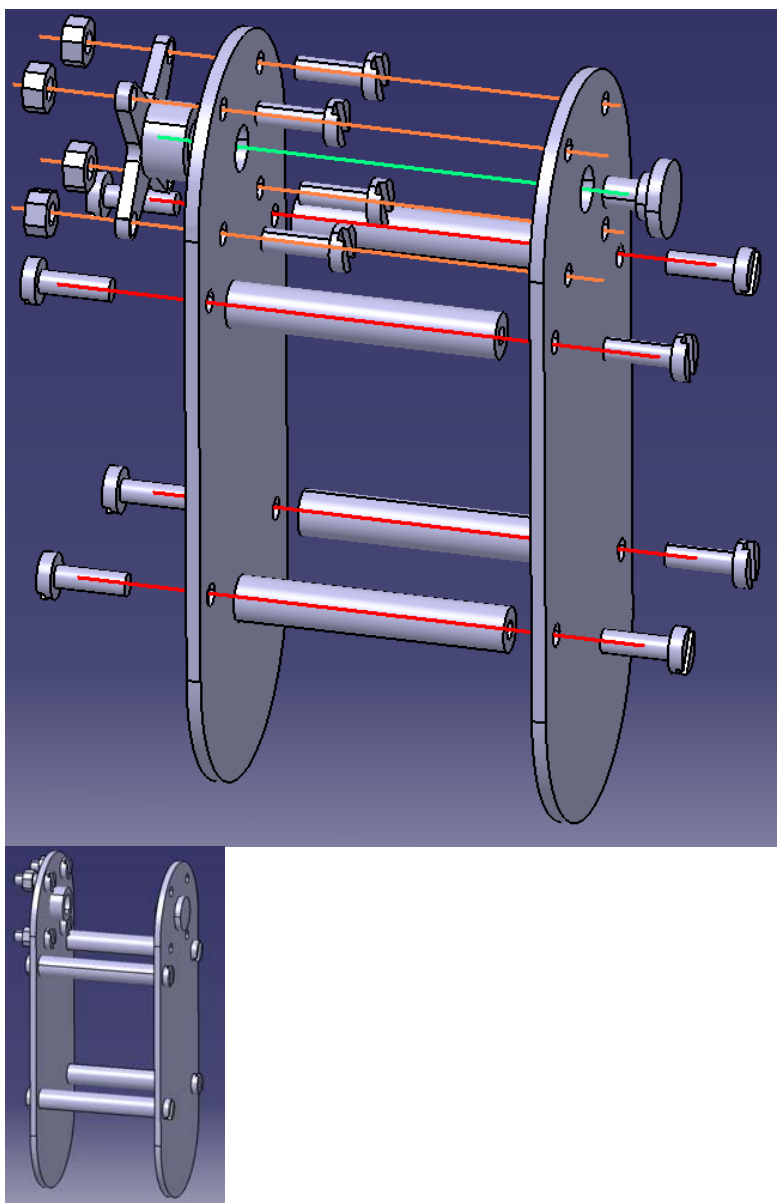
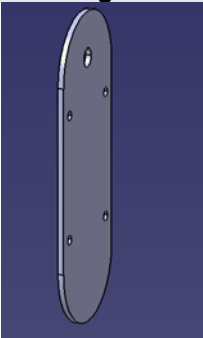


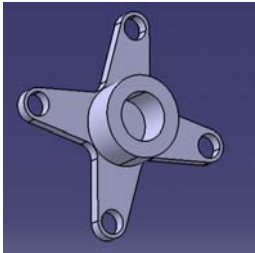




Fig. 63 – Modelação do ante braço.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Observações
Placa do ante braço		Alumínio (chapa)	11g	2	Chapa de alumínio que forma o antebraço, tal como as do braço, esta também poderia ser em nylon, o seu comprimento pretende-se proporcional ao resto do corpo;;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Ligação das placas do ante braço		Nylon (varão)	1g	4	Idêntico aos outros “tirantes”;
Pino		Aço (varão)	0.7g	1	Em aço porque os esforços a que estará sujeito são elevados para a sua dimensão;
Estrela do motor pequeno		Plástico	0.9g	1	Passa o movimento do motor à estrutura;
Parafuso M3 L10		Ferro	1g	12	Oito unem as placas através de “Ligação do ante braço”;, enquanto os outro quatro ligam a estrela do motor pequeno a uma das placas;
Porca M3		Ferro	0.5g	4	Fixam a estrela à estrutura;
TOTAL	-	-	42 g	24 peças	(não se chegou a montar o real)

6.15 - Robot completo:

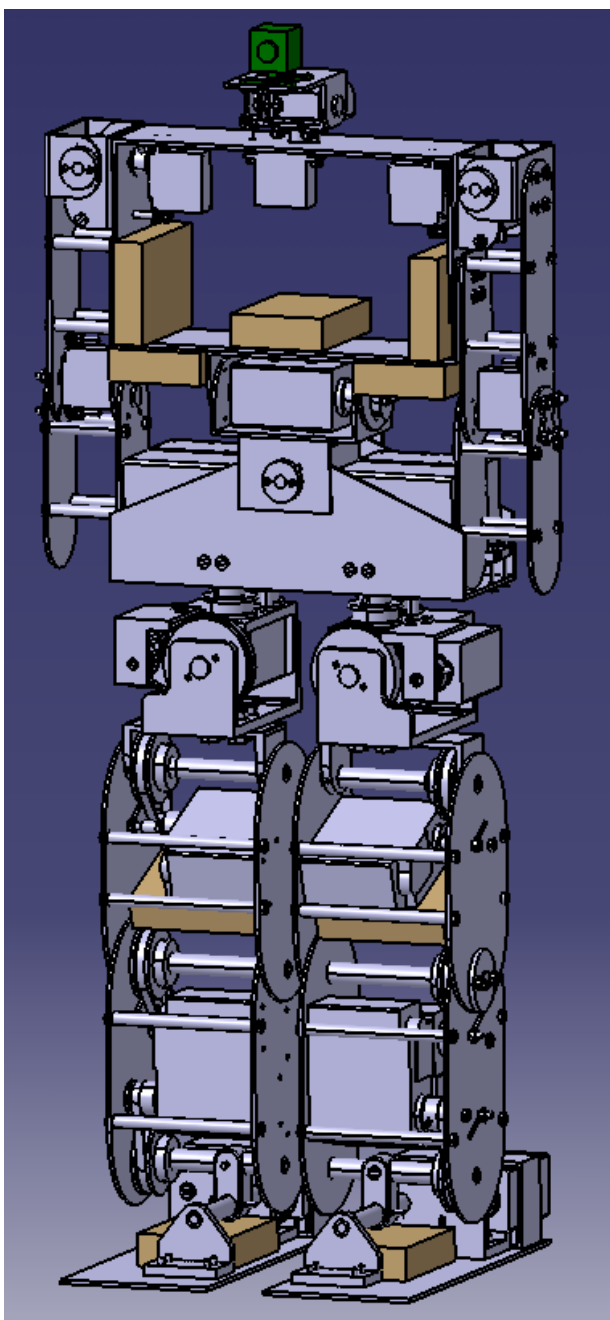
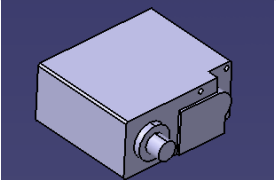
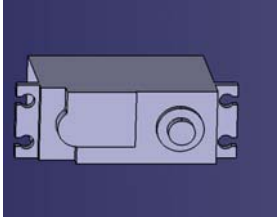
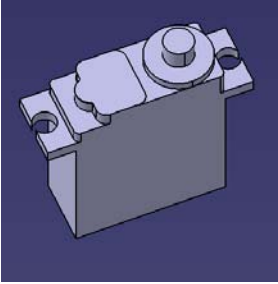
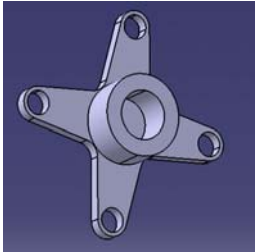
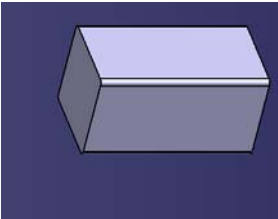
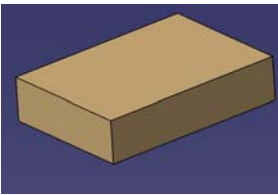
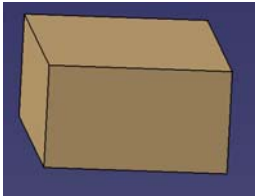
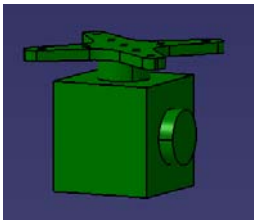


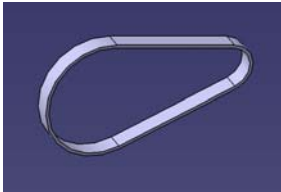
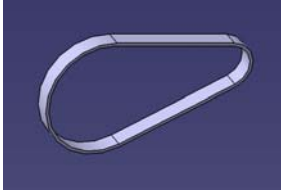




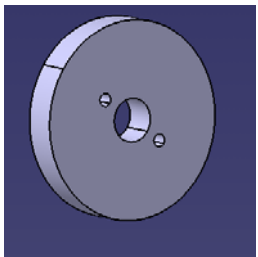

Fig. 64 – Modelação completa do robot.

Componente	Imagem	Material	Peso	Quantidade	Assembles onde aparece
Motor grande sem patilhas		Vários	151g	12	Pé Direito e Pé Esquerdo; Perna Direita e Perna Esquerda; Coxa Direita e Coxa Esquerda; Anca cima Direita e Esquerda; Barra anca; Cintura;

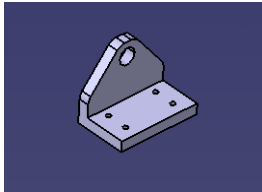
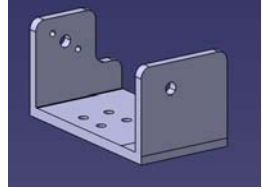
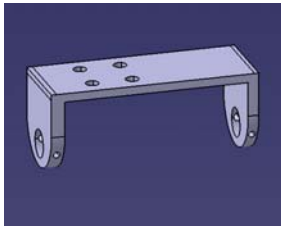
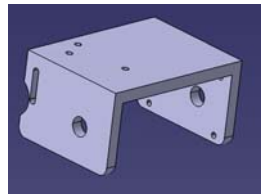
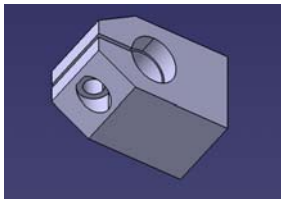
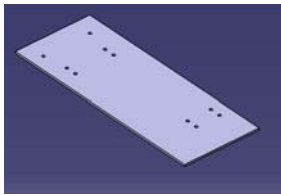
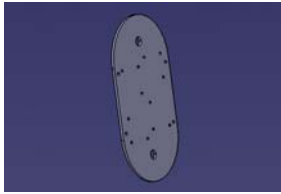
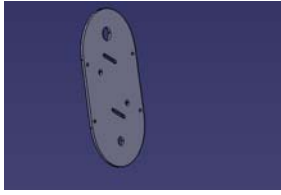
Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Motor grande com patilhas		Vários	151g	2	Barra anca;
Motor pequeno com patilhas		Vários	27g	8	Peito; Pescoço; Ombro Direito e Ombro Esquerdo; Braço Direito e Braço Esquerdo;
Estrela do motor pequeno		Plástico	0.9g	4	Pescoço; Cabeça; Ante braço Direito e Esquerdo;
Bateria		Vários	176g	2	Barra anca;
Placas de controlo		Vários	25g	4	Pé Direito e Pé Esquerdo; Coxa Direita e Coxa Esquerda;
Placa das baterias		Vários	12g	7	Barra anca; Peito;
Câmara		Vários	25g	1	Cabeça;


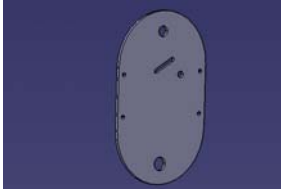
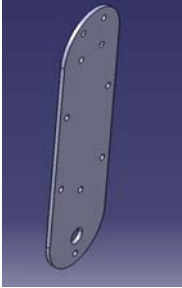
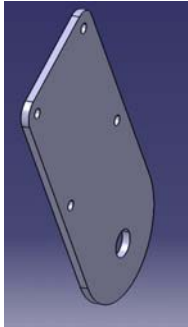
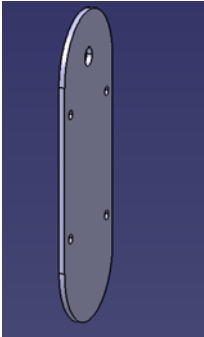

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Correia L145		Borracha com fios de aço	0.6g	8	Pé Direito e Pé Esquerdo; Perna Direita e Perna Esquerda; Coxa Direita e Coxa Esquerda;
Correia L180		Borracha com fios de aço	0.6g	2	Anca cima Direita e Esquerda;
Rolamento		Aço	0.6g	4	Barra anca;
Polia Z16		Alumínio	5g	10	Pé Direito e Pé Esquerdo; Perna Direita e Perna Esquerda; Coxa Direita e Coxa Esquerda; Anca cima Direita e Esquerda;
Polia Z30		Alumínio	14g	4	Anca cima Direita e Esquerda; Barra anca;
Polia Z40		Alumínio	26	8	Tornozelo Direito e Esquerdo; Coxa Direita e Coxa Esquerda; Anca baixo Direita e Esquerda;
Polia Z60		Alumínio	43g	2	Anca baixo Direita e Esquerda;
Entre eixo Pé Direito		Alumínio (bloco)	52g	2	Pé Direito e Pé Esquerdo;

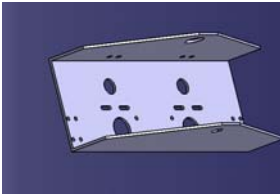
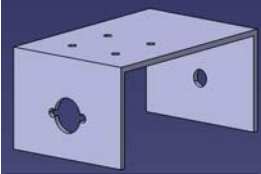
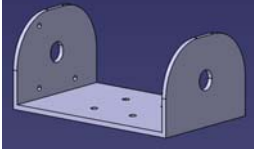
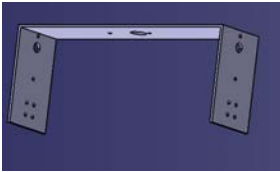
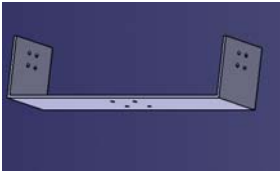
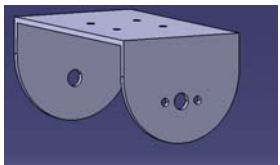
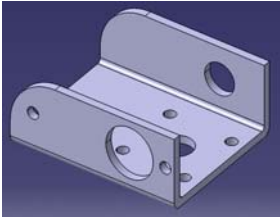
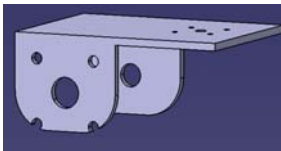
Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Apoio veio Pé		Alumínio (bloco)	23g	2	Pé Direito e Pé Esquerdo;
Ligação coxa anca 1		Alumínio (bloco)	104g	2	Anca baixo Direita e Esquerda;
Ligação coxa anca2		Alumínio (bloco)	34g	2	Anca baixo Direita e Esquerda;
Fixação do motor anca ao lado		Alumínio (bloco)	79g	2	Anca cima Direita e Esquerda;
Apoio dos rolamentos		Alumínio (bloco)	27g	2	Barra anca;
Planta Pé Direito		Alumínio (chapa)	86g	2	Pé Direito e Pé Esquerdo;
Placa interior da perna		Alumínio (chapa)	47g	2	Perna Direita e Perna Esquerda;
Placa exterior da perna		Alumínio (chapa)	46g	2	Perna Direita e Perna Esquerda;

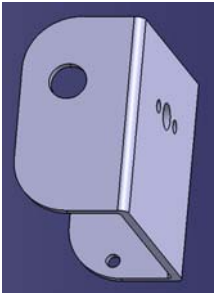
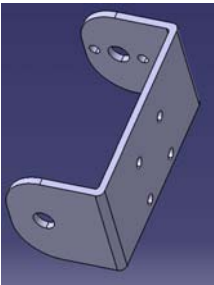
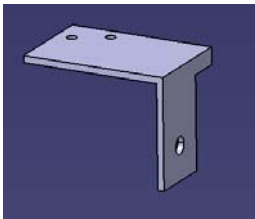

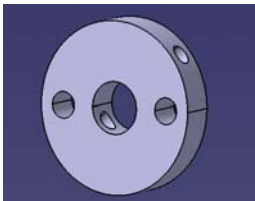
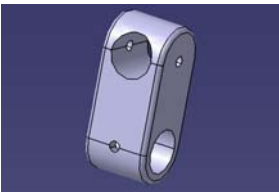

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Placa interior da coxa		Alumínio (chapa)	41g	2	Coxa Direita e Coxa Esquerda;
Placa exterior da coxa		Alumínio (chapa)	41g	2	Coxa Direita e Coxa Esquerda;
Placa exterior do braço		Alumínio (chapa)	16g	2	Braço Direito e Braço Esquerdo;
Placa interior do braço		Alumínio (chapa)	8g	2	Braço Direito e Braço Esquerdo;
Placa do ante braço		Alumínio (chapa)	11g	4	Ante braço Direito e Esquerdo;
Fixação Motor Pé		Alumínio (chapa)	23g	2	Pé Direito e Pé Esquerdo;





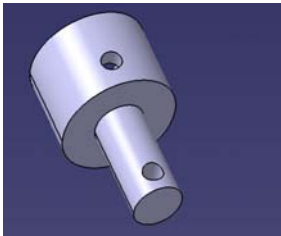
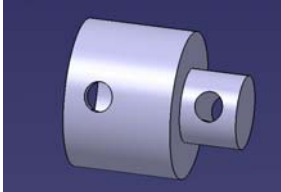
Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Ligação das coxas		Alumínio (chapa)	155g	1	Barra anca;
Ligação cintura anca 1		Alumínio (chapa)	34g	1	Cintura;
Ligação cintura anca 2		Alumínio (chapa)	33g	1	Cintura;
Estrutura de cima do peito		Alumínio (chapa)	81g	1	Peito;
Estrutura de baixo do peito		Alumínio (chapa)	69g	1	Peito;
Inclina cintura à frente		Alumínio (chapa)	35g	1	Peito;
Estrutura do pescoço		Alumínio (chapa)	13g	1	Pescoço;
Estrutura da cabeça		Alumínio (chapa)	18g	1	Cabeça;


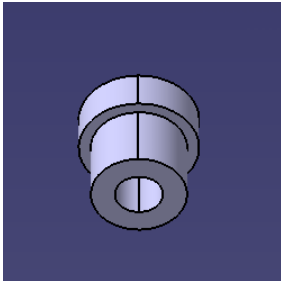






Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Estrutura ombro direito		Alumínio (chapa)	19g	2	Ombro Direito e Ombro Esquerdo;
Estrutura do braço		Alumínio (chapa)	15g	2	Braço Direito e Braço Esquerdo;
Apoio do motor anca ao lado		Alumínio (chapa)	10g	2	Anca cima Direita e Esquerda;
Veio da anca		Alumínio (varão)	18g	2	Anca baixo Direita e Esquerda;
Roseta pequena		Alumínio (varão)	3g	6	Cintura; Peito; Braço Direito e Braço Esquerdo; Ombro Direito e Ombro Esquerdo;
Ligação do tornozelo		Aço (bloco)	13	2	Tornozelo Direito e Esquerdo;
Chaveta		Aço (bloco)	15g	2	Coxa Direita e Coxa Esquerda;









Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Veio Pé		Aço (varão)	54	2	Tornozelo Direito e Esquerdo;
Veio Tornozelo		Aço (varão)	48	2	Tornozelo Direito e Esquerdo;
Veio do joelho		Aço (varão)	50g	2	Coxa Direita e Coxa Esquerda;
“Veio” virar		Aço (varão)	12g	2	Anca cima Direita e Esquerda;
Pino		Aço (varão)	0.7g	7	Cintura; Peito; Cabeça; Braço Direito e Braço Esquerdo; Ante braço Direito e Esquerdo;
“Veio”		Aço (varão)	10g	5	Cintura; Peito; Ombro Direito e Ombro Esquerdo;
“Veio” da cintura ao lado		Aço (varão)	5g	1	Barra anca;

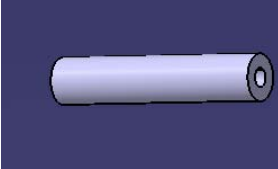

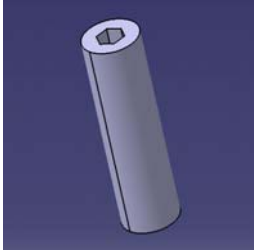
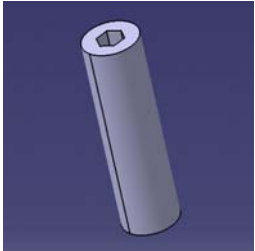
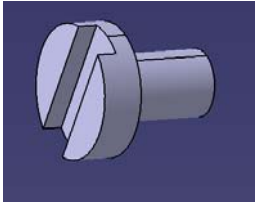


Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Pino anca		Latão (varão)	2g	2	Anca baixo Direita e Esquerda;
Encaixe para pino anca		Latão (varão)	3g	2	Anca cima Direita e Esquerda;
Encaixe de pino		Latão (varão)	0.8g	7	Barra anca; Cintura; Pescoço; Ombro Direito e Ombro Esquerdo; Braço Direito e Braço Esquerdo;
Casquilho de “veio”		Latão (varão)	2g	5	Cintura; Peito; Ombro Direito e Ombro Esquerdo;
Apoio do “veio” da cintura ao lado		Latão (varão)	7g	1	Barra anca;
Apoio da polia da anca		Latão (varão)	6g	2	Anca baixo Direita e Esquerda;
Rolete		Latão (varão)	1g	14	Pé Direito e Pé Esquerdo; Perna Direita e Perna Esquerda; Coxa Direita e Coxa Esquerda; Anca cima Direita e Esquerda; Barra anca;
Casquilho 3-8 L5		Latão (varão)	2g	2	Pé Direito e Pé Esquerdo;

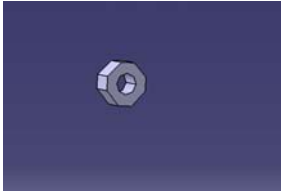
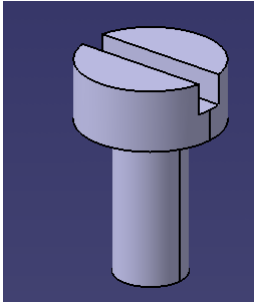
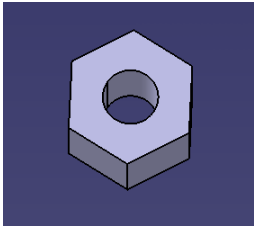
Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Casquilho 5-8 L5		Latão (varão)	2g	2	Pé Direito e Pé Esquerdo;
Casquilho 3-5		Latão (varão)	0.2g	8	Perna Direita e Perna Esquerda; Coxa Direita e Coxa Esquerda; Anca cima Direita e Esquerda;
Casquilho 5-8		Latão (varão)	0.5g	12	Perna Direita e Perna Esquerda; Coxa Direita e Coxa Esquerda;
Casquilho 6-8		Latão (varão)	0.9g	4	Pé Direito e Pé Esquerdo; Anca cima Direita e Esquerda;
Casquilho 3-12		Latão (varão)	0.6g	2	Perna Direita e Perna Esquerda;
Apoio motor Pé		Nylon (chapa)	5g	2	Pé Direito e Pé Esquerdo;
Ligação das placas da perna		Nylon (varão)	3g	8	Perna Direita e Perna Esquerda;
Ligação das placas da coxa		Nylon (varão)	3g	8	Coxa Direita e Coxa Esquerda;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Ligação das placas do braço		Nylon (varão)	1g	8	Braço Direito e Braço Esquerdo;
Ligação das placas do ante braço		Nylon (varão)	1g	8	Ante braço Direito e Esquerdo;
Parafuso umbraco M3 L10		Ferro	1g	40	Pé Direito e Pé Esquerdo; Tornozelo Direito e Esquerdo; Perna Direita e Perna Esquerda; Coxa Direita e Coxa Esquerda; Anca baixo Direita e Esquerda; Anca cima Direita e Esquerda; Barra anca; Cintura; Peito; Ombro Direito e Ombro Esquerdo; Braço Direito e Braço Esquerdo;
Parafuso umbraco M3 L20		Ferro	1g	14	Anca baixo Direita e Esquerda; Anca cima Direita e Esquerda; Braço Direito e Braço Esquerdo; Cintura; Peito; Ombro Direito e Ombro Esquerdo;
Parafuso M3 L5		Ferro	0.6g	12	Pescoço; Cabeça;
Parafuso M3 L10		Ferro	1g	144	Pé Direito e Pé Esquerdo; Perna Direita e Perna Esquerda; Coxa Direita e Coxa Esquerda; Anca cima Direita e Esquerda; Barra anca; Cintura; Peito;
Parafuso M3 L20		Ferro	1g	40	Pé Direito e Pé Esquerdo; Tornozelo Direito e Esquerdo; Perna Direita e Perna Esquerda; Coxa Direita e Coxa Esquerda; Anca cima Direita e Esquerda; Pescoço; Braço Direito e Braço Esquerdo; Ante braço Direito e Esquerdo; Barra anca; Peito; Ombro Direito e Ombro Esquerdo; Braço Direito e Braço Esquerdo;

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

Porca M3		Ferro	0.5g	116	Pé Direito e Pé Esquerdo; Perna Direita e Perna Esquerda; Coxa Direita e Coxa Esquerda; Anca cima Direita e Esquerda; Barra anca; Cintura; Peito; Pescoço; Cabeça; Ombro Direito e Ombro Esquerdo; Braço Direito e Braço Esquerdo; Ante braço Direito e Esquerdo;
Parafuso M5 L10		Ferro	4g	8	Anca baixo Direita e Anca baixo Esquerda;
Porca M5		Ferro	0.5g	8	Anca baixo Direita e Esquerda;
TOTAL	-	-	6589 g	636 peças	(o real pesou 6219g)

7 - Construção

Em termos de concepção e construção podem-se dividir as peças em quatro grupos:

- Chapa de alumínio quinadas;
- Bloco de alumínio feitas em CNC;
- Peças torneadas.

7.1 - Chapa quinadas;

As peças de chapa quinada, são peças obtidas a partir de uma chapa de Alumínio de espessura 2 mm. Um dos pontos importantes a ter em consideração neste processo é que o material ao ser quinado **estica** por fora e comprime por dentro. Por isso, tem de se fazer uma aproximação do comprimento. Para tal, o valor a ter em conta deve ser a espessura média, o comprimento interior mais metade da espessura da chapa, por cada ângulo de 90°. As peças de chapa maquinadas são as chapas em que é preciso fazer formas circulares, difíceis de garantir recorrendo as máquinas convencionais. Neste grupo incluem-se as chapas das pernas, do pé (neste caso só os furos e acerto de medidas), e placas dos braços.

7.2 - Bloco de alumínio feitas em CNC;

As peças maquinadas em bloco de alumínio são as peças que têm maior rigor de tolerâncias, como são o caso das peças em que se tem de garantir concentricidades. Por exemplo, as peças da anca, visto ser preciso garantir concentricidades e também como são preciso peças mais resistentes optou-se por se fazer em CNC e com espessura de 5mm. Esta espessura poderia ser menor, mas assim não era possível fazê-las no CNC, visto o material deformar.

7.3- Peças torneadas;

As peças que se enquadram neste grupo são:

- Pinos e seus encaixes feitos em latão, usados para garantir concentricidades;
- Veios de transmissão, feitos em aço e alumínio;
- Casquilhos feitos em latão, para diminuir o atrito entre veios e chapas;
- Apoios dos motores feitos em alumínio, onde se encaixam as polias, para se poder transmitir movimento do motor à estrutura.

8 - Sequência de Montagem

8.1 - Montagem dos pés:

Para a montagem dos pés, começou-se por maquinar duas chapas de alumínio. Em seguida fizeram-se os encaixes para o motor grande, os apoios para o veio do pé, o veio do pé, a peça de ligação do veio do pé ao veio do tornozelo e os casquilhos. Depois de ter as peças maquinadas, procedeu-se à montagem.

A sequência de montagem foi a seguinte:

- montar os casquilhos nos apoios dos veios;
- aparafusar o apoio do veio da frente;
- encaixar a peça de ligação dos veios no veio do pé;
- aparafusar o apoio do veio de trás;
- aparafusar o encaixe do motor grande;
- montar a polia de 40 dentes, no veio do pé;
- montar a polia de 16 dentes, no motor grande;
- montar a correia de transmissão.



Fig. 65 – Peças usadas no pé.

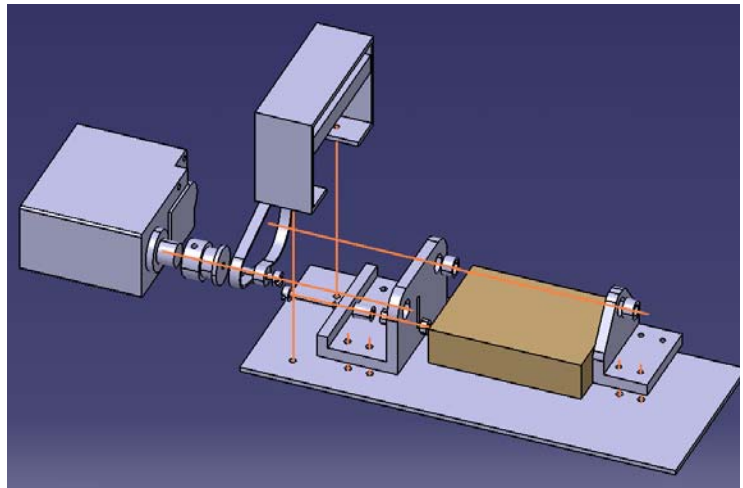


Fig. 66 – Vista explodida do pé.

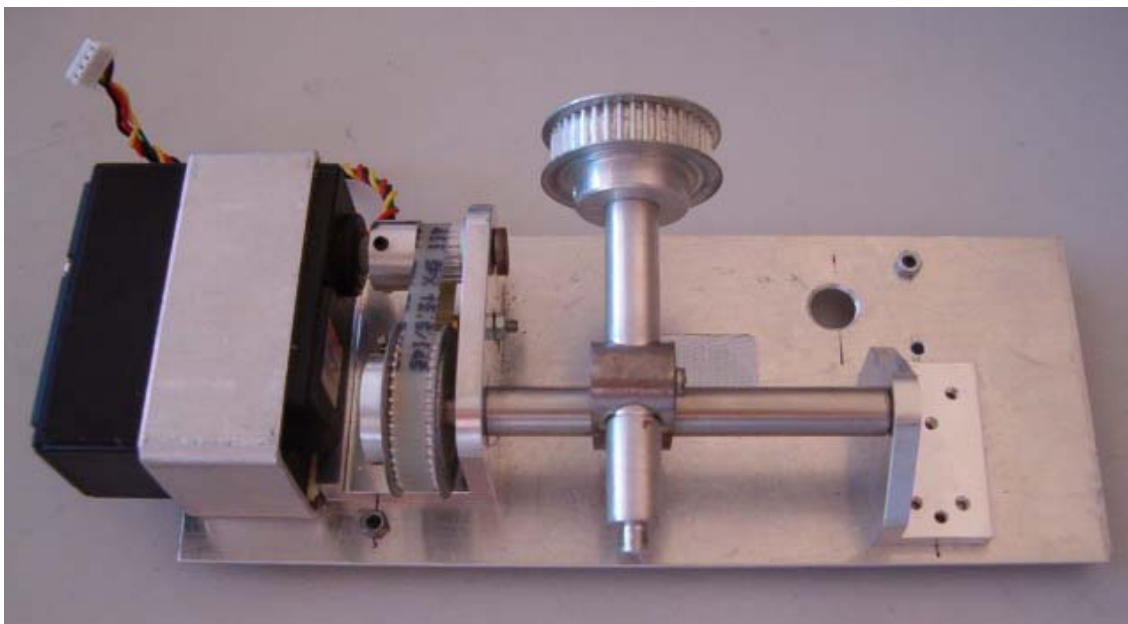


Fig. 67 – Montagem final do pé.

8.2 - Montagem das pernas:

Para a montagem das pernas, começou-se por maquinar as quatro chapas de alumínio da estrutura. Em seguida fizeram-se os veios de ligação, em nylon, das chapas da estrutura, os encaixes para as polias de 16 dentes, os casquilhos para o parafuso que guia os motores, fazer os casquilhos para os veios do tornozelo e para o veio do joelho e por último o rolete em latão para os esticadores das correias. Depois de ter as peças maquinadas, procedeu-se à montagem.

A sequência de montagem foi a seguinte:

- montar as polias de 16 dentes nos motores;
- aparafusar os motores na chapa da estrutura;
- aparafusar os veios de ligação das duas chapas;
- montar o esticador na estrutura;
- colocar os casquilhos no estrutura.

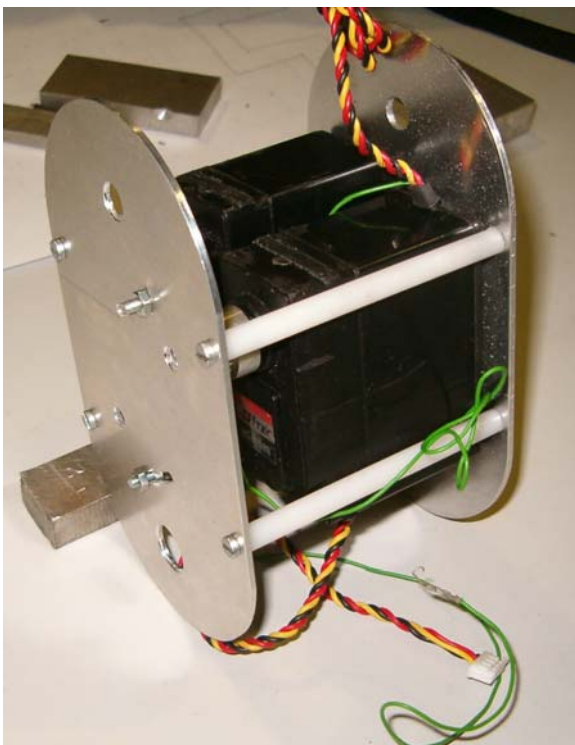


Fig. 68 – Montagem da estrutura da perna.

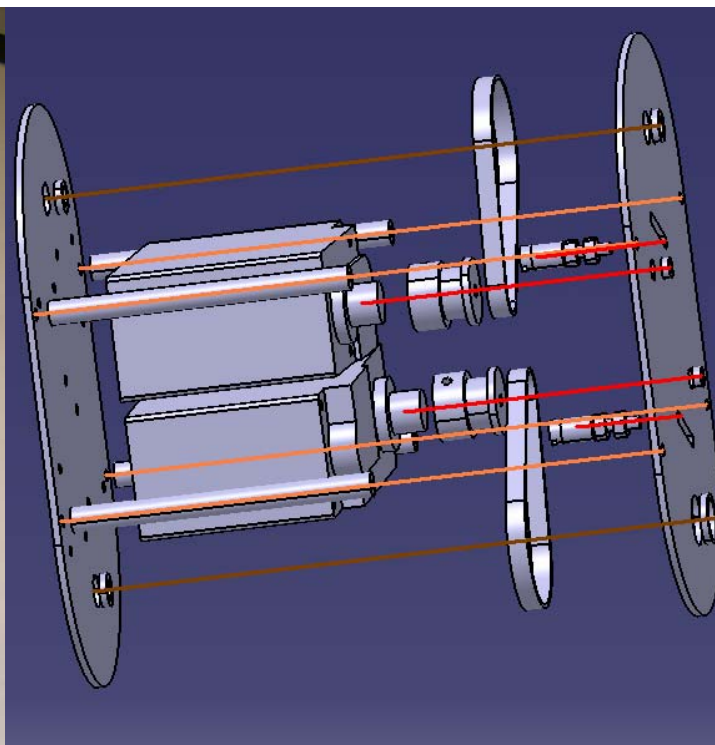


Fig. 69 – Vista explodida da perna.

8.3 - Montagem das coxas:

Para a montagem das coxas, começou-se por maquinar as quatro chapas de alumínio da estrutura. Em seguida fizeram-se os veios de ligação, em nylon, das chapas da estrutura, os encaixes para as polias de 16 dentes, os casquilhos para o parafuso que guia os motores, fazer os casquilhos para os veios do joelho e para o veio do anca, a roseta de encaixe do veio do joelho e por ultimo o rolete em latão para os esticadores das correias. Depois de ter as peças maquinadas, procedeu-se à montagem.

A sequência de montagem foi a seguinte:

- aparafusar os motores na chapa da estrutura;
- aparafusar os veios de ligação das duas chapas;
- colar e aparafusar a roseta na chapa exterior da coxa;
- montar o esticador na estrutura;
- colocar os casquilhos no estrutura;

- montar as polias de 16 dentes nos motores;
- colocar a correia de transmissão;
- colocar a polia de 40 dentes no veio da anca e na ligação perna anca.



Fig. 70 – Montagem da estrutura da coxa.

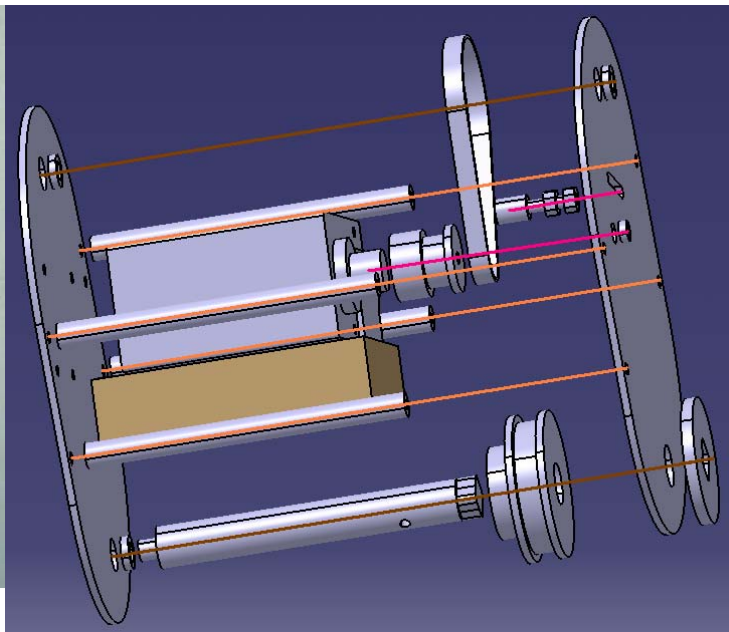


Fig. 71 – Vista explodida do pé.

8.4 - Montagem da Anca:

Para a montagem da anca, começou-se por quinar a chapa de alumínio da barra anca e em seguida maquina-la em CNC. Em seguida fizeram-se as peças para a junta esférica da anca, o veio em aço para suportar o peso das pernas, o apoio dos rolamentos, as veios de suporte em latão, os casquilhos em latão e os pinos, para garantir concentricidades, e por último o rolete em latão para os esticadores das correias. Depois de ter as peças maquinadas, procedeu-se à montagem.

A sequência de montagem foi a seguinte:

- colocar no veio da anca, os dois rolamentos;
- prendê-lo em seguida no apoio dos rolamentos;
- aparafusar o apoio dos rolamentos a chapa da barra anca;

- montar as polias de 40 dentes no veio da anca;
- aparafusar as polias de 30 dentes nas peças da anca;
- aparafusar os motores na chapa da estrutura;
- montar as polias de 30 dentes nos motores grandes;
- montar os esticadores na estrutura;
- aparafusar os motores grandes à peça “ligação anca 2”
- colocar o veio de suporte;
- aparafusar a chapa que faz com que o entreixo seja garantido.



Fig. 72 – Peças usadas na montagem da anca.

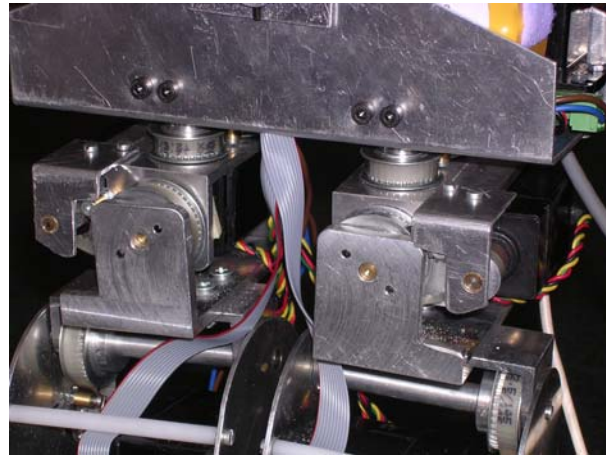


Fig. 73 – Montagem da anca.

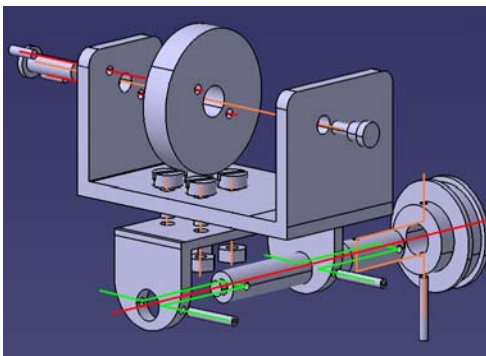


Fig. 74 – Vista explodida da anca baixo.

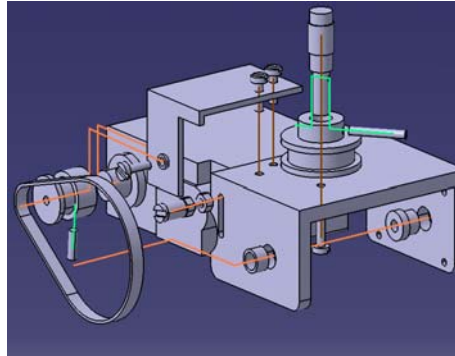


Fig. 75 – Vista explodida da anca cima.

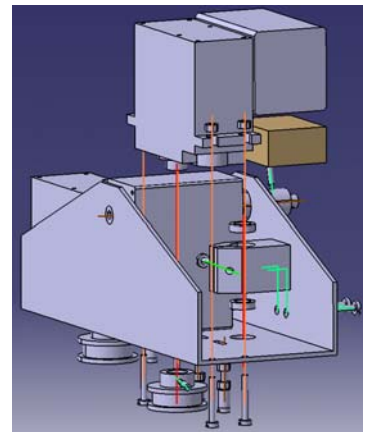


Fig. 76 – Vista explodida da barra anca.

8.5 - Juntar as pernas e coxas:

Para juntar as pernas à anca, começou-se por montar o veio do joelho que liga as pernas à coxa. Depois montou-se o veio da perna, que liga a perna à anca.

Para juntar os pés à estrutura anterior, começou-se por montar o veio do tornozelo na perna, em seguida fez-se o aperto dos parafusos da estrutura.



Fig. 77 – Ligação das pernas às coxas.

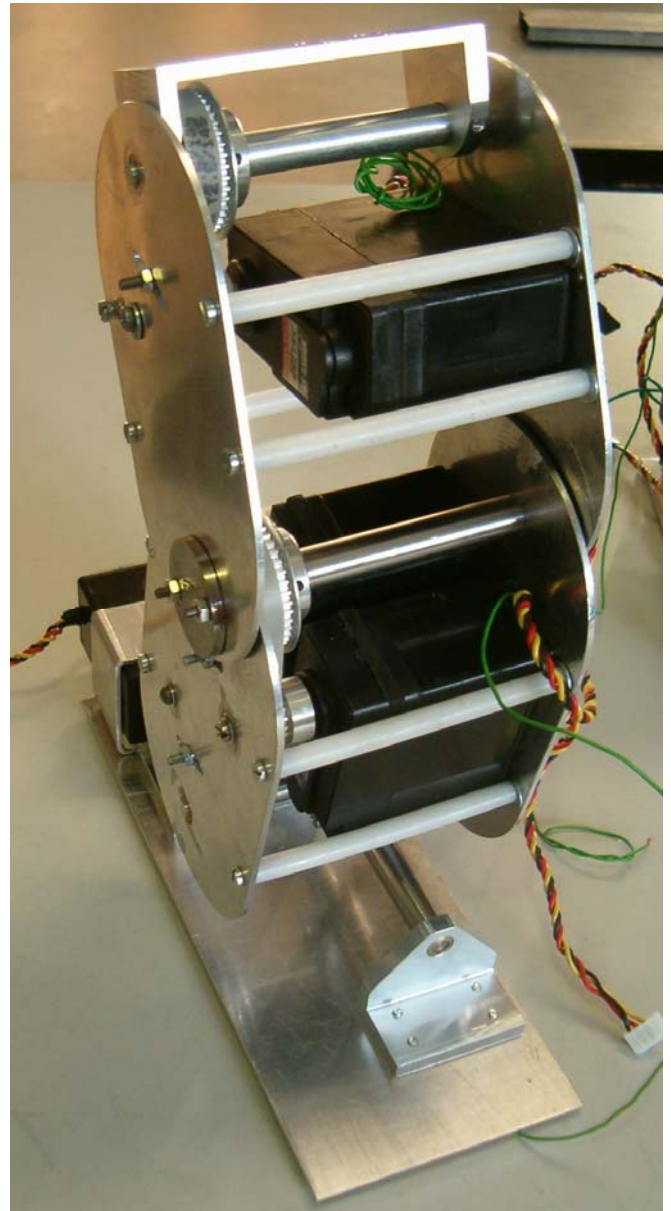


Fig. 78 – Ligação das pernas ao pé.

8.6 - Juntar a estrutura anterior à anca:

Fez-se a ligação das duas pernas à anca, isso faz-se aparafusando as pernas a peça da “ligação anca 1”.

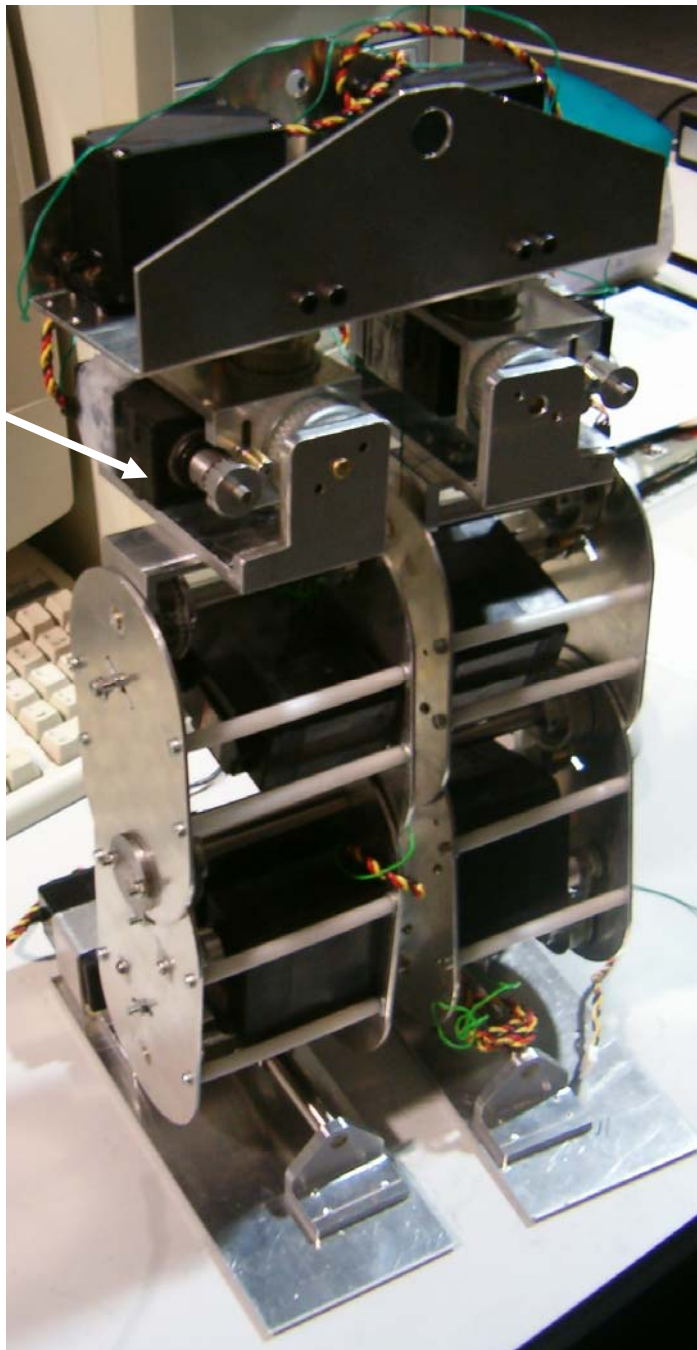


Fig. 79 – Ligação das pernas à anca.

8.7 - Montagem da ligação cintura:

Para a montagem da cintura, começou-se por quinar as chapas de alumínio das peças da cintura e em seguida maquiná-las em CNC. Em seguida fizeram-se os veios para a passagem de movimento do motor para a estrutura, as rosetas onde encaixam os veios, os casquilhos em latão e os pinos para garantir concentricidades. Depois de ter as peças maquinadas, procedeu-se à montagem.

A sequência de montagem foi a seguinte:

- aparafusar as duas chapas quinquadas, uma perpendicular uma com a outra;
- montar o veio no motor grande;
- aparafusar o motor grande à chapa quinquada;
- aparafusar a roseta;
- montar o encaixe do pino na barra anca;
- montar a cintura a anca;
- colocar o pino para garantir concentricidades;
- aparafusar o veio da cintura, que está na anca, à roseta.

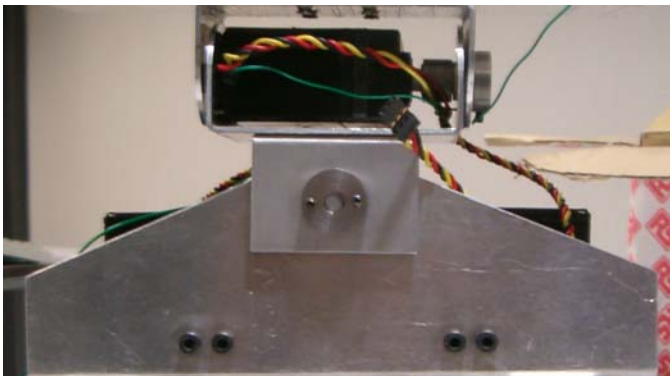


Fig. 80 – Montagem da cintura ligada à anca.

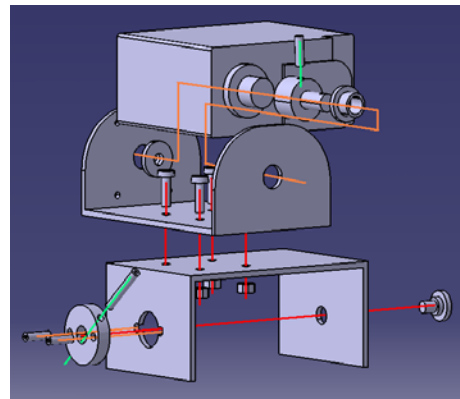


Fig. 81 – Vista explodida da cintura.

8.8 - Montagem do tronco:

Para a montagem do tronco, começou-se por quinar as chapas de alumínio das peças do tronco inferior e superior, a da ligação à cintura e em seguida maquina-las em CNC. Em seguida fizeram-se os veios para a passagem de movimento do motor para a estrutura, as rosetas onde encaixam os veios, os casquilhos em latão e os pinos para garantir concentricidades. Depois de ter as peças maquinadas, procedeu-se à montagem.

A sequência de montagem foi a seguinte:

- aparafusar as duas chapas quinquadas, de forma a se obter a estrutura do tronco;
- aparafusar a estrutura do tronco à chapa que liga à cintura;
- montar o veio nos motor pequenos;
- aparafusar os motores pequenos à estrutura do tronco.

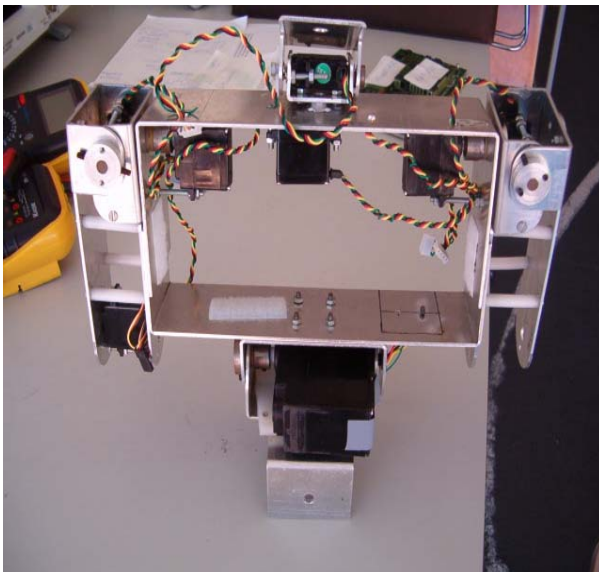


Fig. 82 – Montagem do tronco.

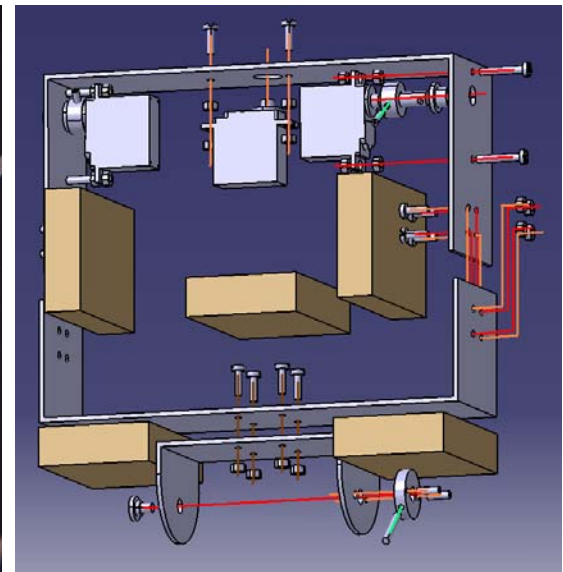


Fig. 83 – Vista explodida do peito.

8.9 - Montagem dos braços:

Para a montagem dos braços, começou-se por quinar as chapas de alumínio dos ombros em seguida maquinaram-se as chapas dos ombros mais a dos braços em CNC. Em seguida fizeram-se os veios para ligar as duas placas , o veio para a passagem de movimento do motor para a estrutura, as rosetas onde encaixam os veios , os casquilhos em latão e os pinos para garantir concentricidades. Depois de ter as peças maquinadas, procedeu-se à montagem.

A sequência de montagem foi a seguinte:

- aparafusar a chapa dos ombros à placa exterior do braço;
- aparafusar o motor pequeno à placa exterior do braço;
- montar os veios de ligação das placas dos braços;
- aparafusar a roseta na placa do ombro;
- colocar o encaixe do pino na placa interior do ombro para garantir concentricidades;
- colocar o pino na placa exterior do ombro para garantir concentricidades;
- aparafusar o veio da cintura a roseta.



Fig. 84 – Montagem do braço.



Fig. 85 – Montagem dos braços, ligados ao tronco.

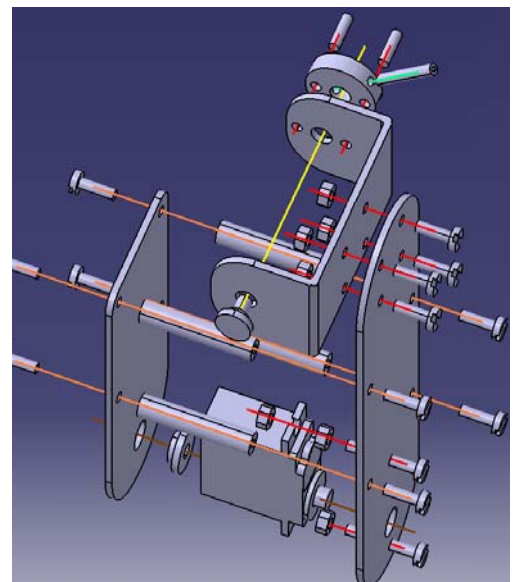


Fig. 86 – Vista explodida do braço.

8.10 - Montagem do pescoço e cabeça:

Para a montagem cabeça, começou-se por quinar as chapas de alumínio do pescoço e da cabeça e em seguida maquina-la em CNC. Em seguida fizeram-se os casquilhos em latão e os pinos para garantir concentricidades. Depois de ter as peças maquinadas, procedeu-se à montagem.

A sequência de montagem foi a seguinte:

- aparafusar o motor pequeno à placa do pescoço;
- aparafusar o motor pequeno ao pescoço, através da “estrela” do motor;
- colocar o encaixe do pino na placa do pescoço para garantir concentricidades;
- montar a placa da cabeça com a do pescoço;
- colocar o pino na placa da cabeça para garantir concentricidades;
- aparafusar a câmara na placa da cabeça.



Fig. 87 – Montagem do pescoço e cabeça.

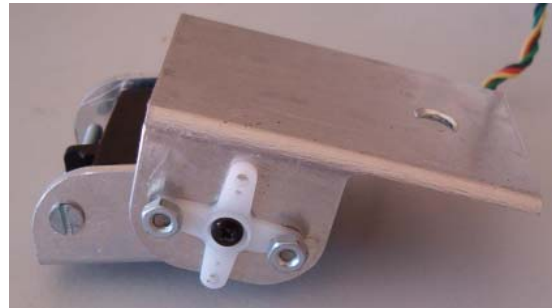


Fig. 88 – Montagem do pescoço e cabeça.

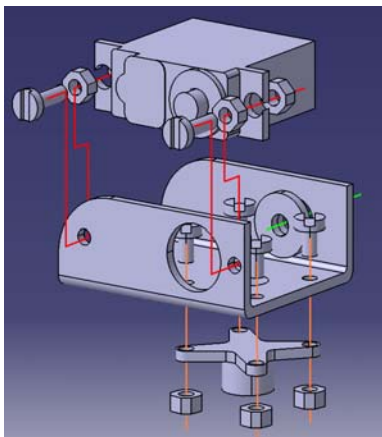


Fig. 89 – Vista explodida do pescoço.

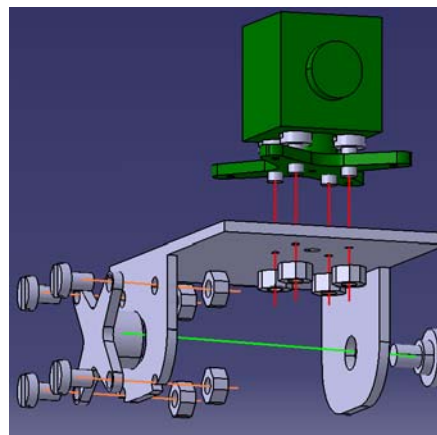


Fig. 90 – Vista explodida da cabeça.

8.11 - Montagem de toda a estrutura:

Depois de montada toda a estrutura procedeu-se a colocação do botão de emergência, das placas para distribuição de energia, que ficam situadas na barra da anca, colocaram-se os cabos de distribuição de energia, de comunicação (CAN) e por fim a montagem das placas de controlo, que foram presas provisoriamente à estrutura através de fita de velcro.

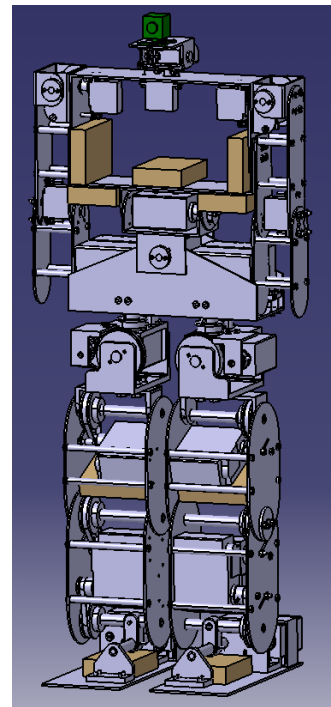


Fig. 91 – Modelação final do robot.

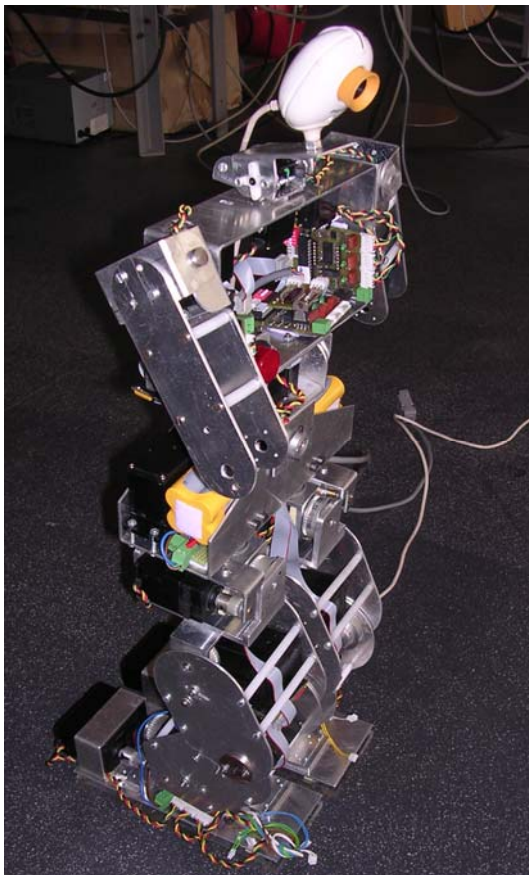


Fig. 92 – Estrutura humanóide final.

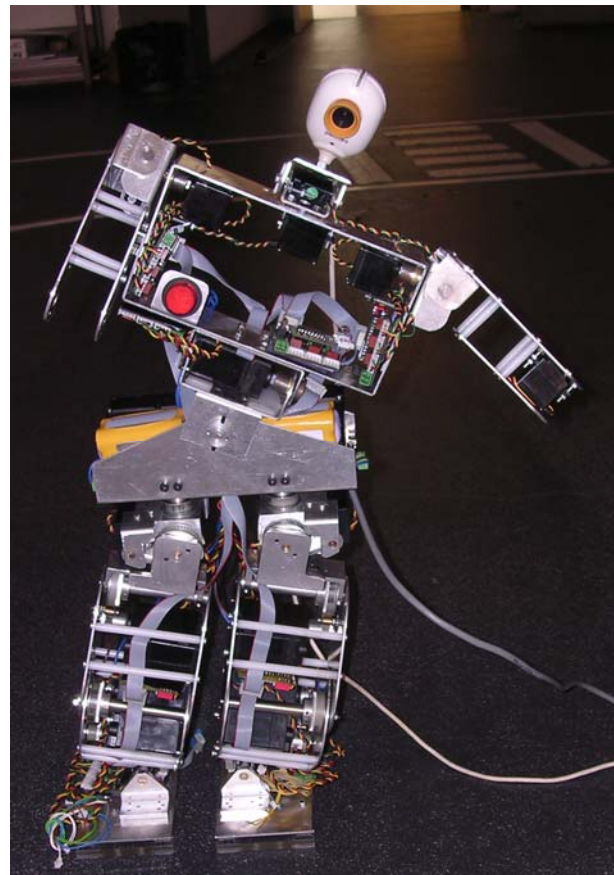


Fig. 93 – Outra vista da estrutura humanóide construída.

9 - Integração com o projecto de controlo e percepção

O âmbito deste projecto é sobretudo estrutural mas, como é óbvio, isso não chega para construir uma plataforma humanóide; é necessário que os motores colocados na estrutura sejam controlados e, numa fase mais avançada, será também necessário que a plataforma tenha capacidade de interpretar sensores e gerir as suas acções / reacções. Para isso, paralelamente a este trabalho, foi desenvolvido um outro projecto sem as preocupações estruturais e orientado para as problemáticas de controlo de motores e de implementação de sensores de força (extensómetros para os pés) e de inclinação (inclinómetros para a cintura).

Na fase final dos projectos, chegou a altura da integração dos trabalhos e testar os padrões de locomoção idealizados anteriormente após modelação em CATIA e análise estática em MatLab.

Com o trabalho realizado pelo outro grupo obteve-se informação sobre o protocolo e parâmetros de comunicação com as placas e então desenvolveu-se um programa em MatLab para a comunicação com o robot.

Os parâmetros gerais da comunicação:

- BaudRate de 19200 com terminador CR;
- enviando através da porta série para as placas de controlo dos motores, desenvolvidas pelo outro grupo, a sequência [0, 255, 255], era possível saber se as placas estavam bem ligadas (se respondiam ao pedido);
- para controlar um determinado motor, basta enviar o endereço do motor em causa, a posição final pretendida e a velocidade que se quer, mas podem ser dadas ordens para vários motores na mesma passagem.
- para ler a posição das juntas nos potenciómetros dos motores, só é necessário enviar três vezes o número que corresponde a esse motor (podem ser pedidas as leituras de vários potenciómetros ao mesmo tempo), e ler a resposta no buffer;

NOTA: este protocolo de comunicação foi desenvolvido pelo outro projecto paralelo, mas já foi actualizado;

Como em todas as coisas, vai uma grande distância entre a teoria / ensaios e a prática e foi só nesta etapa já final do trabalho que certas limitações do trabalho se revelaram.

Da parte deste trabalho há que salientar:

- a idealização da locomoção:

Pretendia-se uma locomoção o mais parecida com a humana, pernas esticadas que “balançam” para trás e para a frente, joelhos a dobrar só para trás e tornozelos que pudessem compensar para trás ou para a frente, mas tal abordagem revelou-se extremamente instável e difícil na prática. Assim optou-se por fazer aquilo que a maior parte dos outros grupos fazem, colocar o robot “sentado” no ar, isto é, sempre com os joelhos dobrados, desta forma o robot revelou-se muito mais estável. Esta diferença dever-se-á a folgas mecânicas e, sobretudo, à “elasticidade” do motor que como tem controlo proporcional, para pequenas diferenças entre a posição pretendida e a real não faz força suficiente para aguentar o robot na vertical;

- resistência limitada das correias de transmissão:

Já se tinha concluído que as rodas dentadas não serviam para este trabalho, mas as correias também mostraram algumas limitações pois partiram mais do que se esperava. A transmissão por correia é uma boa solução, pois todas as correias que partiram quando houve problemas no controlo, já que em funcionamento normal não partiu nenhuma. De referir um dia em que partiram três correias de seguida no mesmo motor (pé direito ao lado), mas sempre quando o controlo falhava; tal poderá ter a ver também por alguma falta de paralelismo entre as polias e isto será o mais provável, com os esticadores. Tal falta de paralelismo fará que a tensão seja aplicada apenas de um lado da correia e se houver uma falha de um lado, esta irá propagar até romper a correia;

- rudimentaridade dos esticadores:

Os esticadores utilizados não são mais que um parafuso com um rolete para diminuir o atrito com a correia e duas porcas que o fixam à chapa no sítio correcto. Tal simplicidade traz problemas: um que não se conseguiu concluir qual a gravidade que foi o não ficar perfeitamente perpendicular às chapas que poderá estar na origem de fissuras em correias. Outra coisa, essa facilmente visível na figura 94, é estarem a “espalmar” as chapas de alumínio onde apertam, para diminuir este efeito colocaram-se anilhas entre as porcas e as chapas. Para além de tudo isto ainda havia grande dificuldade em garantir tensão nas correias devido à dificuldade em apertar os esticadores (acesso difícil) o que fazia com que por vezes as correias saltassem;



Fig. 94 – Chapa com o rasgo para os esticadores moídos.

- limitações de design:

Devido à mudança de idealização da locomoção, passagem para uma locomoção com os joelhos dobrados, existe alguma amplitude de movimentos desnecessária e outro tipo de movimentos que assim parecem insuficientes para permitir uma locomoção mais ampla, para além que o “roçar” entre algumas chapas (por exemplo da perna e coxa

no joelho) se revelou mais problemático do que se supunha e ainda alguns pormenores como a roseta dos joelhos ter ganho folga (joelho direito sobretudo), leva a colocar-se a hipótese de uma remodelação de várias partes do robot para o próximo ano.

10 - Modelo 2007

Visto o projecto desenvolvido ser um protótipo, logo há sempre aspectos a serem melhorados. Os casos seguintes, são os casos que se descobriram e já não houve tempo para alterar.

As alterações necessárias em relação ao modelo existente são as seguintes:

- Alargar o peito, de forma a poder acomodar mais componentes;
- Aumentar a distância entre o peito e os braços, aumentando para isso o veio do braço;
- Diminuir a estrutura da cabeça, e colocar a câmara virada para cima;
- Alterar o veio e chaveta do joelho, para ter maior superfície de contacto;
- Alterar o material dos tirantes, passar de nylon para parafuso roscado.
- Alterar a posição dos tirantes da coxa .

Alargar o peito, de forma a poder acomodar mais componentes, e ficar da largura da barra anca para assim ficar esteticamente mais atractivo.

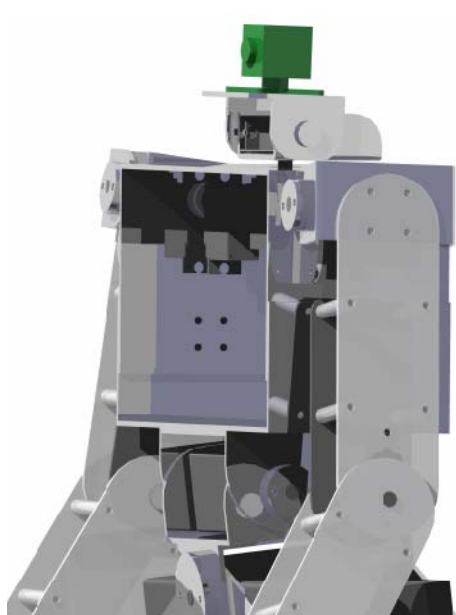


Fig. 95 – Solução para o peito.

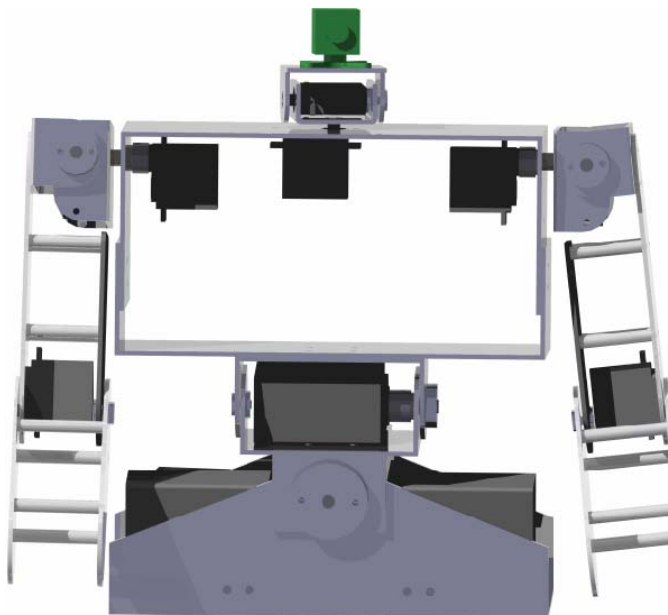


Fig. 96 – Solução para o peito.

Aumentar a distância entre o peito e os braços, aumentando para isso o veio do braço. Este aumento da distância serve para o braço não chocar com o parafusos que ligam a estrutura inferior do peito à superior. Na solução existente os braços têm de estar um pouco abertos para assim não chocar nos parafusos.

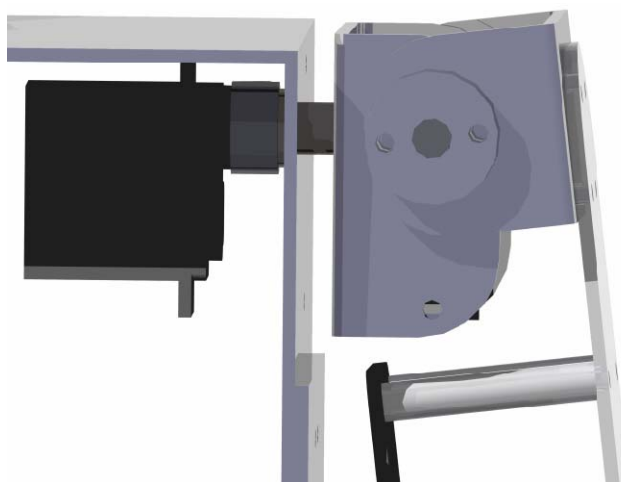


Fig. 97 – Solução para o veio do braço.

Diminuir a estrutura da cabeça, e colocar a câmara virada para cima. Na solução existente a estrutura da cabeça está maior porque há a hipótese de meter a câmara virada para baixo, para assim ganhar uns centímetros e assim

estar dentro das medidas máximas do RobCup2005, que são 60 cm, mas como o robot está dentro dessas medidas e a câmara que se virá a usar tem dimensões reduzidas, pode-se usar a câmara por cima.

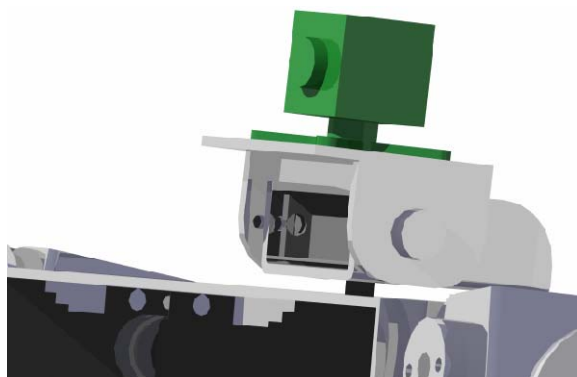


Fig. 98 – Solução para a cabeça.

Alterar o veio (figura 99) e roseta do joelho (figura 100), para ter maior superfície de contacto. Na solução como a área de contacto entre o veio e a roseta não é muito grande, está-se com problemas de folga. Para solucionar este problema optou-se por aumentar a área de contacto do veio propõe-se a solução seguinte:



Fig. 99 – Solução para o veio do joelho.



Fig. 100 – Solução para a roseta do joelho.



Fig. 101 – Solução para o veio e roseta do joelho.

Alterar os tirantes para parafuso roscado em vez do nylon usado. Assim ganha-se mais resistência e é mais fácil fazer o acerto, visto a largura dos elos da perna e coxa poderem ser alterados, bastando para isso alterar a posição das porcas de aperto.

Alterar a posição dos tirantes da coxa, para se poder baixar mais. Para isso subiu-se a posição do tirante de trás. Para termos uma solução parecida com a “rótula humana”, baixou-se o tirante da frente para travar o movimento, assim servindo de travão.

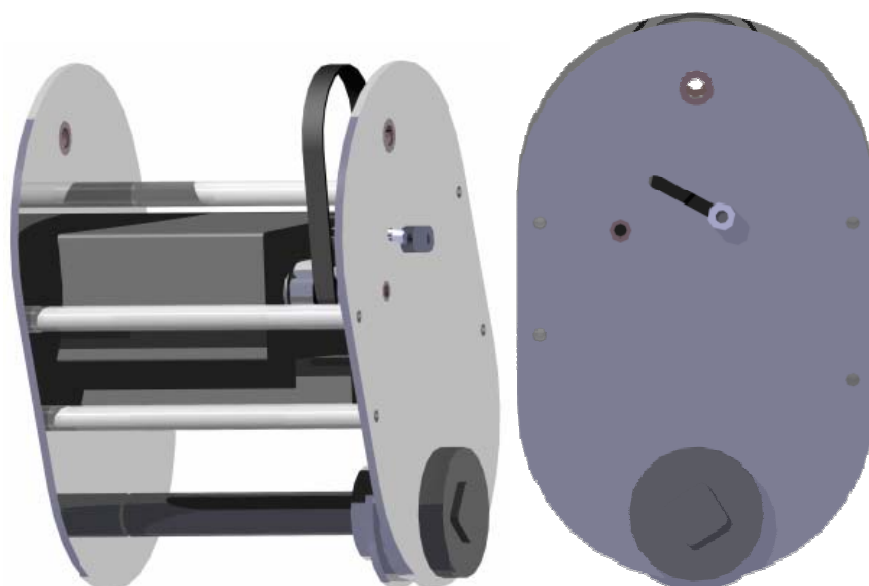


Fig. 102 – Solução para se poder baixar mais.

Solução proposta já com os problemas detectados:

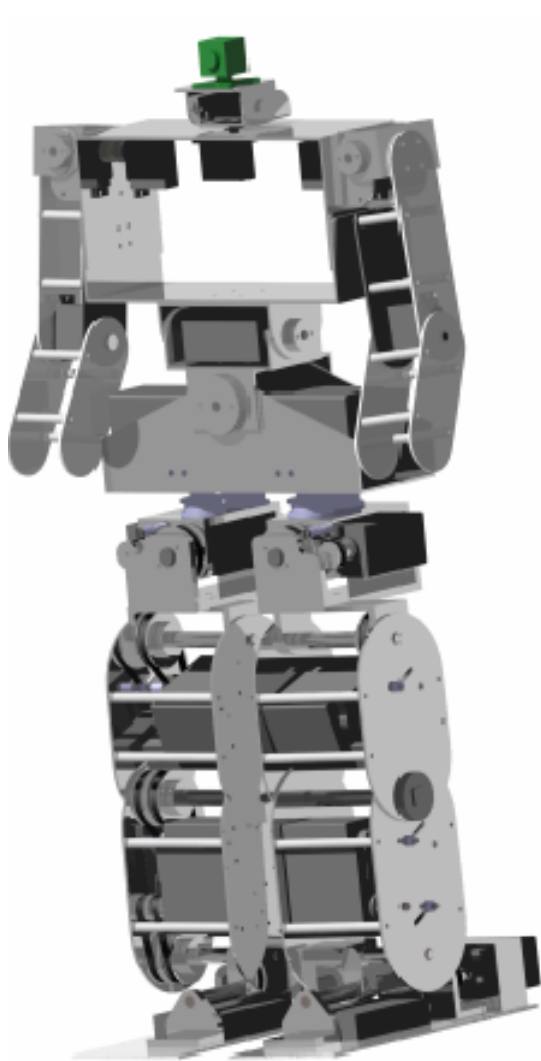


Fig. 103 – Solução final.

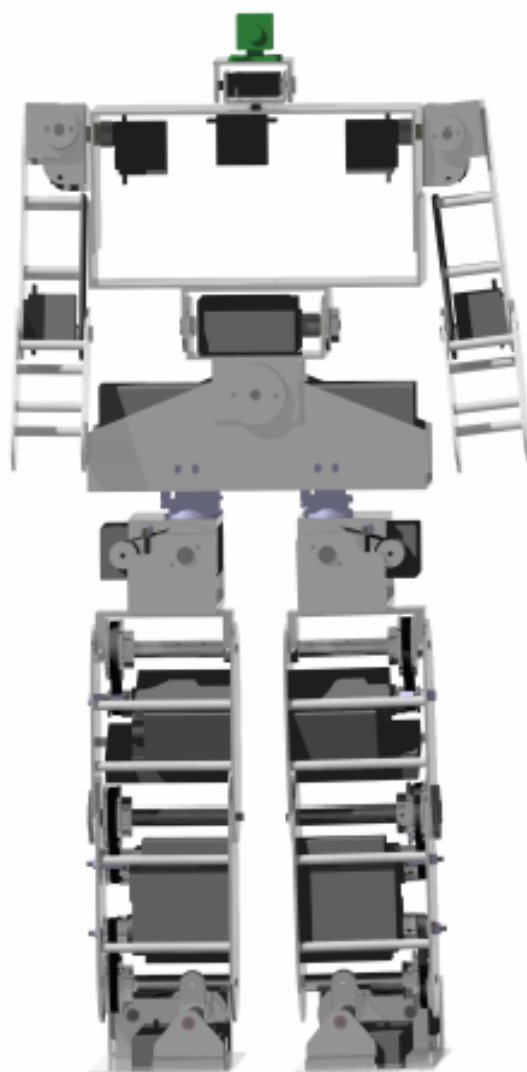


Fig. 104 – Solução final.

11 - Conclusão

Conseguiu-se construir uma plataforma humanóide que pode servir de base para investigação futura apesar das limitações que foram identificadas no capítulo “Integração com o projecto de controlo e percepção”.

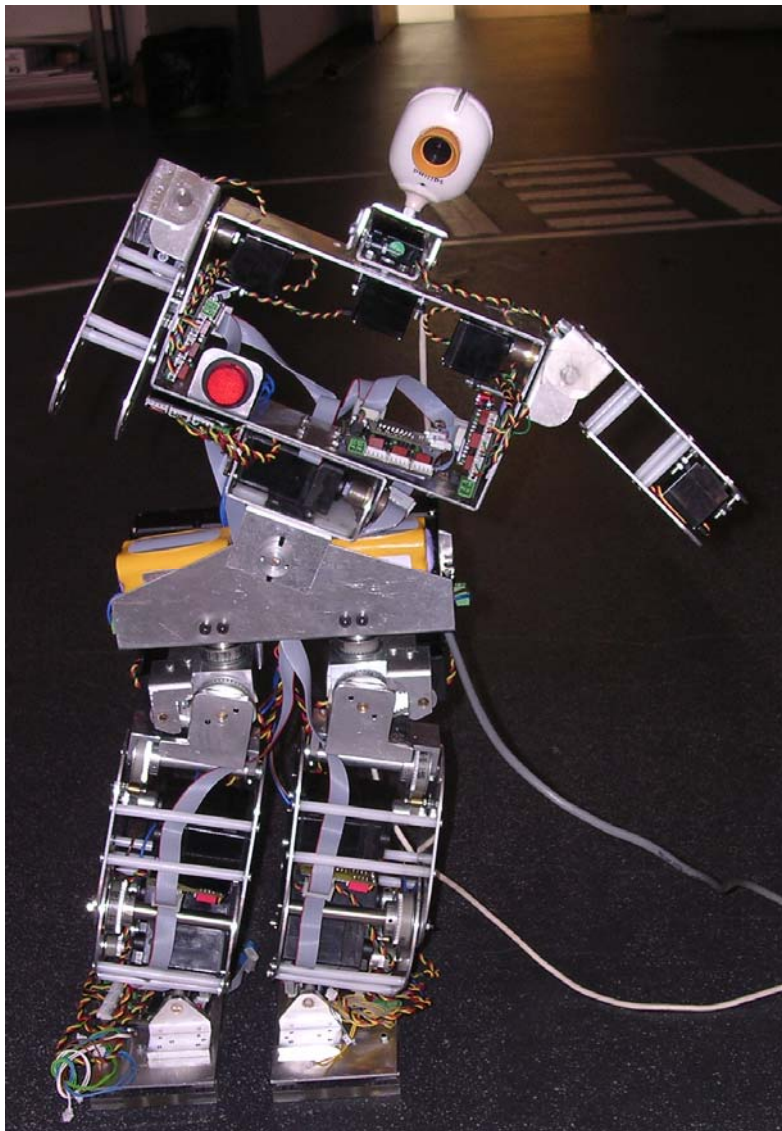


Fig. 105 – Plataforma humanóide construída.

Nas primeiras experiências conseguiu-se, em malha aberta, fazer o robot “esticar e encolher as pernas”, isto é, sem ninguém lhe tocar ele estava com os joelhos e tornozelos completamente flectidos, esticava-os e encolhia-os sempre em equilíbrio que era conseguido compensando com o ângulo da anca. Aquilo que também era necessário para se conseguir dar um passo, era apoiar o robot sobre uma única perna, mas isso não se conseguiu porque ou o motor

de anca ao lado da perna de apoio “cedia” ou a correia saltava. Ainda assim, acredita-se que as correias serão de facto uma boa solução; a alternativa que se vislumbra é trocá-las por correntes ou rodas dentadas, mas só na anca ao lado.

Nestas primeiras experiências também se compreendeu porque é que os robots dos outros grupos internacionais andam com os joelhos flectidos: é por ser extremamente difícil conseguir equilíbrio quando o robot tem as pernas esticadas, daí que todas as experiências que se fizeram, se começava com os joelhos e tornozelos totalmente flectidos, já que era a posição mais estável e ao mesmo tempo mais fácil de repetir.

Uma outra conclusão foi que o controlo em malha aberta não será muito viável com esta plataforma, porque nos ensaios realizados quando se repetia a mesma sequência de movimentos várias vezes, no fim o robot apresentava uma configuração diferente. Assim, será imprescindível recorrer à informação dos sensores sobre a configuração do robot para um controlo constantemente corrigido por si próprio (malha fechada).

Verificou-se que a escolha de materiais terá sido a acertada, uma vez que não havia a possibilidade de ir para materiais mais caros como a fibra de carbono para as placas dos elos ou o titânio ou alumínios endurecidos para os veios, de qualquer forma se essa possibilidade surgir nos próximos anos, é algo a considerar. De qualquer forma, acredita-se que a estrutura do peito e as placas dos elos podiam ter apenas 1,5mm de espessura em vez dos 2mm actuais de forma a ganhar quase 500g, mas mais uma vez, era o material de que se dispunha.

As baterias revelaram-se muito boas, superando as expectativas! Apesar de terem 7,4V nominais, e quando carregadas ao máximo irem até cerca de 8,5V, isso não trouxe problemas, os problemas surgiam sim quando a tensão baixava até 6,8V em repouso, isto é, sem os motores estarem a consumir “muito”. Com duas baterias em paralelo conseguia-se os 9600mAh que eram suficiente para fazer ensaios, entenda-se 5min ligado e 30min desligado, durante horas. Um par de baterias durou uma noite inteira de ensaios “quase” seguidos.

Quanto aos motores, é onde surgem mais dúvidas:

- os motores pequenos (HS85-BB+) não foram sujeitos a muitos testes, mas verificou-se serem fáceis de controlar; o seu binário é suficiente para os esforços requeridos e o seu curso é de cerca de 180° como os maiores (HS815-BB+ e HS805-BB+);
- os motores maiores inicialmente aparentavam ter menos binário do que era dito na caixa (2N.m), mas fizeram-se alguns ensaios (usando a haste “MegaSail” com 10cm de comprimento e pesos) e verificou-se que têm pelo menos 1.5N.m já que a partir deste valor a placa que mandava o motor permanecer numa posição enquanto os pesos o tentavam fazer rodar, aquecia muito e muito rápido (3 a 5 segundo). Assim sendo, concluiu-se que estes motores deverão ter binário suficiente para os esforços pretendidos. O seu problema é a “elasticidade” interna devido à sua caixa redutora ser em plástico; quando se aplica um esforço ao motor, ele cede, e não deverá ser um problema do controlo proporcional, já que forçando a haste num sentido, o potenciómetro dá um valor, e forçando-a no outro, continua a dar o mesmo valor. Assim, esta limitação será comprometedora para a qualidade de trabalho que se pretende para o futuro, e tendo em conta a falta de fiabilidade que os potenciómetros aparentam ter (por vezes dão valores que claramente TÊM de estar errados, pois estando o motor parado numa posição, a leitura está estável e por vezes tem como que picos e volta ao valor estável), seria de facto muito bom se se pudessem utilizar motores melhores em vez de servo motores de aeromodelismo. Esta foi outra das escolhas baseadas no factor preço.

É também verdade que vários problemas foram detectados na fase de integração com o projecto de controlo e percepção, desenvolvido em paralelo com este (ler o capítulo “Integração com o projecto de controlo e percepção”), mas deixam-se algumas soluções que, acredita-se, poderão ser o caminho para solucionar essas limitações (ver capítulo “Modelo 2007”).

Como se sabia de logo de início, este era um projecto que nunca estaria completo, pois o objectivo era construir uma plataforma que permitisse investigação futura, assim, se houvesse tempo, essa investigação, a nível de locomoção por exemplo, poderia começar já este ano.

Desta forma, há muito trabalho pela frente: rever e revalidar tudo o que já foi feito de bom e mau, e, provavelmente, fazer as alterações de forma a ultrapassar as limitações detectadas. Aí, espera-se, a plataforma humanóide estará de facto validada do ponto de vista estrutural e pronta a reproduzir para, quem sabe, participar num concurso da RoboCup na classe KidSize!

12 – Bibliografia e referências

- [1] FU, K. S.; GONZALEZ, R. C.; LEE, C. S. G. - **Robotics: control, sensing, vision and intelligence**. New York: McGraw-Hill, 1987.
- [2] JONES, J. L.; FLYNN, A. M. - **Mobile Robots: Inspiration to implementation**. A. K. Peters, 1993.
- [3] MCKERROW, P.J. - **Introduction to Robotics**. Sydney: Addison-Wesley, 1995.
- [4] MORAIS, A. B. - **Órgãos de Máquinas: textos de apoio**. Departamento De Engenharia Mecânica: Universidade de Aveiro, 2002.
- [5] SANTOS, V. - **Apontamentos de Robótica Industrial**. Departamento de Engenharia Mecânica: Universidade de Aveiro, 2004.
- [6] MORAIS, Simões - **Desenho Técnico Básico 3: Desenho de Construções Mecânicas**. [s.l.]: Porto Editora, 2000.
- [7] CARNEIRO, J.A.; QUEIRÓS de MELO, F.J.; CARDOSO, R.P. - **Mecânica Aplicada I**. Departamento de Engenharia Mecânica: Universidade de Aveiro, 2003.
- [8] DAS; KASSIMAL; SAMI – **Engineering Mechanics: Dynamics**.
- [9] MORAIS, A.B. - **Mecânica das Estruturas**. Departamento de Engenharia Mecânica: Universidade de Aveiro, 2002.
- [10] Lanema - **Catálogo técnico da Lanema**, 2003.
- [11] Pinhol – **Catálogo Online**, 2005.

[12] Extrusal – **Catálogo Online**, 2004.

[13] SKF– **Catálogo Online**, 2005.

[14] AMIDATA – **Catálogo Online**, 2005.

[15] RÊGO, LUÍS; BARBOSA, RENATO - **Estudos funcionais de uma plataforma para um sistema robótico humanóide – Relatório Final de Projecto**, Departamento de Engenharia Mecânica: Universidade de Aveiro, 2004.

Sites Consultados:

<http://www.automation.fujitsu.com/en/products/products09.html>

<http://www.isaacrobot.org/>

<http://www.symbio.jst.go.jp/PINO/index.html>

<http://www.sony.net/SonyInfo/QRIO/top.html>

<http://www.robo-erectus.org/>

<http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press/200011/00-057E2/>

<http://world.honda.com/ASIMO/>

<http://www.hondacollege.ac.jp/>

<http://www.itee.uq.edu.au/~damien/GuRoo/>

http://www.kawada.co.jp/ams/hrp-2/index_e.html

http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/research/h6/H6_H7.html

<http://lucy.vub.ac.be/>

<http://www.docs.uu.se/robocup/DVP2001/>

<http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp/>

http://www-personal.engin.umich.edu/~artkuo/Passive_Walk/passive_walking.html

http://www.frontiernet.net/~imaging/gait_model.html

<http://www.control.hut.fi/Publications/Haavisto-2004/>

<http://www.daimi.au.dk/PetriNets/>

<http://www.21stcentury.co.uk/robotics/index.asp>

<http://www.androidworld.com/>

<http://www.er.ams.eng.osaka-u.ac.jp/index-eg.html>

<http://www.tam.cornell.edu/~ruina/hplab/>

<http://www.tam.cornell.edu/~ruina/hplab/>

<http://pr.fujitsu.com/en/news/2001/09/10.html>

<http://www.automation.fujitsu.com/en/>

<http://world.honda.com/ASIMO/>

<http://www.uc3m.es/uc3m/dpto/IN/dpin04/indexrob.html>

<http://borneo.gmd.de/mailman/listinfo/humanoid>

<http://www.humanoid.waseda.ac.jp/>

<http://www.humanoid.waseda.ac.jp/Humanoids2001/>

<http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/>

<http://www.isaacrobot.org/>

<http://www.jsk.t.u-tokyo.ac.jp/~kuffner/humanoid/>

http://www.machinebrain.com/General_Robotics/Humanoid_Robotics/

<http://tam.cornell.edu/students/garcia/msghomepage.html>

<http://www-2.cs.cmu.edu/~robocup2001/>

<http://www.ais.fraunhofer.de/robocup/HL2003/teams.html>

<http://www.robocup.org/02.html>

<http://www.robocup2004.pt/>

<http://www.robotcafe.com/>

<http://www.robotics.com/robots.html>

http://www.ece.unh.edu/robots/rbt_home.htm

<http://robots.net/>

<http://www.sony.net/SonyInfo/QRIO/top.html>

Anexos

Tabelas de características do robot Humanóide:

Graus de Liberdade	
Cabeça	1
Pescoço	1
Braços	3 (2x)
Tronco	2
Pernas	4 (2x)
Pés	2 (2x)


Tabela 6 – Graus de Liberdade do robot Humanóide.

Altura (mm)	600
Largura (mm)	250
Peso (kg)	6,219
Actuadores	22 Servos (14 Grande, 8 Pequenos)

Tabela 7 – Características principais do robot.

Material adquirido:

Tabela 8 – Material adquirido.

Material	Características	Fornecedor e Referência	Imagem
Alumínio Varão	Varão de diâmetro 25mm	Serviços da U.A.	-
Alumínio Chapa	Chapa de espessura 2mm	Serviços da U.A.	-
Latão Varão	Varão de diâmetro 14mm	Martelo Eléctrico	-
Rodas Dentadas	N.º de dentes: Z = 12 dentes Largura: b = 10mm Aço 7800Kg/m ³ m= 0,003Kg	Pinhol Equipamentos Industriais, Lda PM26012	

N.º de dentes:

Z = 24 dentes

Largura:

b = 10mm

Aço

7800Kg/m³

m= 0,010Kg

N.º de dentes:

Z = 34 dentes

Largura:

b = 10mm

Aço

7800Kg/m³

m= 0,029Kg

N.º de dentes:

Z = 17 dentes

Largura:

b = 10mm

Aço

7800Kg/m³

m= 0,006Kg

Pinhol Equipamentos

Industriais, Lda

PM26024



Pinhol Equipamentos

Industriais, Lda

PM26034



Pinhol Equipamentos

Industriais, Lda

PM26017

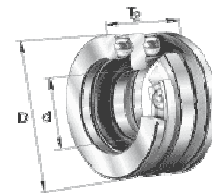


Rolamentos

Axiais de esferas

dxDxT
30 x 47 x 11

Luso Vouga



Rolamentos de esferas

dxDxT
8 x 10 x 3

AMIDATA
285 - 0790



Baterias	Tensão: 7.2 V		
	Capacidade: 4800 mAh	www.maxxprod.com	
	Dimensões (mm): 37 × 37 × 65	Referência: 4LI-2400	
	Peso (g): 176		
Motor Pequeno	Dimensões (mm): 29.5 x 13 x 30	www.maxxprod.com	
	Peso: 19.2 g	Hitec, referência 31085 HS – 85BB ⁺	
	Binário: 0.3 N.m		
Motor Médio	Dimensões (mm): 59 x 29 x 50	www.maxxprod.com	
	Peso: 95 g	Hitec, referência 31075 HS – 755HB	
	Binário: 0.8 N.m		
Motor Grande	Dimensões (mm): 66 x 30 x 57.6	www.maxxprod.com	
	Peso: 152 g	Hitec, referência 31815 HS – 805BB ⁺	
	Binário: 2.2 N.m		

	N.º de dentes: 16 dentes			
	Alumínio 2200Kg/m ³	AMIDATA 744 - 508		
	m= 0,003Kg			
Polias (6mm de largura e passo de 2,5mm)	N.º de dentes: 30 dentes			
	Alumínio 2200Kg/m ³	AMIDATA 286 - 4581		
	m= 0,010Kg			
	N.º de dentes: 40 dentes			
	Alumínio 2200Kg/m ³	AMIDATA 286 - 4581		
	m= 0,020Kg			
	N.º de dentes: 60 dentes			
	Alumínio 2200Kg/m ³	AMIDATA 744 - 558		
	m= 0,029Kg			
Correia de transmissão (6mm de largura e passo de 2,5mm)	L=140mm			
	m= 0,001Kg	AMIDATA 359 - 8516		
	L=180mm			
	m= 0,002Kg	AMIDATA 286 - 4648		

Parafusos Cabeça Cónica M3	L=5; L=10; L=20; L=30; Aço	Martelo Eléctrico	
Parafusos Umbraco M3	L=5; L=10; L=20; Aço	Martelo Eléctrico	
Parafusos Cabeça Cónica M5	L=10; Aço	Martelo Eléctrico	
Porca M3	Aço	Martelo Eléctrico	
Porca M5	Aço	Martelo Eléctrico	

Nota :

As rodas dentadas, quando compradas, possuíam um cubo lateral e 15mm de dentado, pelo que foram cortadas e posteriormente rectificadas para a obtenção de engrenagens sem cubo lateral e com 8 mm de dentado.

As polias, quando compradas, possuíam um cubo lateral que foi cortado para a obtenção de polias sem cubo lateral e com 10 mm de dentado.



Fig. 104 – Polias comprada e polia depois de maquinada.

Relatório de software desenvolvido em MatLab para

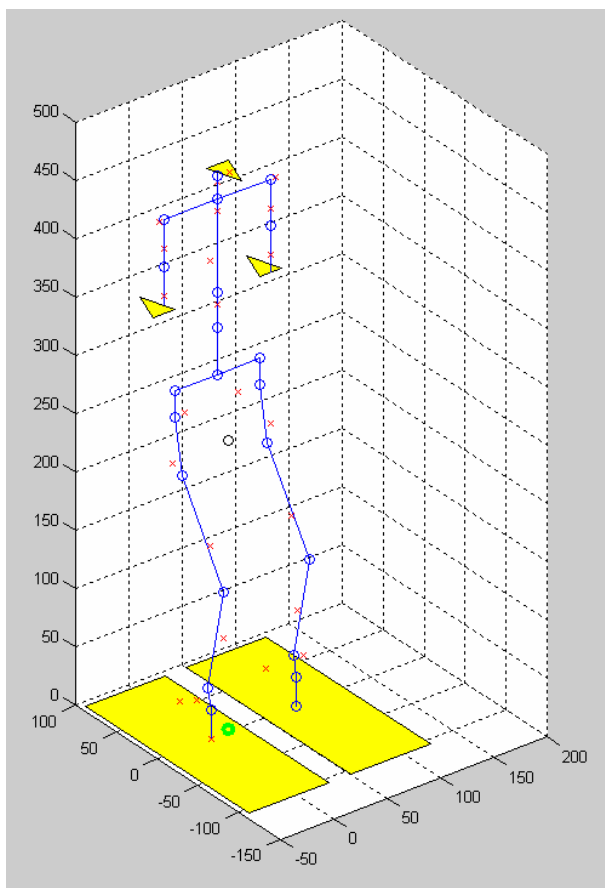
obtenção de:

-Cinemática Inversa;

-Análise Estática;

-Validade de Padrões de

Locomoção;



Angelo Cardoso 23570
Nuno Beça 20075

Objectivos:

Simular o robot com todos os seus graus de liberdade, comprimentos de elos, massas e centros de massa de cada componente de forma a ser possível obter quais as solicitações a nível de ângulos nas juntas (cinemática inversa) e momentos (análise estática) em cada motor para a configuração pretendida.

Calcular analiticamente o centro de massa do conjunto para avaliação de equilíbrio estático, de forma a estudar possíveis padrões de locomoção.

Algumas considerações iniciais:

Estas simulações foram feitas partindo do paralelismo entre o robot (apoiado sobre uma perna) e um manipulador (apoiado sobre uma base fixa), pelo que se simularam 4 “manipuladores”:

- manipulador B (baixo) apoiado no pé de apoio e tem por segunda extremidade o pé livre;
- manipulador C (cima) apoiado no centro da anca e tem por extremidade a cabeça;
- manipulador D (direita) apoiado no peito (à altura dos ombros) e tem por segunda extremidade a mão direita;
- manipulador E (esquerda) apoiado no peito (à altura dos ombros) e tem na segunda extremidade a mão esquerda;

Como se partiu deste tipo de paralelismo, é natural que apareçam algumas “discrepâncias” entre a numeração dos graus de liberdade e dos referenciais, porque criaram-se alguns referenciais auxiliares que, fisicamente, não existem. Assim existem 31 ângulos θ (possibilidades de rotação nos eixos Z) mas apenas 22 graus de liberdade identificados com a letra J e respectivo número ($J_1 \dots J_{22}$).

Nota: para melhor entender esta “discrepância”, ver explicação da função *manip_BAIXO.m*

Devido às redundâncias na **cinemática inversa** das pernas (17 ângulos θ , 12 graus de liberdade), supôs-se:

- a anca na horizontal:

o que o pé de apoio inclina ao lado (J_1), a anca compensa (J_5) $\rightarrow J_5 = J_1$;

o que o joelho (J_3) e a anca inclina à frente (J_4), o pé compensa (J_2) $\rightarrow J_2 = -J_3 - J_4$;

- o segundo pé paralelo ao chão:

então, paralelo ao primeiro $\rightarrow J_8 = J_{12} = J_1$;

apenas mais alto (no ar) $\rightarrow J_{11} = -J_{10} - J_9$;

assim conseguiu-se, para movimento rectilíneo, ficar apenas com 5 incógnitas: algo que é fácil inverter: fazendo restrições à anca (X- à frente; Y- ao lado; Z- altura) e ao pé livre (X- à frente; Z- altura).

Nota: na função *inversa.m* fala-se em $\theta_1 \dots \theta_5$, que são as 5 incógnitas da cinemática inversa.

Toda a **análise é apenas estática**, visto que a dinâmica é extremamente complexa de programar e a validade dos resultados desta sejam

dúbios. De qualquer forma, numa primeira abordagem, pretende-se que os movimentos do robot sejam tão lentos que se aproximam da estática. Quando chegar a altura em que a dinâmica realmente tem influência, tal será avaliada por tentativa e erro (semelhantemente ao que grandes grupos internacionais fazem).

Assim, o cálculo dos momentos nos motores foi conseguido sabendo o referencial (posição e orientação) de cada motor e as posições (bem como as massas) de cada elo: cálculo vectorial.

Quanto à **validade de padrões de locomoção**, só foi averiguada de forma estática (este estudo é apenas estático), isto é, se a cada instante a projecção do centro de massa global (círculo verde) está sobre o pé de apoio ou, se estiverem ambos os pés no chão, entre eles.

Exemplo de um passo (30mm) validado:

FASE	Posição anca (X, Y,Z) [mm]	Ângulos ($\theta_1.. \theta_5$) [°]	Momentos (perna de apoio) [N.m]
Posição central	0; 0; 310	0; -45; 24; 24; -45	2.1 ; 0.0; 1.8; 0.2; 2.0
Inclina ao lado direito	-40; 0; 310	7; -42; 23; 23; -42	0.9; 0.0; 1.6; 0.2; 2.3
Levanta pé esquerdo (20mm)	-40; 0; 310	7; -42; 23; 36; -67	0.9; 0.1; 1.6; 0.1; 2.3
Leva pé esquerdo à frente (30mm)	-40; 5; 310	7; -42; 21; 43; -65	0.9; 0.5; 1.3; 0.1; 2.3
Apoia pé esquerdo no chão	-40; 10; 310	7; -42; 19; 28; -40	0.9; 0.6; 1.3; 0.0; 2.3
Inclina à esquerda	40; 15; 310	-7; -41; 27; 18; -41	0.9; 0.8; 2.0 ; 0.3; 2.3
Levanta pé direito (20mm)	40; 20; 310	-7; -42; 25; 29; -66	0.9; 0.5; 1.9; 0.3; 2.3
Leva pé direito ao lado do esquerdo	40; 30; 310	-7; -42; 23; 36; -67	0.9; 0.1; 1.6; 0.1; 2.3
Apoia pé direito no chão	40; 30; 310	-7; -42; 23; 23; -42	0.9; 0.0; 1.6; 0.2; 2.3

Nota: estas simulações têm o defeito que não têm em consideração a reacção do solo no segundo pé.

Toolbox "Dados":

Esta é a pasta que contém todos os ficheiros que *Executavel.m* vai evocar, isto foi feito para:

- estruturar o programa;
- não ter de introduzir a mesma informação em vários locais;
- em caso de necessidade de efectuar alterações (massas ou comprimentos dos elos, por exemplo), não correr o risco de danificar partes complexas do programa onde seriam difíceis de detectar os erros;
- tornar a apresentação do programa *Executavel.m* mais “leve”;

Hierarquia das funções:

- Inicializacao.m* - chama as funções responsáveis pela inicialização do robot;
- dimensions.m* - introdução dos comprimentos dos elos do robot;
- manip_BAIXO.m* - configuração das pernas do robot (paralelismo com um manipulador);
- manip_CIMA.m* - configuração do peito do robot (idém);
- manip_DIREITA.m* - configuração do braço direito do robot (idém);
- manip_ESQUERDA.m* - configuração do braço esquerdo do robot (idém);
- massas.m* - introdução das massas de cada um dos componentes;
- cm.m* - introdução dos centros de massa locais de cada elo;
- LerAngulos.m* - na monitorização irá de facto ler os ângulos ao humanóide;
- na análise estática (cinemática inversa) vai evocar a função *inversa.m* para determinar os ângulos nas pernas e supor os outros 0 (a sua alteração será manual);
- inversa.m* - calcula os ângulos necessários nas juntas (das pernas) para se atingir a configuração pretendida;
- desenhar.m* - avalia a necessidade de evocar *InversManipB.m* e chama as sub-funções responsáveis por desenhar o robot;
- InversManipB.m* - o “manipulador” das pernas está definido a partir da perna direita, mas se for a perna esquerda a estar apoiada, têm de haver algumas alterações no “manipulador” das pernas e nos seus centros de massa locais (é o que esta função faz);
- DH_Baixo.m* - aplica os ângulos nas juntas das pernas, determina as posições de cada ponto (juntas e centros de massa locais);
- DH_Cima.m* - aplica os ângulos nas juntas da cintura e pescoço, determina as posições de cada ponto (juntas e centros de massa locais);

DH_Direita.m - aplica os ângulos nas juntas do braço direito, determina as posições de cada ponto (juntas e centros de massa locais);

DH_Esquerda.m- aplica os ângulos nas juntas do braço esquerdo, determina as posições de cada ponto (juntas e centros de massa locais);

Momentos.m- determina os momentos estáticos em cada motor para a configuração que está a ser visualizada;

Executavel.m

Este é o ficheiro principal, que vai evocar as sub-funções, daí alguma necessidade de ter uma apresentação mais simples.

Entradas: *Ficheiro principal --- não tem*

Saídas: *Ficheiro principal --- não tem*

Campos a alterar: pfinal=[-40 % Deslocamento pretendido da anca em x;
 0 % Deslocamento pretendido da anca em y;
 310 % Altura pretendida para a anca;
 0 % Deslocamento pretendido do 2º pé em x;
 0]; % Altura pretendida para o 2º pé;

Inicializacao.m

Este ficheiro evoca as sub-funções que vão inicializar o robot.

Entradas: --- *nenhum* ---

Saídas:

- manip_B – configuração das pernas;
- manip_C - configuração da cintura, peito, pescoço e cabeça;
- manip_D - configuração do braço direito;
- manip_E - configuração do braço esquerdo;
- Angulos - ângulos iniciais em cada junta;
- mi - massa de cada elo;
- cmassa - centro de massa local de cada elo;
- RefPeD - referencial inicial do pé direito;
- RefPeE - referencial inicial do pé esquerdo;
- Pe - configuração do pé genérico;
- M - momentos em cada motor;

Campos a alterar: Pe=[-45 30 30 -45
-105 -105 95 95
0 0 0 0
1 1 1 1] % forma do Pé (direito);

dimensions.m

Este ficheiro é onde o utilizador introduz as dimensões dos elos da modelação feita em CATIA.

Entradas: --- nenhum ---

Saídas: *dimensoes – comprimento dos elos;*

Campos a alterar: *dimensoes=[24.8 % 1- altura do chão ao veio que inclina o pé ao lado;
20 % 2- entre-eixo: pé lado - pé frente;
110 % 3- " " : pé frente – joelho;
95 % 4- " " : joelho - anca frente;
53 % 5- " " : anca frente - anca abrir;
23 % 6- " " : anca abrir - anca rodar;
80 % 7- largura da anca;
40 % 8- altura da parte de baixo da bacia ate onde inclina ao lado;
30 % 9- entre-eixo: cintura ao lado - cintura à frente;
80 %10- " " : cintura à frente - eixo dos braços;
20 %11- " " : eixo dos braços - pescoço cima/baixo;
100 %12- largura do peito + ombro;
40 %13- comprimento do braço;
40]; %14- " do antebraço;*

manip_BAIXO.m

Este é um ficheiro simples do ponto de vista de programação mas não tão simples do ponto de vista de engenharia mecânica, visto ser apenas uma constante de saída que mais não é do que uma tabela Denavit-Hartenberg (fazendo o paralelismo entre um manipulador e as pernas do robot quando uma está “fixa”, entenda-se apoiada, ao chão). Esta tabela permite de linha para linha criar um referencial novo, tanto nas direcções como nas origens; isto permitirá ter um referencial em cada junta:

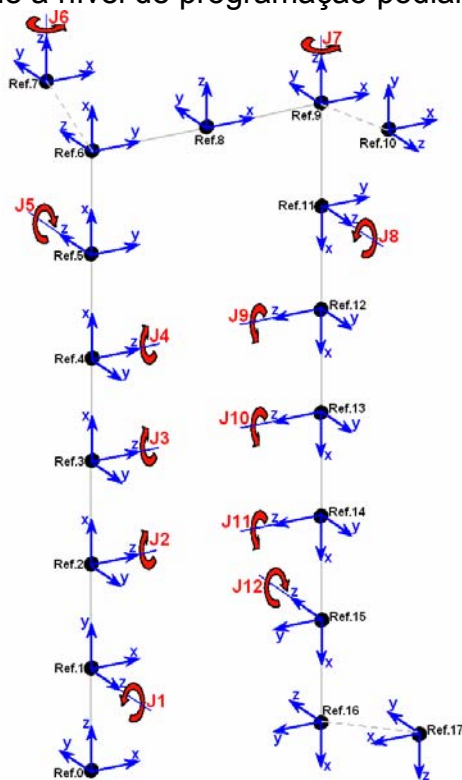
$$\text{Ref}_{(n)} = \text{Ref}_{(n-1)} \times A_{(n)}, \quad A_{(n)} = \text{Rot}_{(z,\theta)} \cdot \text{Trans}_{(0,0,d)} \cdot \text{Trans}_{(l,0,0)} \cdot \text{Rot}_{(x,\alpha)}$$

$A_{(n)}$ é a matriz transformação do referencial antigo no novo

De referir apenas que o referencial antigo roda θ em z, depois sofre translação de d no novo z após a qual sofre translação de l no novo x e acaba com uma rotação de α em x. (todas as posições e configurações são alcançáveis, mas nem todas o são só com uma transformação/linha).

A introdução do comprimento dos elos a partir de outro ficheiro é para evitar a manipulação deste ficheiro...evitar erros difíceis de detectar.

A seguir está o esquema de *manip_BAIXO.m* onde é possível ver os 17 referenciais das pernas (Ref₀ .. Ref₁₇) e 12 graus de liberdade (J₁ .. J₁₂) físicos/mecânicos, já que a nível de programação podiam ser usados os 17.



Entradas: *dimensoes* – comprimento dos elos;

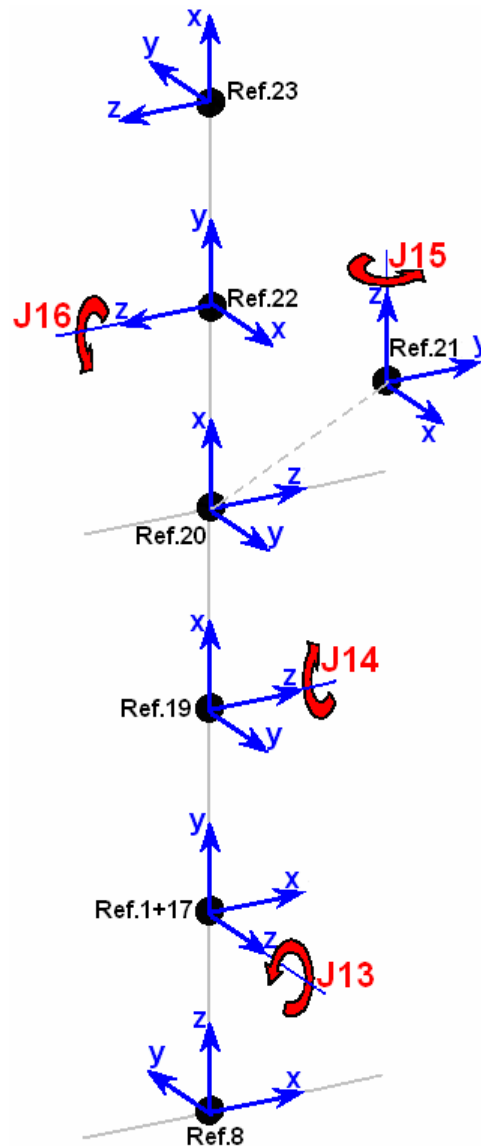
Saídas: *manip_B* – configuração do “manipulador” das pernas;

Campos a alterar: --- idealmente não será para alterar ---

manip_CIMA.m

Este ficheiro é onde se introduz a configuração idealizada para o “manipulador” do tronco e cabeça do robot, a introdução do comprimento dos elos a partir de outro ficheiro é para evitar a manipulação deste ficheiro...evitar erros difíceis de detectar.

Nota: para melhor entender esta função, ver a função idêntica *manip_BAIXO.m*



Entradas: *dimensoes* – comprimento dos elos;

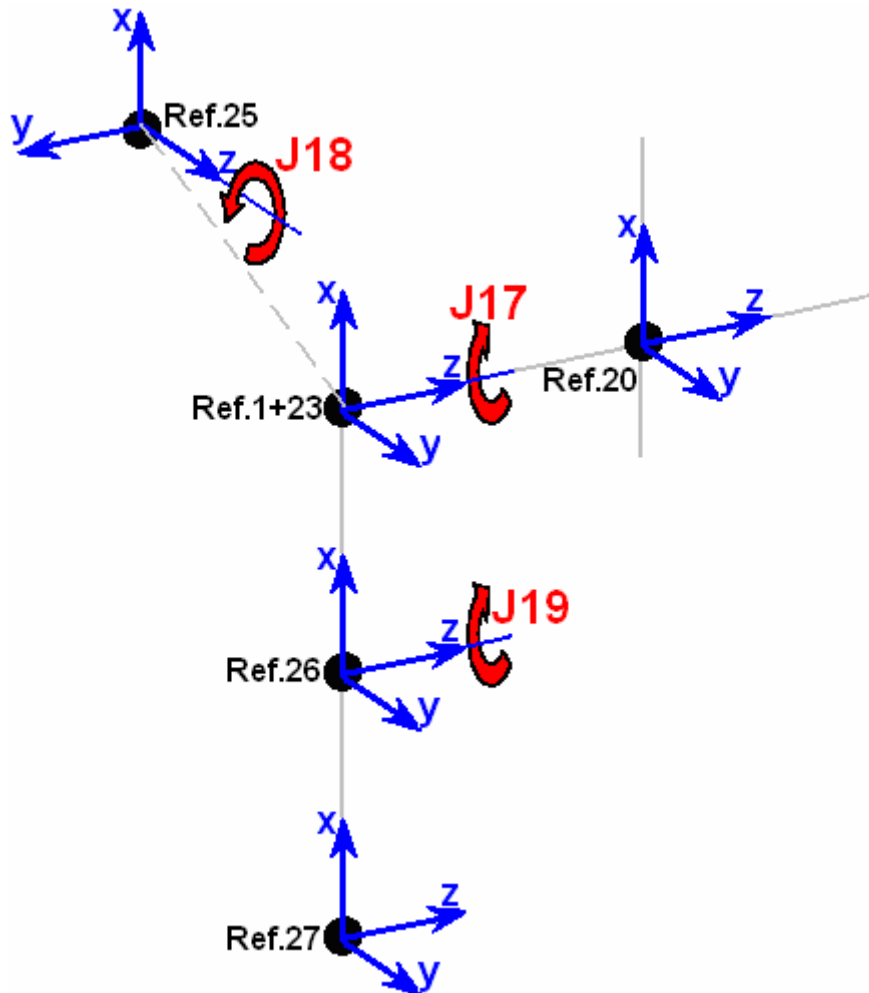
Saídas: *manip_C* – configuração do “manipulador” do tronco e cabeça;

Campos a alterar: --- idealmente não será para alterar ---

manip_DIREITA.m

Este ficheiro é onde se introduz a configuração idealizada para o “manipulador” do braço direito do robot, a introdução do comprimento dos elos a partir de outro ficheiro é para evitar a manipulação deste ficheiro...evitar erros difíceis de detectar.

Nota: para melhor entender esta função, ver a função idêntica *manip_BAIXO.m*



Entradas: *dimensoes* – comprimento dos elos;

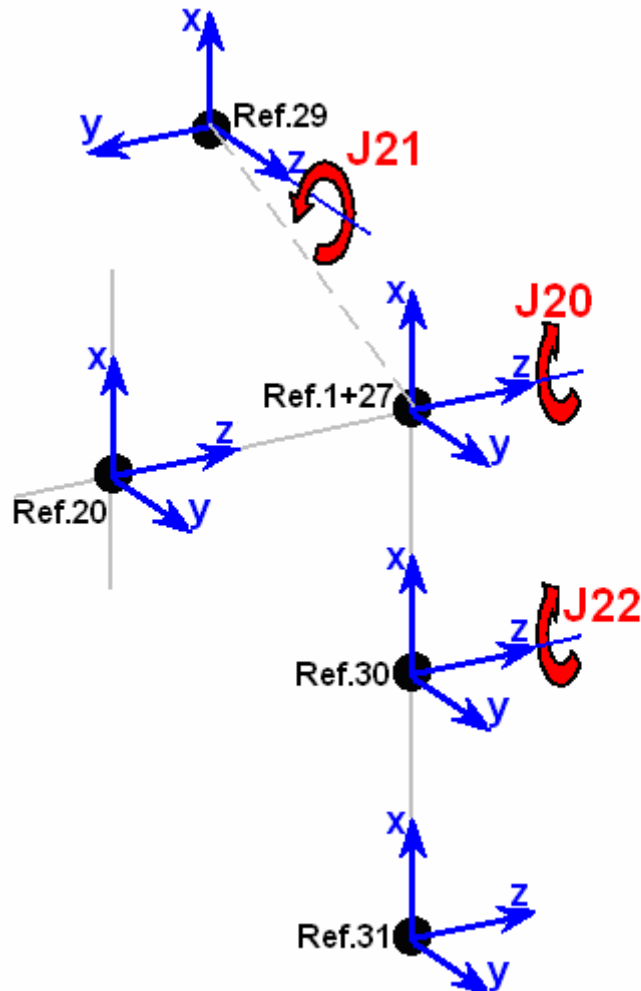
Saídas: *manip_D* – configuração do “manipulador” do braço direito;

Campos a alterar: --- idealmente não será para alterar ---

manip_ESQUERDA.m

Este ficheiro é onde se introduz a configuração idealizada para o “manipulador” do braço esquerdo do robot, a introdução do comprimento dos elos a partir de outro ficheiro é para evitar a manipulação deste ficheiro...evitar erros difíceis de detectar.

Nota: para melhor entender esta função, ver a função idêntica *manip_BAIXO.m*



Entradas: dimensoes – comprimento dos elos;

Saídas: manip_E – configuração do “manipulador” do braço esquerdo;

Campos a alterar: --- *idealmente não será para alterar* ---

massas.m

Este ficheiro é onde se introduzem as massas dos elos, obtidas a partir do CATIA, este ficheiro é útil devido à sua fácil alteração sem perigo de danificar ficheiros mais complexos.

Entradas: --- nenhum ---

Saídas: mi – massas de cada elo;

Campos a alterar:

mi(1)=355;	% pé direito
mi(2)=81;	% tornozelo direito
mi(3)=413;	% perna direita
mi(4)=344;	% coxa direita
mi(5)=109;	% anca (parte1) direita
mi(6)=185;	% anca (parte2) direita
mi(8)=1720;	% barra anca
mi(19)=50;	% cintura
mi(20)=50;	% peito
mi(22)=50;	% pescoço
mi(23)=50;	% cabeça
mi(25)=50;	% ombro direito
mi(26)=50;	% braço direito
mi(27)=50;	% ante-braço direito

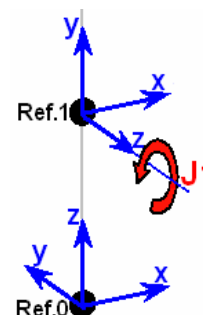
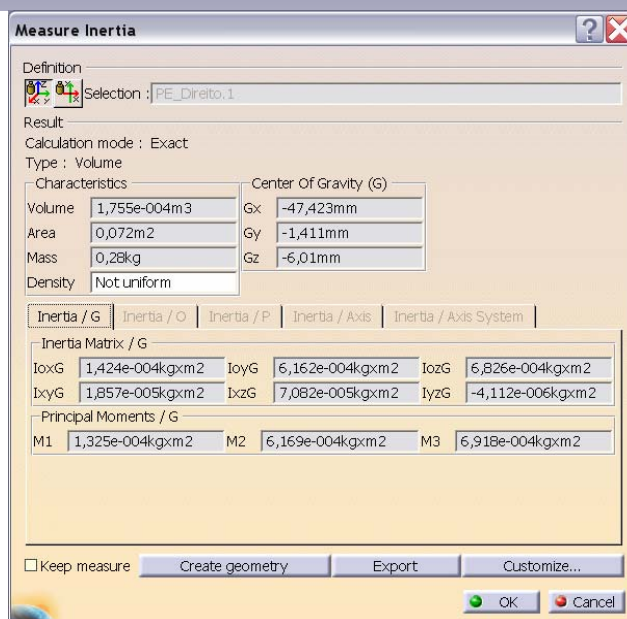
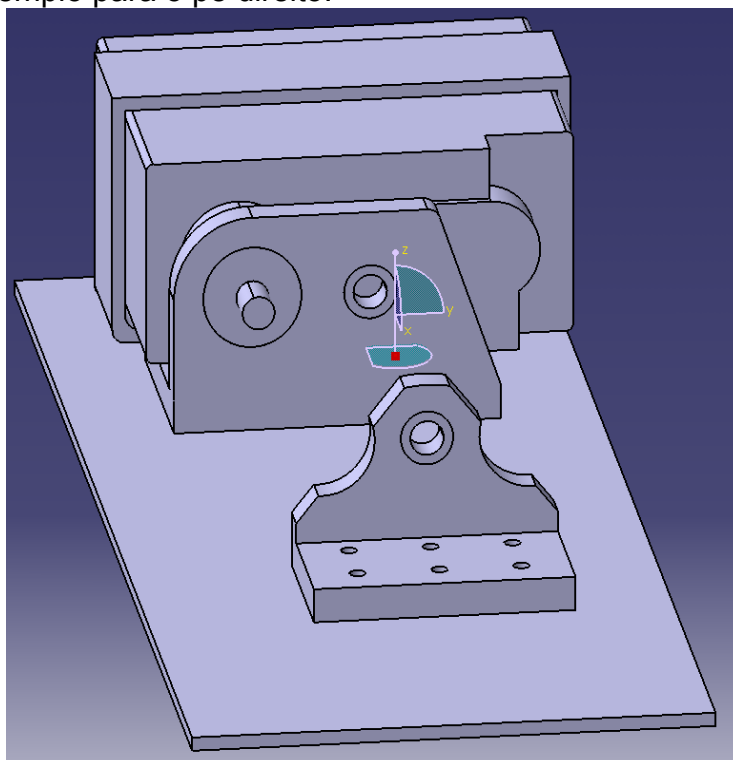
cm.m

Este ficheiro é onde se introduzem os centros de massa nos referenciais locais de cada componente.

Os centros de massa locais de cada componente podem ser obtidos recorrendo a um software de modelação (CATIA 14), mas é necessária uma correcção de origem e orientações (ver função *manip_BAIKO.m*).

No CATIA, os centros de massa foram sempre obtidos colocando o elo “centrado” de acordo com o que era mais útil para o programa em MatLab, isto é, a sua origem está coincidente com o ponto onde liga a peça seguinte, mas as orientações dos eixos foram sempre as mesmas...as reais (não as de *manip_BAIKO.m*).

Por exemplo para o pé direito:



Pé direito modelado em CATIA (à esquerda); suas características obtidas nesse software (à direita);
referencial correspondente no MatLab (em baixo);

Como já foi dito, os referenciais do MatLab e CATIA estão com a mesma origem, mas as direcções não coincidem, neste caso:

$xx_{MatLab} \equiv yy_{CATIA}$

$yy_{MatLab} \equiv zz_{CATIA}$

$zz_{MatLab} \equiv xx_{CATIA}$

Assim os valores obtidos como centro de massa do CATIA têm de ser corrigidos:

CentroMassa_X = $G_y = -1.411\text{mm}$ (ver imagem em cima ao centro)

CentroMassa_Y = $G_z = -6.01\text{mm}$ (ver imagem em cima ao centro)

CentroMassa_Z = $G_x = -47.423\text{mm}$ (ver imagem em cima ao centro)

Entradas: dimensoes – comprimento dos elos;

Saídas: cmassa – massas de cada elo;

Campos a alterar:

$c_{massa}(:,1)=[-0.4; -9.6;-36.9; 1];$	% pé direito	(gy,gz,gx,1)
$c_{massa}(:,2)=[-7.3; -2.6;-10.1; 1];$	% tornozelo direito	(gz,gx,gy,1)
$c_{massa}(:,3)=[-53.6; 2.1; 5.3; 1];$	% perna direita	(gz,gx,gy,1)
$c_{massa}(:,4)=[-58.4; 0; 1.9; 1];$	% coxa direita	(gz,gx,gy,1)
$c_{massa}(:,5)=[-39.4; -6.1; 1.7; 1];$	% anca (parte1) direita	(gz,gy,-gx,1)
$c_{massa}(:,6)=[-27.2; 15.2; 7.5; 1];$	% anca (parte2) direita	(gz,gy,-gx,1)
$c_{massa}(:,8)=[1; 10.9; 91.8; 1];$	% anca (barra)	(gy,-gx,gz,1)
$c_{massa}(:,19)=[-10; 0; 0; 1];$	% cintura	(gz,gx,gy,1)
$c_{massa}(:,20)=[-10; 0; 0; 1];$	% peito	(gz,gx,gy,1)
$c_{massa}(:,22)=[0; -5; 0; 1];$	% pescoço	(gx,gz,-gy,1)
$c_{massa}(:,23)=[0; -15; 0; 1];$	% cabeça	(gz,-gx,-gy,1)
$c_{massa}(:,25)=[0; 5; 0; 1];$	% ombro direito	(gz,-gx,-gy,1)
$c_{massa}(:,26)=[15; 0; 0; 1];$	% braço direito	(gz,-gy,gx,1)
$c_{massa}(:,27)=[15; 0; 0; 1];$	% antebraço direito	(gz,-gy,gx,1)

LerAngulos.m

Este ficheiro apresenta diferenças entre a sua versão para monitorização e a versão para análise estática em cinemática inversa:

- na monitorização irá de facto ler os ângulos ao humanóide;
- na análise estática (cinemática inversa) vai evocar a função *inversa.m* para determinar os ângulos nas pernas e supor os outros 0 (a sua alteração será manual);

Entradas: pfinal - posição pretendida para o centro da anca e para o segundo pé (em análise estática)
manip_B - configuração das “pernas” necessária para a função *inversa.m* (em análise estática)
Angulos - valores dos ângulos das juntas, 1ª coluna são os antigos, e 2ª coluna são os novos (em ambos os ficheiros);

Saídas: Angulos - valores dos ângulos das juntas, 1ª coluna são os antigos, e 2ª coluna são os novos (em ambos os ficheiros);

Campos a alterar:

Angulos(2,2)=7;	% J1- Pé direito ao lado
Angulos(3,2)=10;	% J2- Pé direito a frente
Angulos(4,2)= -22	% J3- Joelho direito
Angulos(5,2)=12;	% J4- Coxa direita a frente
Angulos(6,2)=7;	% J5- Anca direita ao lado
Angulos(8,2)=0;	% J6- Rodar a perna direita (mudar direcção)
Angulos(10,2)=0;	% J7- Rodar a perna esquerda (mudar direcção)
Angulos(12,2)=7;	% J8- Anca esquerda ao lado
Angulos(13,2)=12;	% J9- Coxa esquerda a frente
Angulos(14,2)= -22	% J10- Joelho esquerdo
Angulos(15,2)=10;	% J11- Pé esquerdo a frente
Angulos(16,2)=7;	% J12- Pé esquerdo ao lado
Angulos(19,2)=0;	% J13- cintura ao lado
Angulos(20,2)=0;	% J14- cintura a frente
Angulos(22,2)=0;	% J15- pescoço direita/esquerda
Angulos(23,2)=0;	% J16- pescoço cima/baixo
Angulos(25,2)=0;	% J17- ombro direito a frente
Angulos(26,2)=0;	% J18- ombro direito ao lado
Angulos(27,2)=0;	% J19- cotovelo direito
Angulos(29,2)=0;	% J20- ombro esquerdo a frente
Angulos(30,2)=0;	% J21- ombro esquerdo ao lado
Angulos(31,2)=0;	% J22- cotovelo esquerdo

inversa.m

Este é o ficheiro mais “pesado” já que é aqui que se calcula a cinemática inversa: a partir das posições que se pretendem alcançar, calculam-se os ângulos necessários a aplicar em cada junta (das pernas).

Uma vez que se trata de um “manipulador” (utilizou-se o paralelismo entre as pernas do robot e um manipulador) com 12 graus de liberdade, existe um número infinito de configurações possíveis para se alcançar qualquer posição, assim fizeram-se algumas restrições:

- a anca está sempre paralela ao chão, não permite inclinação:

- nem ao lado: $J_5 = J_1 = \theta_1$

- nem à frente: $J_2 = -J_3 - J_4 = -\theta_2 - \theta_3$

- o segundo pé está sempre paralelo ao chão, não permite inclinação:

- nem ao lado: $J_8 = J_{12} = \theta_1$

- nem à frente: $J_{11} = -J_{10} - J_9 = -\theta_5 - \theta_4$

De referir ainda que a rotação das pernas (que permite a mudança de direcção) não é introduzida logo de início, porque não influencia o cálculo dos outros 10 ângulos.

Assim conseguem-se reduzir os 10 graus de liberdade do movimento rectilíneo (as juntas $J_1 \dots J_{12}$, excepto J_6 e J_7) para 5 variáveis ($\theta_1 \dots \theta_5$), que são calculáveis com as 5 restrições da posição da anca em X, Y e Z, e da altura (Z) e avanço (Y) do segundo pé.

O cálculo da inclinação ao lado é directo:

$$\theta_1 = \text{atan}(-\text{AncaX} / \text{AncaZ})$$

Para saber os ângulos θ_2 e θ_3 , sabendo θ_1 , é um sistema de duas equações com duas incógnitas:

$$-\text{AncaY} = \text{dimensoes}_{(4)} \cdot \sin(\theta_3) + \text{dimensoes}_{(3)} \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3)$$

$$\begin{aligned} \text{AncaZ} = & [\text{dimensoes}_{(1)} + \text{dimensoes}_{(6)}] + \\ & + [\text{dimensoes}_{(2)} + \text{dimensoes}_{(5)}] \cdot \cos(\theta_1) + \\ & + [\text{dimensoes}_{(4)} / 2] \cdot [\cos(-\theta_1 + \theta_3) + \cos(\theta_1 + \theta_3)] + \\ & + [\text{dimensoes}_{(3)} / 2] \cdot [\cos(-\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)] \end{aligned}$$

Para obter os ângulos θ_4 e θ_5 , sabendo θ_1 , θ_2 e θ_3 , é um sistema de duas equações com duas incógnitas:

$$-\text{PeY} = [\text{dimensoes}_{(3)}] \cdot [\sin(\theta_2 + \theta_3) - \sin(\theta_4 + \theta_5)] + [\text{dimensoes}_{(4)}] \cdot [\sin(\theta_3) - \sin(\theta_4)]$$

$$\begin{aligned} \text{PeZ} = & [\text{dimensoes}_{(4)} / 2] \cdot [\cos(\theta_1 - \theta_3) + \cos(\theta_1 + \theta_3) - \cos(\theta_1 + \theta_4) - \cos(\theta_1 - \theta_4)] + \\ & + [\text{dimensoes}_{(3)} / 2] \cdot [\cos(\theta_1 - \theta_2 - \theta_3) + \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) - \cos(\theta_5 + \theta_1 + \theta_4) - \\ & - \cos(-\theta_5 + \theta_1 - \theta_4)] \end{aligned}$$

Entradas: pfinal - posição pretendida para o centro da anca e para o segundo pé;
manip_B - configuração das “pernas”;

Saídas: AngInversa - valores dos ângulos das juntas das pernas para atingir a configuração pretendida (cálculo da inversa);

Campos a alterar: --- idealmente não será para alterar ---

desenhar.m

Este é o ficheiro avalia a necessidade de evocar *InversManipB.m* e chama as sub-funções responsáveis por desenhar o robot.

É aqui que, com os centros de massa (“centromassa”) e massas (“mi”) de todos os elementos, é possível determinar e desenhar o centro de massa global (“Rcm”):

$$R_{cm} = \left[\sum_{k=1}^{n_el\text{os}} (\text{centromassa}_{(1:3,i)} \cdot m_{i(i)}) \right] / \left[\sum_{k=1}^{n_el\text{os}} m_i \right]$$

De salientar ainda que é este o ficheiro onde se definem os eixos, e número de passos intermédios na animação do movimento.

- Entradas:**
- manip_B - configuração das “pernas”;
 - manip_C - configuração do “tronco”;
 - manip_D - configuração do “braço direito”;
 - manip_E - configuração do “braço esquerdo”;
 - Angulos - ângulos nas juntas (na 1ª coluna estão os antigos; na 2ª coluna estão os novos);
 - mi - massas de cada elo;
 - cmassa - centros de massa locais de cada elo;
 - RefPeD - referencial antigo do pé direito;
 - RefPeE - referencial antigo do pé esquerdo;
 - Pe - forma do pé;
- Saídas:**
- centromassa – array com as posições dos centros de massa de cada elo no referencial global;
 - Ref - array com todos os 31 referenciais do robot;
 - RefPeD - referencial novo do pé direito;
 - RefPeE - referencial novo do pé esquerdo;
- Campos a alterar:**
- n_inc=9; % número de frames;
 - axis([-50 200 -150 100 0 500]); % definem-se os eixos X, Y e Z;

InversManipB.m

O “manipulador” das pernas está definido a partir da perna direita, mas se for a perna esquerda a estar apoiada, têm de haver algumas alterações no “manipulador” das pernas, nos seus centros de massa locais nos ângulos calculados, na origem do “manipulador” e até na própria forma do pé: é isso que esta função faz.

Entradas:

- cmassa - centros de massa locais de cada elo;
- manip_B - configuração das “pernas”;
- Angulos - ângulos nas juntas (na 1ª coluna estão os antigos; na 2ª coluna estão os novos);
- Pe - forma do pé;
- RefPeE - referencial do pé esquerdo;

Saídas:

- cmassa - centros de massa locais de cada elo CORRIGIDOS;
- manip_B - configuração das “pernas” CORRIGIDA;
- Angulos - ângulos nas juntas (na 1ª coluna estão os antigos; na 2ª coluna estão os novos) CORRIGIDOS;
- Pe - forma do pé CORRIGIDO;
- Origem - referencial origem do “manipulador” ... o pé esquerdo;

Campos a alterar: --- *idealmente não será para alterar* ---

DH_Baixo.m

Este ficheiro vai fazer a animação das “pernas do robot” da posição inicial até à pretendida. Para além disso, aqui também são calculados os novos centros de massa (“centromassa”) de cada elo através dos centros de massa locais (“cmassa”) e das novas posições das juntas (“Ref”), permitindo a sua representação:

$$\text{centromassa}_{(:,i)} = \text{Ref}_{(:,i+1)} \times \text{cmassa}_{(:,i)}, \quad \text{Ref}_{(:,i+1)} = \text{Ref}_{(:,i)} \times \text{DH}_{(:,i)}$$

Entradas:

- manip_B - configuração das “pernas”;
- Angulos - ângulos nas juntas (na 1ª coluna estão os antigos; na 2ª coluna estão os novos);
- n_inc - número TOTAL de incrementos/frames;
- inc - número de incremento/frame em que está;
- cmassa - centros de massa locais de cada elo;
- Origem - origem do “manipulador”;
- Pe - forma do pé;
- RefPeD - referencial do pé direito;
- RefPeE - referencial do pé esquerdo;

Saídas:

- Ref - todos os 17 referenciais das pernas;
- centromassa - centros de massa dos elos das pernas;
- RefPeD - referencial final do pé direito;
- RefPeE - referencial final do pé esquerdo;

Campos a alterar: --- idealmente não será para alterar ---

DH_Cima.m

Este ficheiro vai fazer a animação do “tronco e cabeça do robot” da posição inicial até à pretendida. Para além disso, aqui também são calculados os novos centros de massa (“centromassa”) de cada elo através dos centros de massa locais (“cmassa”) e das novas posições das juntas (“Ref”), permitindo a sua representação:

$$\text{centromassa}_{(:,i)} = \text{Ref}_{(:,i+1)} \times \text{cmassa}_{(:,i)}, \quad \text{Ref}_{(:,i+1)} = \text{Ref}_{(:,i)} \times \text{DH}_{(:,i)}$$

Entradas:

- manip_C - configuração do “tronco e cabeça”;
- Angulos - ângulos nas juntas (na 1ª coluna estão os antigos; na 2ª coluna estão os novos);
- n_inc - número TOTAL de incrementos/frames;
- inc - número de incremento/frame em que está;
- cmassa - centros de massa locais de cada elo;
- Ref - todos os 17 referenciais das pernas
- centromassa - centros de massa dos elos das pernas

Saídas:

- Ref - todos os 23 referenciais das pernas, tronco e cabeça;
- centromassa - centros de massa dos elos das pernas, tronco e cabeça;

Campos a alterar: --- idealmente não será para alterar ---

DH_Direita.m

Este ficheiro vai fazer a animação do “braço direito do robot” da posição inicial até à pretendida. Para além disso, aqui também são calculados os novos centros de massa (“centromassa”) de cada elo através dos centros de massa locais (“cmassa”) e das novas posições das juntas (“Ref”), permitindo a sua representação:

$$\text{centromassa}_{(:,i)} = \text{Ref}_{(:,i+1)} \times \text{cmassa}_{(:,i)}, \quad \text{Ref}_{(:,i+1)} = \text{Ref}_{(:,i)} \times \text{DH}_{(:,i)}$$

- Entradas:**
- manip_D - configuração do “braço direito”;
 - Angulos - ângulos nas juntas (na 1ª coluna estão os antigos; na 2ª coluna estão os novos);
 - n_inc - número TOTAL de incrementos/frames;
 - inc - número de incremento/frame em que está;
 - cmassa - centros de massa locais de cada elo;
 - Ref - todos os 23 referenciais das pernas, tronco e cabeça;
 - centromassa - centros de massa dos elos das pernas, tronco e cabeça;
- Saídas:**
- Ref - todos os 27 referenciais das pernas, tronco, cabeça e braço direito;
 - centromassa - centros de massa dos elos das pernas, tronco, cabeça e braço direito;
- Campos a alterar:** --- idealmente não será para alterar ---

DH_Esquerda.m

Este ficheiro vai fazer a animação do “braço esquerdo do robot” da posição inicial até à pretendida. Para além disso, aqui também são calculados os novos centros de massa (“centromassa”) de cada elo através dos centros de massa locais (“cmassa”) e das novas posições das juntas (“Ref”), permitindo a sua representação:

$$\text{centromassa}_{(:,i)} = \text{Ref}_{(:,i+1)} \times \text{cmassa}_{(:,i)}, \quad \text{Ref}_{(:,i+1)} = \text{Ref}_{(:,i)} \times \text{DH}_{(:,i)}$$

Entradas:

- manip_E - configuração do “braço esquerdo”;
- Angulos - ângulos nas juntas (na 1ª coluna estão os antigos; na 2ª coluna estão os novos);
- n_inc - número TOTAL de incrementos/frames;
- inc - número de incremento/frame em que está;
- cmassa - centros de massa locais de cada elo;
- Ref - todos os 27 referenciais das pernas, tronco, cabeça e braço direito;
- centromassa - centros de massa dos elos das pernas, tronco, cabeça e braço direito;

Saídas:

- Ref - todos os 31 referenciais do robot completo;
- centromassa - centros de massa de todos os elos;

Campos a alterar: --- idealmente não será para alterar ---

Momentos.m

Este ficheiro determina os momentos estáticos em cada motor das pernas para a configuração que está a ser visualizada de acordo com:

Perna de apoio ($i \leq 8$):

$$M_{\text{motor}(i)} = \sum_{k=i}^{\text{n}^{\circ} \text{elos}} [(\text{centromassa}_{(1:3,k)} - \text{origem}_{(1:3,i)}) \times P_{(k)}]$$

Perna livre ($i > 9$):

$$M_{\text{motor}(i)} = \sum_{k=i}^{17} [(\text{centromassa}_{(1:3,k)} - \text{origem}_{(1:3,i)}) \times P_{(k)}]$$

$P_{(k)}$ é o vector vertical do peso ($9.8 \times m_i$) de cada elo

Entradas:

centromassa - centros de massa (no referencial global) de todos os elos;
Ref - referenciais de todos os elos;
mi - massa de cada elo;
Binarios - binários máximos em cada motor até agora;

Saídas:

Binarios - binários máximos em cada motor até agora (actualizado);

Campos a alterar: --- idealmente não será para alterar ---

Programa comentado:

Executavel.m----- *Análise estática*

```
clear all % limpa a memória
addpath Dados % acrescenta esta directoria
[manip_B,manip_C,manip_D,manip_E,Angulos,mi,cmassa,RefPeD,RefPeE,Pe,Binarios]=Inicializacao; % Inicialização de constantes (e variáveis)
%%%%%%%%%%%%%% %
pfinal=[-40 % deslocamento pretendido da anca em x
        10 % deslocamento pretendido da anca em y
        310 % altura pretendida para a anca
        30 % deslocamento pretendido do 2º pé em x
        20]; % altura pretendida para o 2º pé
%
Angulos=LerAngulos(pfinal,manip_B,Angulos); % obtenção dos ângulos de ângulos
VerJunta=Angulos(:,2)*360/(2*pi) % visualização de ângulos
[centromassa,Ref,RefPeD,RefPeE]=desenhar(manip_B,manip_C,manip_D,manip_E,Angulos,mi,cmassa,RefPeD,RefPeE,Pe); % animação
Binarios=Momentos(centromassa,Ref,mi,Binarios) % momentos necessários nos motores
```

Executavel.m ----- *Aplicação de monitorização*

```
clear all % limpa a memoria
addpath Dados % acrescenta esta directoria
[manip_B,manip_C,manip_D,manip_E,Angulos,mi,cmassa,RefPeD,RefPeE,Pe,Binarios]=Inicializacao; % Inutilização de constantes (e variáveis)
mov = avifile('testes.avi'); % cria um vídeo para gravar a animação
%
%%%%%%%%%%%%%% %
Angulos=LerAngulos(Angulos); % obtenção dos ângulos de Ângulos
% VerJunta=Angulos(:,2)*360/(2*pi) % visualização de ângulos
[centromassa,Ref,RefPeD,RefPeE,mov]=desenhar(manip_B,manip_C,manip_D,manip_E,Angulos,mi,cmassa,RefPeD,RefPeE,Pe,mov); % animação
% Binarios=Momentos(centromassa,Ref,mi,Binarios); % Momentos necessários nos motores
%
%%%%%%%%%%%%%% %
mov = close(mov); % fecha o vídeo
```

Inicializacao.m

```
function [manip_B,manip_C,manip_D,manip_E,Angulos,mi,cmassa,RefPeD,RefPeE,Pe,M]=Inicializacao
clc; % limpar o texto no MatLab
clf; % limpa a figura
%%%%%%%%%%%%%% % CONFIGURAÇÃO
dimensoes=dimensions; % lê comprimento dos elos
manip_B=manip_BAIXO(dimensoes); % define o manipulador
manip_C=manip_CIMA(dimensoes); % define o manipulador
manip_D=manip_DIREITA(dimensoes); % define o manipulador
manip_E=manip_ESQUERDA(dimensoes); % define o manipulador
Angulos(1:35,1:2)=0; % valores iniciais dos ângulos
mi=massas; % lê massas dos elos
cmassa=cm(dimensoes); % lê centros de massa dos elos
Pe=[-45 30 30 -45;-105 -105 95 95;0 0 0 0;1 1 1 1]; % Pé genérico
RefPeD=[-1 0 0 0; 0 1 0 0; 0 0 -1 0; 0 0 0 1]; % Referencial do Pé Direito
RefPeE=[-1 0 0 0; 0 1 0 0; 0 0 -1 0; 0 0 0 1]; % Referencial do Pé Esquerdo
M=zeros(12,1); % Momentos iniciais em cada motor são zero
```

dimensions.m

```
function dimensoes=dimensions;           % “dimensions” não tem parâmetros de entrada, só de saída “dimensoes”
%
dimensoes=[ 24.8                       % 1- altura do chão ao veio que inclina o pé ao lado
            20                          % 2- entre-eixo: pé lado - pé frente
            110                          % 3- " " : pé frente - joelho
            95                           % 4- " " : joelho - anca frente
            53                           % 5- " " : anca frente - anca abrir
            23                           % 6- " " : anca abrir - anca rodar
            80                           % 7- largura da anca
            40                           % 8- altura da bacia (da parte de baixo até onde inclina a cintura)
            30                           % 9- entre-eixo: cintura ao lado - cintura à frente
            80                           % 10- " " : cintura à frente - eixo dos braços
            20                           % 11- " " : eixo dos braços - pescoço cima/baixo
            100                          % 12- largura do peito + ombro
            40                           % 13- comprimento do braço
            40];                         % 14- " do antebraço
```

manip_BAIXO.m

```
function manip_B=manip_BAIXO(dimensoes);           %
%
% parâmetros iniciais
manip_B=[ 0      pi/2    0      d/z      dimensoes(1)  % posicionamento da 1ª junta
          pi/2   pi/2    dimensoes(2)  0          % J1
          0      0      dimensoes(3)  0          % J2
          0      0      dimensoes(4)  0          % J3
          0      pi/2   dimensoes(5)  0          % J4
          0      0      dimensoes(6)  0          % J5
          pi/2   pi/2    0              0          %
          0      0      dimensoes(7)/2  0         % J6
          0      0      dimensoes(7)/2  0         % ponto médio
          0      pi/2    0              0          % J7
          -pi/2  0      dimensoes(6)    0          %
          0      pi/2   dimensoes(5)    0          % J8
          0      0      dimensoes(4)    0          % J9
          0      0      dimensoes(3)    0          % J10
          0      pi/2   dimensoes(2)    0          % J11
          0      0      dimensoes(1)    0          % J12
          pi/2   pi/2    0              0];       %
```

manip_CIMA.m

```
function manip_C=manip_CIMA(dimensoes);           %
%
% parâmetros iniciais
manip_C=[ 0      pi/2    0      d/z      dimensoes(8)  %
          pi/2   pi/2    dimensoes(9)  0          % J13
          0      0      dimensoes(10)  0         % J14
          pi/2   pi/2    0              0          %
          0      pi/2    0              dimensoes(11) % J15
          pi/2   0      10             0];       % J16
```

manip_DIREITA.m

```
function manip_D=manip_DIREITA(dimensoes); %  
%  
%      theta/z  alfa/x  l/x      d/z      % parâmetros iniciais  
manip_D=[ 0      0      0      -dimensoes(12)/2 %  
          0      -pi/2  0      0      % J17  
          0      pi/2  -dimensoes(13) 0      % J18  
          0      0      -dimensoes(14) 0]; % J19
```

manip_ESQUERDA.m

```
function manip_E=manip_ESQUERDA(dimensoes); %  
%  
%      theta/z  alfa/x  l/x      d/z      % parâmetros iniciais  
manip_E=[ 0      0      0      dimensoes(12)/2 %  
          0      -pi/2  0      0      % J20  
          0      pi/2  -dimensoes(13) 0      % J21  
          0      0      -dimensoes(14) 0]; % J22
```

massas.m

```
function mi=massas; %  
%  
mi(1:31)=0; % inicio-as a 0  
%  
mi(1)=355; % pé direito  
mi(2)=81; % tornozelo direito  
mi(3)=413; % perna direita  
mi(4)=344; % coxa direita  
mi(5)=109; % anca (parte1) direita  
mi(6)=185; % anca (parte2) direita  
mi(8)=1720; % barra anca  
mi(11)=mi(6); % anca (parte2) esquerda  
mi(12)=mi(5); % anca (parte1) esquerda  
mi(13)=mi(4); % coxa esquerda  
mi(14)=mi(3); % perna esquerda  
mi(15)=mi(2); % tonozelo esquerdo  
mi(16)=mi(1); % pé esquerdo  
%  
mi(19)=50; % cintura  
mi(20)=50; % peito  
mi(22)=50; % pescoço  
mi(23)=50; % cabeça  
%  
mi(25)=50; % ombro direito  
mi(26)=50; % braço direito  
mi(27)=50; % antebraço direito  
%  
mi(29)=mi(25); % ombro esquerdo  
mi(30)=mi(26); % braço esquerdo  
mi(31)=mi(27); % antebraço esquerdo
```


Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

cm.m

```
function cmassa=cm(dimensoes);
cmassa(1:4,1:31)=0;

cmassa(:,1)=[-0.4; -9.6;-36.9; 1];
cmassa(:,2)=[-7.3; -2.6;-10.1; 1];
cmassa(:,3)=[-53.6; 2.1; 5.3; 1];
cmassa(:,4)=[-58.4; 0; 1.9; 1];
cmassa(:,5)=[-39.4; -6.1; 1.7; 1];
cmassa(:,6)=[-27.2; 15.2; 7.5; 1];
cmassa(:,8)=[1; 10.9; 91.8; 1];
cmassa(:,11)=[-dimensoes(6)-cmassa(1,6);-cmassa(2,6);-cmassa(3,6); 1];
cmassa(:,12)=[-dimensoes(5)-cmassa(1,5);-cmassa(3,5); cmassa(2,5); 1];
cmassa(:,13)=[-dimensoes(4)-cmassa(1,4); cmassa(2,4); cmassa(3,4); 1];
cmassa(:,14)=[-dimensoes(3)-cmassa(1,3); cmassa(2,3); cmassa(3,3); 1];
cmassa(:,15)=[-dimensoes(2)-cmassa(1,2); cmassa(3,2);-cmassa(2,2); 1];
cmassa(:,16)=[-dimensoes(1)-cmassa(2,1); cmassa(1,1);-cmassa(3,1); 1];

cmassa(:,19)=[-10; 0; 0; 1];
cmassa(:,20)=[-10; 0; 0; 1];
cmassa(:,22)=[0; -5; 0; 1];
cmassa(:,23)=[0; -15; 0; 1];

cmassa(:,25)=[0; 5; 0; 1];
cmassa(:,26)=[15; 0; 0; 1];
cmassa(:,27)=[15; 0; 0; 1];

cmassa(:,29)=[cmassa(1,25);-cmassa(2,25);cmassa(3,25); 1];
cmassa(:,30)=[cmassa(1,26);cmassa(2,26);-cmassa(3,26); 1];
cmassa(:,31)=[cmassa(1,27);cmassa(2,27);-cmassa(3,27); 1];

%
% inicio-as a 0
%
% pé direito (gy,gz,gx,1)
% tornozelo direito (gz,gx,gy,1)
% perna direita (gz,gx,gy,1)
% coxa direita (gz,gx,gy,1)
% anca (parte1) direita (gz,gy,-gx,1)
% anca (parte2) direita (gz,gy,-gx,1)
% anca (barra) (gy,-gx,gz,1)
% anca (parte2) esquerda
% anca (parte1) esquerda
% coxa esquerda
% perna esquerda
% tornozelo esquerdo
% pé esquerdo
%
% cintura (gz,gx,gy,1)
% peito (gz,gx,gy,1)
% pescoço (gx,gz,-gy,1)
% cabeça (gz,-gx,-gy,1)
%
% ombro direito (gz,-gx,-gy,1)
% braço direito (gz,-gy,gx,1)
% antebraço direito (gz,-gy,gx,1)
%
% ombro esquerdo
% braço esquerdo
% antebraço esquerdo
```

LerAngulos.m----- Análise estática

```
function Angulos=LerAngulos(pfina1,manip_B,Angulos);
Angulos(1:31,1)=Angulos(1:31,2)*360/2/pi; % ângulos antigos (:,1) tomam valores dos anterior/ novos(:,2)
%
% EM GRAUS
AngInversa=inversa(pfina1,manip_B); % J1:12 cinemática inversa das pernas
Angulos(1:17,2)=AngInversa; %
%
Angulos(8,2)=+0; % J6- ângulo que a perna direita deve virar
Angulos(10,2)=+0; % J7- ângulo que a perna esquerda deve virar
%
Angulos(19,2)=+0; % J13- cintura ao lado
Angulos(20,2)=+0; % J14- cintura a frente
Angulos(22,2)=+0; % J15- pescoço direita/esquerda
Angulos(23,2)=+0; % J16- pescoço cima/baixo
%
Angulos(25,2)=+0; % J17- ombro direito a frente
Angulos(26,2)=+0; % J18- ombro direito ao lado
Angulos(27,2)=+0; % J19- cotovelo direito
%
Angulos(29,2)=+0; % J20- ombro esquerdo a frente
Angulos(30,2)=+0; % J21- ombro esquerdo ao lado
Angulos(31,2)=+0; % J22- cotovelo esquerdo
%
Angulos=Angulos*2*pi/360; % passar os ângulos de graus a radianos
```

LerAngulos.m----- Aplicação de monitorização

```
function Angulos=LerAngulos(Angulos);
Angulos(1:31,1)=Angulos(1:31,2)*360/2/pi;

Angulos(2,2)=+7;
Angulos(3,2)=+10;
Angulos(4,2)=-22;
Angulos(5,2)=+12;
Angulos(6,2)=+7;
Angulos(8,2)=+0;
Angulos(10,2)=+0;
Angulos(12,2)=+7;
Angulos(13,2)=+12;
Angulos(14,2)=-22;
Angulos(15,2)=+10;
Angulos(16,2)=+7;

Angulos(19,2)=+0;
Angulos(20,2)=+0;
Angulos(22,2)=+0;
Angulos(23,2)=+0;

Angulos(25,2)=+0;
Angulos(26,2)=+0;
Angulos(27,2)=+0;

Angulos(29,2)=+0;
Angulos(30,2)=+0;
Angulos(31,2)=+0;

Angulos=Angulos*2*pi/360;
```

```
%
% ângulos antigos (:,1) tomam os valores dos anterior/ novos(:,2)
% EM GRAUS
% J1- Pé direito ao lado
% J2- Pé direito a frente
% J3- Joelho direito
% J4- Coxa direita a frente
% J5- Anca direita ao lado
% J6- Rodar a perna direita (mudar de direcção)
% J7- Rodar a perna esquerda (mudar de direcção)
% J8- Anca esquerda ao lado
% J9- Coxa esquerda a frente
% J10- Joelho esquerdo
% J11- Pé esquerdo a frente
% J12- Pé esquerdo ao lado
%
% J13- cintura ao lado
% J14- cintura a frente
% J15- pescoço direita/esquerda
% J16- pescoço cima/baixo
%
% J17- ombro direito a frente
% J18- ombro direito ao lado
% J19- cotovelo direito
%
% J20- ombro esquerdo a frente
% J21- ombro esquerdo ao lado
% J22- cotovelo esquerdo
%
% passar os ângulos de graus a radianos
```

inversa.m

```
function AngInversa=inversa(pfinaI,manip_B);

n_elos=size(manip_B,1);
AncaX=pfinaI(1);
AncaY=pfinaI(2);
AncaZ=pfinaI(3);
PeY=pfinaI(4);
PeZ=pfinaI(5);
syms O1 O2 O3 O4 O5;
Alteracoes=[ 0
              O1
              -O2-O3
              O2
              O3
              O1
              0
              0
              0
              0
              O1
              O4
              O5
              -O5-O4
              O1
              0];

Ref=eye(4,4);
for i=1:n_elos;
```

```
% Função para obtenção dos ângulos
% LEITURA DE DADOS
% E necessário saber o numero de elos
% Deslocamento pretendido da anca em x
% Deslocamento pretendido da anca em y
% Altura pretendida para a anca
% Deslocamento pretendido do 2º pé em x
% Altura pretendida para o 2º pé
% Criação de simbólicos
% (posicionamento inicial)
% J1- tornozelo direito inclinar ao lado
% J2- tornozelo direito inclinar à frente
% J3- joelho direito
% J4- anca (lado direito) inclinar à frente
% J5- anca (lado direito) inclinar ao lado
% (passo intermédio)
% J6- rotação da perna direita
% (ponto médio)
% J7- rotação da perna esquerda
% (passo intermédio)
% J8- anca (lado esquerdo) inclinar ao lado
% J9- anca (lado esquerdo) inclinar à frente
% J10- joelho esquerdo
% J11- tornozelo esquerdo inclinar à frente
% J12- tornozelo esquerdo inclinar ao lado
% (posicionamento do pé esquerdo)
%
% CÁLCULO DAS JUNTAS...COM SIMBÓLICOS
% Referencial de origem
% Determino DH para todos os elos (i->número do elo)
```

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

```

theta=manip_B(i,1)+Alteracoes(i); %
alfa=manip_B(i,2); %
CosAlfa=cos(alfa); % forma arcaica de evitar problemas devido
if abs(CosAlfa)<1e-15; % aos "comboios" de números...quando alfa= +-90°
    CosAlfa=0; % o MatLab estava a dar cos(90°)=6e-17
end; %
l=manip_B(i,3); %
d=manip_B(i,4); %
DH(1,1,i)=cos(theta); % matriz Denavit-Hartenberg para cada linha
DH(1,2,i)=-sin(theta)*CosAlfa; %
DH(1,3,i)=sin(theta)*sin(alfa); %
DH(1,4,i)=l*cos(theta); %
DH(2,1,i)=sin(theta); %
DH(2,2,i)=cos(theta)*CosAlfa; %
DH(2,3,i)=-cos(theta)*sin(alfa); %
DH(2,4,i)=l*sin(theta); %
DH(3,1,i)=0; %
DH(3,2,i)=sin(alfa); %
DH(3,3,i)=CosAlfa; %
DH(3,4,i)=d; %
DH(4,1,i)=0; %
DH(4,2,i)=0; %
DH(4,3,i)=0; %
DH(4,4,i)=1; %
Ref=Ref*DH(:,i); % aplico DH a R e obtenho "novo ref" (à frente d anterior)
if i==8; % ponto central da anca (necessário guardá-lo)
    PosA=Ref(:,4); % esta e a posição que vai ser restringida
end; %
end; %
PosP=Ref(:,4); % esta e a posição final... do pé esquerdo
%
%%%%%%%%%%%%%% ANCA %%%%%%%%%%%%%%%
O1=subs(atan(-AncaX/AncaZ)); % cálculo simples de O1
stringAY=strcat(char(subs(simple(PosA(2)))),'=',int2str(-AncaY)); % texto para o "solve"
stringAZ=strcat(char(subs(simple(PosA(3)))),'=',int2str(AncaZ)); % texto para o "solve"
[O2,O3]=solve(stringAY,stringAZ); % calcula ângulos d junta (função d posição pretendida)
redundancia1=max(size(O2)); % grau de redundância
if redundancia1==1; % 1- não existe este problema
    O2=subs(O2); % O2 e O3 são a solução única
    O3=subs(O3); %
end; %
if redundancia1==2; % 2- que é a maioria dos casos
    T21=subs(O2(1)); %
    T22=subs(O2(2)); %
    if T21<T22; % escolho a solução menor de O2
        O2=subs(O2(1)); % substituo por valor numérico e não string
        indice=1; % e guardo índice
    else; %
        O2=subs(O2(2)); %
        indice=2; %
    end; %
    O3=subs(O3(indice)); % obtenho O3 pelo índice guardado antes
end; %
%%%%%%%%%%%%%% PÉ ESQUERDO %%%%%%%%%%%%%%%
stringPY=strcat(char(eval(subs(simple(PosP(2)))+PeY)),'=0'); % texto para o "solve"
stringPZ=strcat(char(eval(subs(simple(PosP(3)))-PeZ)),'=0'); % texto para o "solve"
[O4,O5]=solve(stringPY,stringPZ); % calcula ângulos d junta (função d posição pretendida)
redundancia2=max(size(O5)); % grau de redundância
if redundancia2==1; % 1- não existe este problema
    O5=subs(O5); % O4 e O5 são a solução única
    O4=subs(O4); %
end; %
if redundancia2==2; % 2- que é a maioria dos casos
    T51=subs(O5(1)); %
    T52=subs(O5(2)); %
    if T51<T52; % escolho a solução menor de O5
        O5=subs(O5(1)); % substituo por valor numérico e não string
    end; %
end; %

```

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

```

    indice=1; % e guardo índice
else; %
    O5=subs(O5(2)); %
    indice=2; %
end; %
O4=subs(O4(indice)); % obtenho O4 pelo índice guardado antes
end; %
% theta/z % determino as alterações/variações no manip_B
AngInversa=[ 0 % (posicionamento inicial)
             01 % J1- tornozelo direito inclinar ao lado
             -02-03 % J2- tornozelo direito inclinar a frente
             02 % J3- joelho direito
             03 % J4- anca (lado direito) inclinar à frente
             01 % J5- anca (lado direito) inclinar ao lado
             0 % (passo intermédio)
             0 % J6- rotação da perna direita (introduzida directamente)
             0 % (ponto médio)
             0 % J7- rotação d perna esq (introduzida directamente)
             0 % (passo intermédio)
             01 % J8- anca (lado esquerdo) inclinar ao lado
             04 % J9- anca (lado esquerdo) inclinar à frente
             05 % J10- joelho esquerdo
             -05-04 % J11- tornozelo esquerdo inclinar à frente
             01 % J12- tornozelo esquerdo inclinar ao lado
             0]; % (posicionamento do pé esquerdo)
AngInversa=AngInversa*360/2/pi; % Para o valor de saída ser em graus

```

desenhar.m

```

function
[centromassa,Ref,RefPeD,RefPeE]=desenhar(manip_B,manip_C,manip_D,manip_E,Angulos,mi,cmassa,RefPeD,RefPeE,Pe);
inc=0; % número de incremento
DH=[ -1 0 0 0 %
      0 1 0 0 %
      0 0 -1 0 %
      0 0 0 1]; %
Origem(:,:)=RefPeD(:,:)*DH(:,:); % origem do manipulador_B
if Angulos(2,2)<0; % se estiver inclinado à esquerda
    [cmassa,manip_B,Angulos,Pe,Origem]=InversManipB(cmassa,manip_B,Angulos,Pe,RefPeE); % invert manip_B e corrige cmassa, Angulos,Pe e Origem
end; %
t=0.00001; % tempo de cada frame
n_inc=9; % número TOTAL de frames
while inc<=n_inc; % repete-se este ciclo n vezes (passos intermédios)
    inc=inc+1; % faz-se incremento
    axis equal; % todos eixos iguais
    axis([-50 200 -150 100 0 500]); % definem-se os eixos
    hold on; % fixa-se o gráfico
    grid on; % coloca-se grelha
    [Ref,centromassa,RefPeD,RefPeE]=DH_Baixo(manip_B,Angulos,n_inc,inc,cmassa,Origem,Pe,RefPeD,RefPeE);
    [Ref,centromassa]=DH_Cima(manip_C,Angulos,n_inc,inc,cmassa,Ref,centromassa);
    [Ref,centromassa]=DH_Direita(manip_D,Angulos,n_inc,inc,cmassa,Ref,centromassa);
    [Ref,centromassa]=DH_Esquerda(manip_E,Angulos,n_inc,inc,cmassa,Ref,centromassa);
    Rcm=centromassa*transpose(mi)/(sum(mi(:))); % centro de massa do robot
    plot3(Rcm(1),Rcm(2),Rcm(3),'ko'); % desenha centro de massa (global)
    plot3(Rcm(1),Rcm(2),0,'go','linewidth',3); % projecção do centro de massa no chão
    if inc<=n_inc; % caso ainda não tenha acabado
        pause(t); % pausa para visualização
        clf; % apaga passos anteriores
    end; %
end; %
end; %

```

InversManipB.m

```
function [cmassa,manip_B,Angulos,Pe,Origem]=InversManipB(cmassa,manip_B,Angulos,Pe,RefPeE);
%
cmassa(1,1)=-cmassa(1,1); % Na inversão do manipulador, também é necessário corrigir
cmassa(3,2)=-cmassa(3,2); % os centros de massa de cada elo.
cmassa(3,3)=-cmassa(3,3); % Nos eixos reais, é sempre o eixo dos xx
cmassa(3,4)=-cmassa(3,4); % que tem de ser espelhado (simétrico),
cmassa(2,5)=-cmassa(2,5); % mas nos locais...tem de se ver caso a caso
cmassa(2,6)=-cmassa(2,6); % de acordo com os eixos locais!
cmassa(1,8)=-cmassa(1,8); %
cmassa(2,11)=-cmassa(2,11); %
cmassa(3,12)=-cmassa(3,12); %
cmassa(3,13)=-cmassa(3,13); %
cmassa(3,14)=-cmassa(3,14); %
cmassa(2,15)=-cmassa(2,15); %
cmassa(2,16)=-cmassa(2,16); %
%
manip_B(8:9,3,1)=-manip_B(8:9,3,1); % O próprio manipulador de baixo (pernas) tem de ser "espelhado"
%
aux=Angulos(1:17,1:2); %
for i=1:17; %
    Angulos(i,2)=aux(18-i,2); % As juntas das pernas são contadas ao contrário,
    Angulos(i,1)=aux(18-i,1); % o fim (J17) passa a ser o início (J1) e vice-versa.
end; %
%
Aux=Pe; %
Pe(1,1)=-Aux(1,2); % A própria forma do pé tem de ser revista (espelhada em yy).
Pe(1,2)=-Aux(1,1); %
Pe(1,3)=-Aux(1,4); %
Pe(1,4)=-Aux(1,3); %
%
DH=[-1 0 0 0 % E a origem do "novo manipulador de BAIXO" passa a ser outra...
    0 1 0 0 % ...o pé esquerdo!
    0 0 -1 0 % A necessidade deste DH de correcção, vem do RefPeE
    0 0 0 1]; % estar com os eixos dos zz e xx nos sentidos errados!
Origem(:,:)=RefPeE(:,:)*DH(:,:); % (ver imagem dos referenciais)
```

DH_Baixo.m

```

function
[Ref,centromassa,RefPeD,RefPeE]=DH_Baixo(manip_B,Angulos,n_inc,inc,cmassa,Origem,Pe,RefPeD,RefPeE);
n_elos=size(manip_B,1); % número de elos deste "manipulador"
inicio=1; % posição deste "manipulador" no "manip global" (robot)
manip_B(:,1)=manip_B(:,1)+Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,1)+(Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,2)-Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,1))*inc/(n_inc+1);
centromassa_B(1:4,1:n_elos)=0; % centros de massa locais
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% % CÁLCULO DE TODO O MANIPULADOR
Ref_B(:,1)=Origem; % o referencial inicial é a origem
for i=1:n_elos; % determino DH para todos os elos
    theta=manip_B(i,1); % "
    alfa=manip_B(i,2); % "
    l=manip_B(i,3); % "
    d=manip_B(i,4); % "
    DH_B(1,1,i)=cos(theta); % "
    DH_B(1,2,i)=-sin(theta)*cos(alfa); % "
    DH_B(1,3,i)=sin(theta)*sin(alfa); % "
    DH_B(1,4,i)=l*cos(theta); % "
    DH_B(2,1,i)=sin(theta); % "
    DH_B(2,2,i)=cos(theta)*cos(alfa); % "
    DH_B(2,3,i)=-cos(theta)*sin(alfa); % "
    DH_B(2,4,i)=l*sin(theta); % "
    DH_B(3,1,i)=0; % "
    DH_B(3,2,i)=sin(alfa); % "
    DH_B(3,3,i)=cos(alfa); % "
    DH_B(3,4,i)=d; % "
    DH_B(4,1,i)=0; % "
    DH_B(4,2,i)=0; % "
    DH_B(4,3,i)=0; % "
    DH_B(4,4,i)=1; % "
    Ref_B(:,i+1)=Ref_B(:,i)*DH_B(:,i); % Obtenho o referencial seguinte
    centromassa_B(:,i)=Ref_B(:,i+1)*cmassa(:,i+inicio-1); % centros de massas locais
end; %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% % DESENHO DE MANIPULADOR
PeA=Origem*Pe; % definição do pé de apoio
fill3(PeA(1,:),PeA(2,:),PeA(3,),'y'); % desenha PÉ de apoio
PeS=Ref_B(:,i+1)*Pe; % PÉ solto (nova posição)
fill3(PeS(1,:),PeS(2,:),PeS(3,),'y'); % desenha PÉ solto
aux(:,:)=Ref_B(:,4,:); % auxiliar para desenho
plot3(aux(1,:),aux(2,:),aux(3,:)); % desenho os elos
plot3(aux(1,2:n_elos),aux(2,2:n_elos),aux(3,2:n_elos),'bo'); % desenha juntas
plot3(centromassa_B(1,1:n_elos),centromassa_B(2,1:n_elos),centromassa_B(3,1:n_elos),'rx'); % desenha centros de massa (locais)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% % VALORES DE SAIDA
if Angulos(2,2)<0 % Se estiver apoiado no Pé Esquerdo
    RefPeD=Ref_B(:,18); % Referencial do Pé Direito
    RefPeE=RefPeE; % Referencial do Pé Esquerdo
else % Se estiver apoiado no Pé Direito
    RefPeD=RefPeD; % Referencial do Pé Direito
    RefPeE=Ref_B(:,18); % Referencial do Pé Esquerdo
end; %
Ref(:,inicio:inicio-1+n_elos)=Ref_B(:,2:n_elos+1); % Referenciais
centromassa(:,inicio:inicio-1+n_elos)=centromassa_B(:,1:n_elos); % Centros de massa

```

DH_Cima.m

```

function [Ref,centromassa]=DH_Cima(manip_C,Angulos,n_inc,inc,cmassa,Ref,centromassa);
n_elos=size(manip_C,1); % número de elos deste "manipulador"
inicio=18; % posição deste "manipulador" no "manip global" (robot)
manip_C(:,1)=manip_C(:,1)+Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,1)+(Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,2)-Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,1))*inc/(n_inc+1);
centromassa_C(1:4,1:n_elos)=0; % centros de massa locais
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% % CÁLCULO DE TODO O MANIPULADOR
Ref_C(:,1)=Ref(:,8); % o referencial inicial é o ponto médio da anca
for i=1:n_elos; % determino DH para todos os elos (i->número do elo)
    theta=manip_C(i,1); % "
    alfa=manip_C(i,2); % "
    l=manip_C(i,3); % "
    d=manip_C(i,4); % "
    DH_C(1,1,i)=cos(theta); % "
    DH_C(1,2,i)=-sin(theta)*cos(alfa); % "
    DH_C(1,3,i)=sin(theta)*sin(alfa); % "
    DH_C(1,4,i)=l*cos(theta); % "
    DH_C(2,1,i)=sin(theta); % "
    DH_C(2,2,i)=cos(theta)*cos(alfa); % "
    DH_C(2,3,i)=-cos(theta)*sin(alfa); % "
    DH_C(2,4,i)=l*sin(theta); % "
    DH_C(3,1,i)=0; % "
    DH_C(3,2,i)=sin(alfa); % "
    DH_C(3,3,i)=cos(alfa); % "
    DH_C(3,4,i)=d; % "
    DH_C(4,1,i)=0; % "
    DH_C(4,2,i)=0; % "
    DH_C(4,3,i)=0; % "
    DH_C(4,4,i)=1; % "
    Ref_C(:,i+1)=Ref_C(:,i)*DH_C(:,i); % Obtenho o referencial seguinte
    centromassa_C(:,i)=Ref_C(:,i+1)*cmassa(:,i+inicio-1); % centros de massas locais
end; %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% % DESENHO DE MANIPULADOR
Camara=Ref_C(:,n_elos+1)*[0 0 0 -30 0;-10 0 10;1 1 1]; % Câmara (configuração)
fill3(Camara(1,:),Camara(2,:),Camara(3,:), 'y'); % desenha Câmara
aux(:,:)=Ref_C(:,4,:); % auxiliar para desenho
plot3(aux(1,:),aux(2,:),aux(3,:)); % desenha os elos
plot3(aux(1,2:n_elos),aux(2,2:n_elos),aux(3,2:n_elos),'bo'); % desenha juntas
plot3(centromassa_C(1,1:n_elos),centromassa_C(2,1:n_elos),centromassa_C(3,1:n_elos),'rx'); % desenha centros de massa (locais)
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% % VALORES DE SAIDA
Ref(:,inicio:inicio-1+n_elos)=Ref_C(:,2:n_elos+1); % Referenciais
centromassa(:,inicio:inicio-1+n_elos)=centromassa_C(:,1:n_elos); % Centros de massa

```


DH_Direita.m

```
function [Ref,centromassa]=DH_Direita(manip_D,Angulos,n_inc,inc,cmassa,Ref,centromassa);  
n_elos=size(manip_D,1); % número de elos deste "manipulador"  
inicio=24; % posição deste "manipulador" no "manip global" (robot)  
manip_D(:,1)=manip_D(:,1)+Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,1)+(Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,2)-Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,1))*inc/(n_inc+1);  
centromassa_D(1:4,1:n_elos)=0; % centros de massa locais  
%  
%%%%%%%%%% % CÁLCULO DE TODO O MANIPULADOR  
Ref_D(:,1)=Ref(:,20); % o referencial inicial é no tronco a altura dos ombros  
for i=1:n_elos; % determino DH para todos os elos (i->número do elo)  
    theta=manip_D(i,1); % "  
    alfa=manip_D(i,2); % "  
    l=manip_D(i,3); % "  
    d=manip_D(i,4); % "  
    DH_D(1,1,i)=cos(theta); % "  
    DH_D(1,2,i)=-sin(theta)*cos(alfa); % "  
    DH_D(1,3,i)=sin(theta)*sin(alfa); % "  
    DH_D(1,4,i)=l*cos(theta); % "  
    DH_D(2,1,i)=sin(theta); % "  
    DH_D(2,2,i)=cos(theta)*cos(alfa); % "  
    DH_D(2,3,i)=-cos(theta)*sin(alfa); % "  
    DH_D(2,4,i)=l*sin(theta); % "  
    DH_D(3,1,i)=0; % "  
    DH_D(3,2,i)=sin(alfa); % "  
    DH_D(3,3,i)=cos(alfa); % "  
    DH_D(3,4,i)=d; % "  
    DH_D(4,1,i)=0; % "  
    DH_D(4,2,i)=0; % "  
    DH_D(4,3,i)=0; % "  
    DH_D(4,4,i)=1; % "  
    Ref_D(:,i+1)=Ref_D(:,i)*DH_D(:,i); % Obtenho o referencial seguinte  
    centromassa_D(:,i)=Ref_D(:,i+1)*cmassa(:,i+inicio-1); % centros de massas locais  
end; %  
%  
%%%%%%%%%% % DESENHO DE MANIPULADOR  
Camara=Ref_D(:,n_elos+1)*[0 0 0 -30 0;-10 0 10;1 1 1]; % Mão (configuração)  
fill3(Camara(1,:),Camara(2,:),Camara(3,:),'y'); % desenha Mão  
aux(:,:)=Ref_D(:,4,:); % auxiliar para desenho  
plot3(aux(1,:),aux(2,:),aux(3,:)); % desenha os elos  
plot3(aux(1,2:n_elos),aux(2,2:n_elos),aux(3,2:n_elos),'bo'); % desenha juntas  
plot3(centromassa_D(1,1:n_elos),centromassa_D(2,1:n_elos),centromassa_D(3,1:n_elos),'rx'); % desenha centros de massa (locais)  
%  
%%%%%%%%%% % VALORES DE SAIDA  
Ref(:,inicio:inicio-1+n_elos)=Ref_D(:,2:n_elos+1); % Referenciais  
centromassa(:,inicio:inicio-1+n_elos)=centromassa_D(:,1:n_elos); % Centros de massa
```


DH_Esquerda.m

```

function [Ref,centromassa]=DH_Esquerda(manip_E,Angulos,n_inc,inc,cmassa,Ref,centromassa);
n_elos=size(manip_E,1); % número de elos deste "manipulador"
inicio=28; % posição deste "manipulador" no "manipulador global"
(robot)
manip_E(:,1)=manip_E(:,1)+Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,1)+(Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,2)-Angulos(inicio:n_elos+inicio-1,1))*inc/(n_inc+1);
centromassa_E(1:4,1:n_elos)=0; % centros de massa locais
%
%%%%%%%%%%%%%% % CÁLCULO DE TODO O MANIPULADOR
Ref_E(:,1)=Ref(:,20); % o referencial inicial é no tronco a altura dos ombros
for i=1:n_elos; % determino DH para todos os elos (i->número do elo)
    theta=manip_E(i,1); % "
    alfa=manip_E(i,2); % "
    l=manip_E(i,3); % "
    d=manip_E(i,4); % "
    DH_E(1,1,i)=cos(theta); % "
    DH_E(1,2,i)=-sin(theta)*cos(alfa); % "
    DH_E(1,3,i)=sin(theta)*sin(alfa); % "
    DH_E(1,4,i)=l*cos(theta); % "
    DH_E(2,1,i)=sin(theta); % "
    DH_E(2,2,i)=cos(theta)*cos(alfa); % "
    DH_E(2,3,i)=-cos(theta)*sin(alfa); % "
    DH_E(2,4,i)=l*sin(theta); % "
    DH_E(3,1,i)=0; % "
    DH_E(3,2,i)=sin(alfa); % "
    DH_E(3,3,i)=cos(alfa); % "
    DH_E(3,4,i)=d; % "
    DH_E(4,1,i)=0; % "
    DH_E(4,2,i)=0; % "
    DH_E(4,3,i)=0; % "
    DH_E(4,4,i)=1; % "
    Ref_E(:,i+1)=Ref_E(:,i)*DH_E(:,i); % Obtenho o referencial seguinte
    centromassa_E(:,i)=Ref_E(:,i+1)*cmassa(:,i+inicio-1); % centros de massas locais
end; %
%
%%%%%%%%%%%%%% % DESENHO DE MANIPULADOR
Camara=Ref_E(:,n_elos+1)*[0 0 0 -30 0;-10 0 10;1 1 1]; % Mão (configuração)
fill3(Camara(1,:),Camara(2,:),Camara(3,:),'y'); % desenha Mão
aux(:,:)=Ref_E(:,4,:); % auxiliar para desenho
plot3(aux(1,:),aux(2,:),aux(3,:)); % desenha os elos
plot3(aux(1,2:n_elos),aux(2,2:n_elos),aux(3,2:n_elos),'bo'); % desenha juntas
plot3(centromassa_E(1,1:n_elos),centromassa_E(2,1:n_elos),centromassa_E(3,1:n_elos),'rx'); % desenha centros de massa (locais)
%
%%%%%%%%%%%%%% % VALORES DE SAIDA
Ref(:,inicio:inicio-1+n_elos)=Ref_E(:,2:n_elos+1); % Referenciais
centromassa(:,inicio:inicio-1+n_elos)=centromassa_E(:,1:n_elos); % Centros de massa

```

Momentos.m

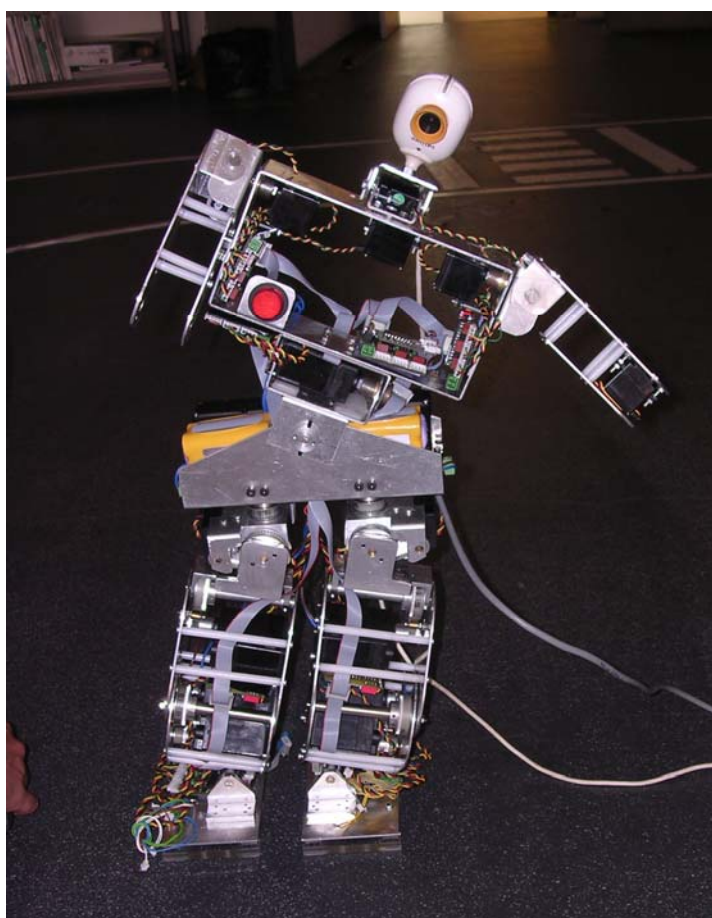
```

function Binarios=Momentos(centromassa,Ref,mi,Binarios); % Cálculo dos Binários em cada motor
M(1:19,1)=0; % inicializo os momentos a zero para todos os motores
linha1(1:3,1:31)=Ref(1:3,3,1:31); % linha auxiliar --- vector z de cada motor
linha1=transpose(linha1); %
linha2(1:3,1:31)=Ref(1:3,4,1:31); % linha auxiliar --- vector de posição de cada elo
linha2=transpose(linha2); %
linha3(1:31,3)=9.8*transpose(mi)/1000; % forças aplicadas: peso d cada elo (g=9.8) (grama a kg :1000)
%
for motor=1:19 % não tem lógica est tipo d cálculo para os outros motores!
    for elo=motor+1:31; % Tomo em conta a contribuição de cada elo,
        X=[ linha1(motor,:); % construo a matriz d k vou calcular o determinante,
            transpose(centromassa(1:3,elo))-linha2(motor,:); % não á a posição d elo k me interessa mas o vector
            linha3(elo,:)]; % que linha o motor ao elo,
        M(motor)=M(motor)+det(X); % e calculo o determinante/momento.
    end;end; %
for motor=9:17 % para os motores da perna que esta no ar
    M(motor)=0; % reinicio-os
    for elo=motor+1:17; % não interessam todos os elos!
        X=[ linha1(motor,:); % construo matriz d k vou calcular o determinante,
            transpose(centromassa(1:3,elo))-linha2(motor,:); % não é a posição d elo k m interessa mas o vector
            linha3(elo,:)]; % que linha o motor ao elo,
        M(motor)=M(motor)+det(X); % e calculo o determinante/momento.
    end;end; %
%
MPeAPOIOLado=M(1); % Momento teórico no Pé de Apoio, ao lado
MPeAPOIOFrente=M(2); % Momento teórico no Pé de Apoio, a frente
MJoelhoAPOIO=M(3); % Momento teórico no Joelho de Apoio
MANcaAPOIOFrente=M(4); % Momento teórico na Anca de Apoio, a frente
MANcaAPOIOLado=M(5); % Momento teórico na Anca de Apoio, ao lado
MPeSOLTOLado=M(15); % Momento teórico no Pé de Solto, ao lado
MPeSOLTOFrente=M(14); % Momento teórico no Pé de Solto, a frente
MJoelhoSOLTO=M(13); % Momento teórico no Joelho de Solto
MANcaSOLTOFrente=M(12); % Momento teórico na Anca de Solto, a frente
MANcaSOLTOLado=M(11); % Momento teórico na Anca de Solto, ao lado
MCinturaLado=M(18); % Momento teórico na Cintura, ao lado
MCinturaFrente=M(19); % Momento teórico na Cintura, a frente
%
VerM=[ MPeAPOIOLado % Variável de saída mais "apresentável"
        MPeAPOIOFrente
        MJoelhoAPOIO
        MANcaAPOIOFrente
        MANcaAPOIOLado
        MANcaSOLTOLado
        MANcaSOLTOFrente
        MJoelhoSOLTO
        MPeSOLTOFrente
        MPeSOLTOLado
        MCinturaLado
        MCinturaFrente];
%
for i=1:size(VerM,1) %
    if abs(VerM(i))>Binarios(i) %
        Binarios(i)=abs(VerM(i)); % qual o maior momento aplicado a cada motor
    end;end; %

```

Projecto Humanóide
2004/2005

Relatório de software desenvolvido em MatLab para:
-Diagnóstico de estado do CAN;
-Leitura do valor de potenciómetros;
-Controlo do robot em malha aberta;



Angelo Cardoso 23570
Nuno Beça 20075

Índice:

Objectivos.....	3
Algumas considerações iniciais.....	3
Toolbox “Anexos”	4
Executavel.m	5
Inicializacao.m	6
Calibracao.m	7
subida.m	8
passo.m	9
enviar.m	10
descida.m	11
MexerSobreDireita.m	12
finalizacao.m	13
LeituraPotenciomentro.m	14
Anexos (programa comentado)	15

Objectivos:

Elaborar um programa que consiga:

- verificar se a comunicação CAN com o robot está a funcionar, isto é, se os cabos estão bem ligados e se as placas estão prontas a comunicar;
- ler o valor do potenciómetro de cada um dos motores;
- enviar valores de juntas para o robot mexer simultaneamente;

Algumas considerações iniciais:

Este programa foi feito em MatLab já que é um tipo de programação fácil de fazer e alterar, ao mesmo tempo que é suficiente para o pretendido.

Muita da informação aqui descrita foi fornecida pelo outro grupo, responsável pelo fabrico e programação das placas;

Toolbox "Anexos":

Esta é a pasta que contém todos os ficheiros que *Executavel.m* vai evocar, isto foi feito para:

- estruturar o programa;
- não ter de introduzir a mesma informação em vários locais;
- em caso de necessidade de efectuar alterações (optimização de movimentos, por exemplo), não correr o risco de danificar partes complexas do programa onde seriam difíceis de detectar os erros;
- tornar a apresentação do programa *Executavel.m* mais “leve”;

Hierarquia das funções:

- Inicializacao.m* - inicializa a comunicação, verifica estado do CAN e “calibra”;
calibracao.m - coloca o robot simétrico o mais esticado possível;
- subida.m* - para fazer o robot esticar as pernas levantando-se (+3cm);
passo.m - define a matriz **P_final** de entrada para *enviar.m*;
enviar.m - envia ordens para o robot se colocar em certa configuração;
- passo.m* - define a matriz **P_final** de entrada para *enviar.m*;
enviar.m - envia ordens para o robot se colocar em certa configuração;
- descida.m* - para fazer o robot encolher as pernas, baixando-se (+3cm);
passo.m - define a matriz **P_final** de entrada para *enviar.m*;
enviar.m - envia ordens para o robot se colocar em certa configuração;
- MexerSobreDireita.m* - define a matriz **P_final** de entrada para *enviar.m* mas com diferenças em relação a *passo.m* pois permite mexer só uma perna;
enviar.m - envia ordens para o robot se colocar em certa configuração;
- finalizacao.m* - lê os potenciómetros, verifica estado do CAN e termina a comunicação;
LeituraPotenciometros.m - lê os potenciómetros dos servo - motores do robot;

Executavel.m

Este é o ficheiro principal, que vai evocar as sub-funções, daí alguma necessidade de ter uma apresentação mais simples.

Entradas:	<i>Ficheiro principal --- não tem</i>
Saídas:	<i>Ficheiro principal --- não tem</i>
Campos a alterar:	<pre>velocidade=4; % velocidade do robot (0-rapido; 5-lento) t=0.40; % tempo de espera entre envio de ordens homep=[75; % Tornozelo (quase encosta o tirante da perna ao veio do pé) 135; % Joelho (quase encosta o tirante da perna às placas coxa) 45]; % Anca (compensa para colocar o tronco na vertical) <i>Também se pode comentar toda a zona de MOVIMENTOS TESTADOS e fazer experiências para conseguir um passo apoiando-o só na perna direita e mexendo:</i> DELTA_anca=0; % Variação na anca esquerda DELTA_joelho=0; % Variação no joelho esquerdo DELTA_tornozelo=0; % Variação no tornozelo esquerdo EXTRA_lado=0; % Compensação EXTRA à anca direita ao lado % (para não "cair" sobre o pé esquerdo)</pre>

Inicializacao.m

Este ficheiro tem a informação necessária para inicializar a comunicação entre o computador e o robot e inicia-a de facto. A comunicação é através da COM1 e o BaudRate é de 19200 com terminador CR.

```
porta=serial('COM1','BaudRate', 19200);    % define a porta A
set(porta,'Terminator', 'CR');             % terminador tem de ser definido
fopen(porta);                               % abre a porta A
```

A seguir a abrir a porta para comunicação, verifica se as placas do robot estão a comunicar, enviando a sequência [0, 255, 255] e ficando à “escuta” da resposta.

```
fwrite(porta,[0,255,255]);                 % pede estado do CAN
fread(porta,8)                             % lê 8 bits do Master (estado do CAN)
```

Este ficheiro também evoca *Calibracao.m* que vai calibrar o robot.

Entradas:	--- nenhum ---
Saídas:	<i>porta</i> - porta de comunicação com o robot; <i>zeros</i> - “zero” para calibrar (entenda-se “esticar”) o robot;
Campos a alterar:	--- nenhum ---

Calibracao.m

Este ficheiro é muito mais útil do que inicialmente aparenta, pois a calibração do robot, isto é, o conseguir ter as pernas semelhantes uma à outra e numa posição com grande amplitude de movimentos, revelou-se algo que tinha de ser feito repetidas vezes. Sempre que uma correia saltava ou uma placa ficava descontrolada, era necessário refazer a calibração.

Com este ficheiro tornou-se muito mais fácil programar o robot e dar valores de juntas ao robot sem ter de estar sempre a fazer as contas da “calibração” de cabeça, apenas se tinham de fazer a calibração no início e depois os ângulos podiam ser dados os pretendidos em termos de variação.

Entradas:	--- nenhum ---
Saídas:	zeros - “zero” para calibrar (entenda-se “esticar”) o robot;
Campos a alterar:	Zeros = [90+5 % PE D: lado (o 1º número é o que o PIC tem inicializado) 180-55 % frente (o resultado deve estar sempre entre 0 e 180) 180-0; % Joelho (se não estiver, é aproximado a um deles) 90-10 % PE E: lado 0+0 % frente 0+0; % joelho 90-0 % COXA D: virar 90+20 % lado 0+0; % frente 90+10 % COXA E: virar 90-30 % lado 180-35]; % frente

subida.m

Aqui é onde se definem todos os pontos (configurações) por onde o robot vai passar ao longo da subida. Na prática são apenas os ângulos que são enviados ao robot espaçados de t segundos, já que não há modo de verificar se os pontos são de facto atingidos, uma vez que se está em malha aberta.

Todo este ficheiro foi obtido por tentativas e não se acrescentaram pontos para o robot ainda mais “esticado” porque a partir do último ponto, já começava a haver alguma instabilidade e de qualquer forma já havia uma amplitude de cerca de 3cm.

Entradas:	<i>joelho</i> - para subida.m nem era necessário; <i>anca</i> - para subida.m nem era necessário; <i>tornozelo</i> - para subida.m nem era necessário; <i>lado</i> - diz o ângulo que inclina ao lado ... que já estava; <i>porta</i> - porta de comunicação com o robot; <i>velocidade</i> - é a velocidade a que o robot se vai mover; <i>zeros</i> - “zero” para calibrar (entenda-se “esticar”) o robot; <i>t</i> - é o tempo de espera entre ordens; <i>homep</i> - é a definição da “Home Position”
Saídas:	<i>joelho</i> - ângulo final dos joelhos; <i>anca</i> - ângulo final da anca à frente; <i>tornozelo</i> - ângulo final dos tornozelos;
Campos a alterar:	% vão-se esticando os joelhos de 5 em 5 graus (no motor), % enquanto os outros motores tentam equilibrar; % Assim estes campos obtiveram-se por tentativas % para todos os pontos de passagem! <i>tornozelo=homep(1)-6;</i> <i>anca=homep(3)+5;</i>

passo.m

Neste ficheiro é criada uma tabela (***P final***) necessária para o ficheiro *enviar.m* onde são colocados os ângulos que cada junta deve ter.

Por uma questão de monitorização, colocou-se uma última linha de código que é apenas para mostrar o ângulo dos joelhos, que são os que variam de forma linear.

De referir ainda a presença do factor 1,5 nas juntas de “anca direita ao lado” e “anca esquerda ao lado”, pois estas são as juntas com razão de transmissão 60/16 em vez da 40/16 utilizada em todas as outras juntas.

Entradas:	<i>joelho</i> - ângulo dos joelhos; <i>anca</i> - ângulo da anca à frente; <i>tornozelo</i> - ângulo dos tornozelos; <i>lado</i> - diz o ângulo que inclina ao lado ... que já estava; <i>porta</i> - porta de comunicação com o robot; <i>velocidade</i> - é a velocidade a que o robot se vai mover; <i>zeros</i> - “zero” para calibrar (entenda-se “esticar”) o robot;
Saídas:	<i>joelho</i> - ângulo dos joelhos; <i>anca</i> - ângulo da anca à frente; <i>tornozelo</i> - ângulo dos tornozelos;
Campos a alterar:	--- nenhum ---

enviar.m

Este ficheiro cria a mensagem necessária para que cada motor vá para uma determinada posição pretendida.

Tal mensagem deve conter o endereço do motor em causa, a posição final pretendida e a velocidade que se quer, mas podem ser dadas ordens para vários motores na mesma passagem.

```
fwrite(porta,[64, 0, 4, 65, 90, 4, 66, 180, 4]);
```

O endereço dos motores é:

- 64- pé direito, ao lado;
- 65- pé direito, à frente;
- 66- joelho direito;
- 68- pé esquerdo, ao lado;
- 69- pé esquerdo, à frente;
- 70- joelho esquerdo;
- 72- anca direita, virar;
- 73- anca direita, ao lado;
- 74- anca direita, à frente;
- 76- anca esquerda, virar;
- 77- anca esquerda, ao lado;
- 78- anca esquerda, à frente;

A velocidade dos servo – motores não é regulável, assim a única maneira de o simular foi criar pontos intermédios entre a posição onde a junta está e posição pretendida e criar tempos de espera (internos do PIC que controla cada motor) entre esses pontos intermédios:

- 0- 0.02s entre incrementos;
- 1- 0.04s entre incrementos;
- 2- 0.06s entre incrementos;
- 3- 0.08s entre incrementos;
- 4- 0.10s entre incrementos;
- 5- 0.12s entre incrementos;

Entradas:	<i>porta</i> - porta de comunicação com o robot; <i>velocidade</i> - é a velocidade a que o robot se vai mover; <i>zeros</i> - “zero” para calibrar (entenda-se “esticar”) o robot; <i>P_final</i> - tabela com ângulos pretendidos em cada junta;
Saídas:	--- nenhum ---
Campos a alterar:	--- nenhum ---

descida.m

Aqui é onde se definem todos os pontos (configurações) por onde o robot vai passar ao longo da descida.

Este ficheiro é idêntico à subida, apenas a sequência de configurações que está invertida.

Entradas:	<i>joelho</i> - para descida.m nem era necessário; <i>anca</i> - para descida.m nem era necessário; <i>tornozelo</i> - para descida.m nem era necessário; <i>lado</i> - diz o ângulo que inclina ao lado ... que já estava; <i>porta</i> - porta de comunicação com o robot; <i>velocidade</i> - é a velocidade a que o robot se vai mover; <i>zeros</i> - “zero” para calibrar (entenda-se “esticar”) o robot; <i>t</i> - é o tempo de espera entre ordens; <i>homep</i> - é a definição da “Home Position”
Saídas:	<i>joelho</i> - ângulo final dos joelhos; <i>anca</i> - ângulo final da anca à frente; <i>tornozelo</i> - ângulo final dos tornozelos;
Campos a alterar:	% este ficheiro foi obtido por Copy & Paste do subida.m % apenas está invertido. % Assim, todos estes ângulos têm de ser optimizados. <i>tornozelo=homep(1)-6;</i> <i>anca=homep(3)+5;</i>

MexerSobreDireita.m

Este ficheiro é parecido com o *passo.m* na medida em que é criada uma tabela (***P final***) necessária para o ficheiro *enviar.m* onde são colocados os ângulos que cada junta deve ter.

A diferença é que este permite alguns incrementos (***DELTA tornozelo***, ***DELTA joelho***, ***DELTA anca***, ***EXTRA lado***) de forma a tentar apoiar o robot apenas sobre a perna direita. Assim é possível tentar encolher a esquerda e levá-la à frente enquanto a direita serve de apoio.

De referir ainda a presença do factor 1,5 nas juntas de “anca direita ao lado” e “anca esquerda ao lado”, pois estas são as juntas com razão de transmissão 60/16 em vez da 40/16 utilizada em todas as outras juntas.

Entradas:	<i>joelho</i> - ângulo dos joelhos; <i>anca</i> - ângulo da anca à frente; <i>tornozelo</i> - ângulo dos tornozelos; <i>lado</i> - diz o ângulo que inclina ao lado ... que já estava; <i>porta</i> - porta de comunicação com o robot; <i>velocidade</i> - é a velocidade a que o robot se vai mover; <i>zeros</i> - “zero” para calibrar (entenda-se “esticar”) o robot;
Saídas:	<i>joelho</i> - ângulo dos joelhos; <i>anca</i> - ângulo da anca à frente; <i>tornozelo</i> - ângulo dos tornozelos;
Campos a alterar:	--- nenhum ---

finalizacao.m

Aqui é evocado o ficheiro *LeituraPotenciometros.m* para se lerem os ângulos que o robot atingiu na prática, já que durante todo o resto do programa estes não foram tomados em conta.

É também verificado, só para confirmar, o bom funcionamento das placas (diagnóstico ao CAN) que consiste, como já foi dito em *Inicializacao.m*, em enviar a sequência [0, 255, 255] e ficar à “escuta” da resposta.

```
fwrite(porta,[0,255,255]);      % pede estado do CAN  
fread(porta,8)                 % lê 8 bits do Master (estado do CAN)
```

E, claro, fecha a porta de comunicação com o robot.

Entradas:	<i>porta</i> - porta de comunicação com o robot;
Saídas:	--- nenhum ---
Campos a alterar:	--- nenhum ---

LeituraPotenciomentro.m

Este ficheiro apenas envia uma sequência de valores para o robot, que os PICs vão interpretar e devolver a leitura dos potenciómetros dos motores. Pelo que está o **fread** para receber a informação colocada no buffer pelos PICs.

A mensagem a enviar para obter a leitura do potenciómetro de um motor, é apenas um número repetido três vezes.

De referir ainda que à semelhança do envio de ordens para que os motores irem para uma determinada configuração, também aqui podem ser enviados pedidos de leitura de vários potenciómetros na mesma linha.

```
fwrite(porta,[128,128,128, 129,129,129, 130,130,130]);  
% PE DIREITO lado, frente, joelho  
fread(porta) % leitura dos potenciómetros
```

- 128- pé direito, ao lado;
- 129- pé direito, à frente;
- 130- joelho direito;
- 132- pé esquerdo, ao lado;
- 133- pé esquerdo, à frente;
- 134- joelho esquerdo;
- 136- anca direita, virar;
- 137- anca direita, ao lado;
- 138- anca direita, à frente;
- 140- anca esquerda, virar;
- 141- anca esquerda, ao lado;
- 142- anca esquerda, à frente;

Entradas:	<i>porta</i> - porta de comunicação com o robot;
Saídas:	--- nenhum ---
Campos a alterar:	--- nenhum ---

Anexos (programa comentado):

Executavel.m

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% INICIALIZAÇÃO
clear all; % limpa a memoria
addpath Anexos; % inclui a pasta Anexos
[porta,zeros]=Inicializacao; % inicializa comunicação
velocidade=4; % velocidade do robot (0-rapido; 5-lento)
t=0.40; % tempo de espera entre envio de ordens (subida/descida)
homep=[ 75; % Tornozelo (quase que encosta o tirante da perna ao veio do pé)
        135; % Joelho (quase que encosta o tirante da perna as placas coxa)
        45]; % Anca (compensa para colocar o tronco na vertical)
lado=0; % (pode ajudar na calibração e definição de HomePosition)
tornozelo=homep(1)-0; % (pode ajudar na calibração e definição de HomePosition)
joelho=homep(2)-0; % (pode ajudar na calibração e definição de HomePosition)
anca=homep(3)-0; % (pode ajudar na calibração e definição de HomePosition)
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% MOVIMENTOS TESTADOS
%
% SUBIR
[joelho,anca,tornozelo]=subida(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros,t,homep);
pause %
% INCLINAR AO LADO
lado=-15; % (0-centro NEGATIVO- direita POSITIVO- esquerda)
passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
pause %
% DESCER
[joelho,anca,tornozelo]=descida(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros,t,homep);
pause %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% EXPERIENCIAS
%
% MEXER A PERNA ESQUERDA (APOIADO NA DIREITA)
DELTA_anca=0; % Variação na anca esquerda
DELTA_joelho=0; % Variação no joelho esquerdo
DELTA_tornozelo=0; % Variação no tornozelo esquerdo
EXTRA_lado=0; % Compensação EXTRA (para n "cair" sobre o pé esq) na anca dir ao lado
MexerSobreDireita(porta,velocidade,zeros,lado,tornozelo,joelho,anca,DELTA_tornozelo,DELTA_joelho,DELTA_anca,EXTRA_lado);
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% FINALIZAÇÃO
%
finalizacao(porta); %
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Inicializacao.m

```
%%%%%%%%%%  
function [porta,zeros]=Inicializacao; %  
%  
clc; % limpa a Command Window  
%  
porta=serial('COM1','BaudRate', 19200); % define a porta A  
portb=serial('COM2','BaudRate', 19200); % define a porta B (que não e utilizada)  
set(porta,'Terminator', 'CR'); % terminador tem de ser definido  
set(portb,'Terminator', 'CR'); % terminador tem de ser definido  
fopen(porta); % abre a porta A  
%  
fwrite(porta,[0,255,255]); % pede estado do CAN  
fread(porta,8) % lê 8 bits do Master (estado do CAN)  
%  
zeros=Calibracao; % calibração (esticar o robot com as pernas "iguais")  
%%%%%%%%%%
```

Calibracao.m

```
%%%%%%%%%%  
function Zeros=Calibracao; %  
%  
Zeros=[ 90+5 % PE D: _lado (o primeiro numero e o que o PIC esta inicializado)  
180-55 % _frente (o resultado final deve estar sempre entre 0 e 180)  
180-0; % _Joelho (se não estiver, e aproximado a um destes valores)  
90-10 % PE E: __lado  
0+0 % ___frente  
0+0; % ___Joelho  
90-0 % COXA D: _____virar  
90+20 % _____lado  
0+0; % _____frente  
90+10 % COXA E: _virar  
90-30 % _lado  
180-35]; % _frente  
%  
%%%%%%%%%%
```

subida.m

```
function [joelho,anca,tornozelo]=subida(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros,t,homep);
tornozelo=homep(1)-0;           % começa encostad em baixo (por questões d estabilidad e repetibilidad)
joelho=homep(2)-0;
anca=homep(3)-0;
    passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
    pause           % d salientar a necessidade desta pausa, o robot podia estar longe desta configuração
    tornozelo=homep(1)-6;      % vão-se esticando os joelhos de 5 em 5 graus (no motor)
    joelho=homep(2)-5;        % enquanto os outros motores tentam equilibrar
    anca=homep(3)+5;
    passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
    pause(t);
        tornozelo=homep(1)-12;
        joelho=homep(2)-10;
        anca=homep(3)+10;
        passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
        pause(t);
            tornozelo=homep(1)-17;
            joelho=homep(2)-15;
            anca=homep(3)+15;
            passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
            pause(t);
                tornozelo=homep(1)-20;
                joelho=homep(2)-20;
                anca=homep(3)+12;
                passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                pause(t);
                    tornozelo=homep(1)-23;
                    joelho=homep(2)-25;
                    anca=homep(3)+10;
                    passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                    pause(t);
                        tornozelo=homep(1)-25;
                        joelho=homep(2)-30;
                        anca=homep(3)+6;

                        passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                        pause(t);
                            tornozelo=homep(1)-27;
                            joelho=homep(2)-35;
                            anca=homep(3)+2;

                            passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                            pause(t);
                                tornozelo=homep(1)-29;
                                joelho=homep(2)-40;
                                anca=homep(3)-2;
                                passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                                pause(t);
                                    tornozelo=homep(1)-31;
                                    joelho=homep(2)-45;
                                    anca=homep(3)-6;
                                    passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                                    pause(t);
                                        tornozelo=homep(1)-33;
                                        joelho=homep(2)-50;
                                        anca=homep(3)-10;
                                        passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                                        pause(t);
                                            tornozelo=homep(1)-35;
                                            joelho=homep(2)-55;
                                            anca=homep(3)-14;
                                            passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                                            pause(t);
                                                tornozelo=homep(1)-37;
                                                joelho=homep(2)-60;
                                                anca=homep(3)-18;
                                                passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
```

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

```
pause(t);  
tornozelo=homep(1)-39;  
joelho=homep(2)-65;  
anca=homep(3)-22;  
passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
```

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

passo.m

```
%%%%%%%%%%  
function passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);  
%  
P_final=[lado % Pé direito ao lado (+esq -dir)  
tornozelo % Pé direito a frente (-trás +frente)  
joelho; % Joelho direito (+encolhe)  
lado % Pé esquerdo ao lado (+esq -dir)  
tornozelo % Pé esquerdo a frente (-trás +frente)  
joelho; % Joelho esquerdo (+encolhe)  
0 % Anca direita virar (+esq -dir)  
lado*1.5 % Anca direita lado (+esq -dir)  
anca; % Anca direita frente (-trás +frente)  
0 % Anca esquerda virar (+esq -dir)  
lado*1.5 % Anca esquerda lado (+esq -dir)  
anca; % Anca esquerda frente (-trás +frente)  
enviar(porta,velocidade,zeros,P_final); %  
disp(['Joelho: ' num2str(joelho)]); %  
%%%%%%%%%%
```

enviar.m

```
%%%%%%%%%%  
function enviar(porta,v,zeros,P_final);  
%PE D  
fwrite(porta,[64,zeros(1)+P_final(1),v, 65,zeros(2)-P_final(2),v, 66,zeros(3)-P_final(3),v]);  
%PE E  
fwrite(porta,[68,zeros(4)+P_final(4),v, 69,zeros(5)+P_final(5),v, 70,zeros(6)+P_final(6),v]);  
%ANCA D  
fwrite(porta,[72,zeros(7)+P_final(7),v, 73,zeros(8)+P_final(8),v, 74,zeros(9)+P_final(9),v]);  
%ANCA E  
fwrite(porta,[76,zeros(10)+P_final(10),v, 77,zeros(11)+P_final(11),v, 78,zeros(12)-  
P_final(12),v]);
```

descida.m

```
function [joelho,anca,tornozelo]=descida(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros,t,homep)
tornozelo=homep(1)-39;
joelho=homep(2)-65;
anca=homep(3)-28;
    passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
    pause(t);
        tornozelo=homep(1)-37;
        joelho=homep(2)-60;
        anca=homep(3)-24;
        passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
        pause(t);
            tornozelo=homep(1)-35;
            joelho=homep(2)-55;
            anca=homep(3)-20;
            passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
            pause(t);
                tornozelo=homep(1)-33;
                joelho=homep(2)-50;
                anca=homep(3)-15;
                passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                pause(t);
                    tornozelo=homep(1)-31;
                    joelho=homep(2)-45;
                    anca=homep(3)-10;
                    passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                    pause(t);
                        tornozelo=homep(1)-29;
                        joelho=homep(2)-40;
                        anca=homep(3)-5;
                        passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                        pause(t);
                            tornozelo=homep(1)-27;
                            joelho=homep(2)-35;
                            anca=homep(3)+0;

                            passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                            pause(t);
                                tornozelo=homep(1)-25;
                                joelho=homep(2)-30;
                                anca=homep(3)+3;

                                passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                                pause(t);
                                    tornozelo=homep(1)-23;
                                    joelho=homep(2)-25;
                                    anca=homep(3)+6;
                                    passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                                    pause(t);
                                        tornozelo=homep(1)-20;
                                        joelho=homep(2)-20;
                                        anca=homep(3)+9;
                                        passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                                        pause(t);
                                            tornozelo=homep(1)-17;
                                            joelho=homep(2)-15;
                                            anca=homep(3)+12;
                                            passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                                            pause(t);
                                                tornozelo=homep(1)-12;
                                                joelho=homep(2)-10;
                                                anca=homep(3)+8;
                                                passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
                                                pause(t);
                                                    tornozelo=homep(1)-6;
                                                    joelho=homep(2)-5;
                                                    anca=homep(3)+4;
                                                    passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
```

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

```
pause(t);  
tornozelo=homep(1)-0;  
joelho=homep(2)-0;  
anca=homep(3)-0;  
passo(joelho,anca,tornozelo,lado,porta,velocidade,zeros);
```

Projecto Final – “Desenvolvimento e Integração das Subestruturas Inferior e Superior para a Locomoção de uma Plataforma Humanóide”

MexerSobreDireita.m

```
%%%%%%%%%%%%%% %  
function  
MexerSobreDireita(porta, velocidade, zeros, lado, tornozelo, joelho, anca, DELTA_tornozelo, DELTA_joelho, DELTA_anca, EXTRA_lado);  
%  
P_final=[lado % Pé direito ao lado (+esq -dir)  
tornozelo % Pé direito a frente (-tras +frente)  
joelho; % Joelho direito (+encolhe)  
lado % Pé esquerdo ao lado (+esq -dir)  
tornozelo+DELTA_tornozelo % Pé esquerdo a frente (-tras +frente)  
joelho+DELTA_joelho; % Joelho esquerdo (+encolhe)  
0 % Anca direita virar (+esq -dir)  
(lado-EXTRA_lado)*1.5 % Anca direita lado (+esq -dir)  
anca; % Anca direita frente (-tras +frente)  
0 % Anca esquerda virar (+esq -dir)  
(lado)*1.5 % Anca esquerda lado (+esq -dir)  
anca+DELTA_anca]; % Anca esquerda frente (-trás +frente)  
enviar(porta, velocidade, zeros, P_final); %  
%%%%%%%%%%%%%% %
```

finalizacao.m

```
%%%%%%%%%%%%%% %  
function finalizacao(porta); %  
%  
fread(porta); % limpa o buffer  
LeituraPotenciometros(porta); % lê os potenciômetros dos motores  
fwrite(porta,[0,255,255]); % pede estado do CAN  
fread(porta,8) % lê 8 bits do Master (estado do CAN)  
fclose(porta); % fecha a comunicação  
%%%%%%%%%%%%%% %
```

LeituraPotenciometros.m

```
%%%%%%%%%%%%%% %  
function LeituraPotenciometros(porta); %  
% pede a leitura dos potenciômetros  
fwrite(porta,[128,128,128, 129,129,129, 130,130,130]); % PE DIREITO lado, frente, joelho  
fwrite(porta,[132,132,132, 133,133,133, 134,134,134]); % PE ESQUERDO lado, frente, joelho  
fwrite(porta,[136,136,136, 137,137,137, 138,138,138]); % ANCA DIREITA virar, lado, frente  
fwrite(porta,[140,140,140, 141,141,141, 142,142,142]); % ANCA ESQ virar, lado, frente  
fread(porta) % lê todo buffer(k tem a leitura d potenciômetros)  
%%%%%%%%%%%%%% %
```


Desenhos Técnicos: