

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SANTO ANDRÉ – FATEC SA

JOÃO EVANGELISTA DOS SANTOS

THOMAS LUCAS NASCIMENTO DA SILVA

**CONTROLE DO CAMINHAR DE UM ROBÔ BÍPEDE DE SEIS EIXOS
COM OS MOVIMENTOS DO CORPO HUMANO**

Santo André – SP

2017

JOÃO EVANGELISTA DOS SANTOS

THOMAS LUCAS NASCIMENTO DA SILVA

**CONTROLE DO CAMINHAR DE UM ROBÔ BÍPEDE DE SEIS EIXOS
COM OS MOVIMENTOS DO CORPO HUMANO**

Trabalho apresentado à FATEC Santo André como requisito parcial para a composição da média na disciplina de TCC 2 do curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2º semestre de 2017.

Orientador: Prof.º Luiz Vasco Puglia

Santo André – SP

2017

S237c

Santos, João Evangelista dos

Controle do caminhar de um robô bípede de seis eixos com os movimentos do corpo humano / João Evangelista dos Santos, Thomas Lucas Nascimento da Silva. - Santo André, 2017. – 59f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.

Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2017.

LISTA DE PRESENÇA

Santo André , 18 de Dezembro de 2017

**LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA
“CONTROLE DO CAMINHAR DE UM ROBÔ BÍPEDE DE SEIS
EIXOS COM OS MOVIMENTOS DO CORPO”. DOS ALUNOS DO
6º SEMESTRE DESTA U.E.**

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. LUIZ VASCO PUGLIA



MEMBROS:

PROF. PEDRO ADOLFO GALANI



PROF. PAULO TETSUO HOASHI

**ALUNO:**

JOAO EVANGELISTA DOS SANTOS



THOMAS LUCAS NASCIMENTO DA SILVA



Agradecimentos

Ao Professor Luiz Vasco Puglia que nos forneceu a orientação técnica, ao Professor Fernando Garup Dalbo, e a todo corpo docente do curso Tecnologia em Mecatrônica Industrial pela seriedade de transmitir o conhecimento técnico necessário para nossa formação.

Resumo

A tecnologia nos últimos anos tem desenvolvido e contribuído com a ciência para criar dispositivos capaz de auxiliar o ser humano no seu cotidiano, está sendo possível melhorar a qualidade de vida de pessoas com dificuldade de mobilidade. Hoje vem acontecendo muitas pesquisas nesta área tecnológica, e com o auxilia da ciência tem trazido conforto e autonomia para essas pessoas. Este trabalho tem como objetivo demonstrar como é o funcionamento de um exoesqueleto em membros inferiores. Esse projeto será dividido em três partes: um robô bípede de seis eixos, uma estrutura exoesqueleto com capacidade de captar os movimentos do ser humano e um circuito de controle PWM (Pulse-Width Modulation) para controlar os servomotores. Os sensores de controle do movimento farão a leitura do sinal de posição e enviará para o microcontrolador ARDUINO que efetuará o processamento dos sinais e distribuirá para cada servomotor, onde o mesmo repetirá os movimentos feitos pelo ser humano. Outro aspecto importante dessas pesquisas é a preocupação de alguns países com a qualidade de vida de sua população idosa, entre eles o Japão está se destacando, as empresas (Honda, Sony, Fujitsu e Mitsubishi) têm se dedicado e investido nestes projetos, procurando oferecer soluções para a comodidade doméstica, através de robôs que possam fazer as tarefas do dia-a-dia.

Palavras chaves: Robô bípede, exoesqueleto, controle, servo.

Summary

The technology in recent years has developed and contributed to science to create devices capable of helping the human being in their daily lives, it is possible to improve the quality of life of people with mobility difficulties. Much research has been going on in this technological area, and with the help of science it has brought comfort and autonomy to these people. This work aims to demonstrate how the functioning of an exoskeleton in lower limbs. This project will be divided into three parts: a six-axis biped robot, an exoskeleton structure capable of capturing human movements, and a Pulse-Width Modulation (PWM) control circuit to control the servo motors. The motion control sensors will read the position signal and send it to the ARDUINO microcontroller that will perform the signal processing and distribute it to each servomotor, where it will repeat the movements made by the human being. Another important aspect of these surveys is the concern of some countries with the quality of life of their elderly population, among them Japan is standing out, companies (Honda, Sony, Fujitsu and Mitsubishi) have dedicated and invested in these projects, seeking to offer solutions for the convenience of the home, through robots that can do the day-to-day tasks.

Key words: Bipedal robot, exoskeleton, control, servo.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Definição de planos de um corpo humano	20
Figura 2 - Primeiro Exoesqueleto Robótico	22
Figura 3 - Micro Servo motor MG996R TowerPro	24
Figura 4 - Representação da fonte de bateria	27
Figura 5 - Microcontrolador	28
Figura 6 - Exoesqueleto.....	30
Figura 7 - Placa Arduino UNO	31
Figura 8 – Robô bípede.....	32
Figura 9 - Desenho representado o cinto e as haste fixadas	34
Figura 10 - Haste do cinto com o sensor	35
Figura 11 - Haste da coxa com os velcros e o sensor.....	36
Figura 12 - Haste da perna contendo um sensor e duas fitas de velcro.....	36
Figura 13 - Haste do pé com um sensor e uma fita de velcro	37
Figura 14 - Base do pé com um sensor e uma fita de velcro.....	37
Figura 15 – Placa de alimentação dos servomotores.....	38
Figura 16 – Placa de alimentação dos sensores.....	39
Figura 17 - Pilhas J.W.S.....	39
Figura 18 – Suporte de Pilha.....	40

Figura 19 - Simulador Tinkercad	40
Figura 20 – Protótipo Exoesqueleto.....	46
Figura 21 – Circuito Servomotores.....	47
Figura 22 – Circuito Sensores	48
Figura 23 - Cotas haste cinto.....	49
Figura 24 - Cotas haste da coxa	50
Figura 25 - Cotas haste da perna	51
Figura 26 - Cotas haste do pé.....	52
Figura 27 - Cotas base do pé.....	53
Figura 28 - Cotas do velcro.....	54

LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

AC – Corrente Alternada.

ADC – Conversor Analógico/Digital.

CC – Corrente Contínua.

Chip – Circuito Integrado.

DAC – Conversor Digital/Analógico.

D.C. – Depois de Cristo.

DOF – Degrees of Freedom.

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read Only Memory

I/O – Entrada e Saída Digital

LCD – Liquid Crystal Display.

MHz – Mega-hertz.

MIT – Instituto de Tecnologia Massachusetts.

NiCd – Níquel Cádmio.

NiMH – Hidreto Metálico de Níquel.

PIC – Peripheral Interface Controller.

PWM – Pulse-Width Modulation.

R.U.R – Rossumovi Univerzální Roboti.

SDR – Sony Dream Robot.

TCC – Trabalho de Conclusão de Curso.

TUM – Universidade Técnica de Munique.

ZMP – Zero Moment Point.

W – Watt

1. SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Perspectiva histórica.	15
1.2 Manipulador Robótico.	18
1.3 Planos do corpo humano.....	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 Exoesqueleto	21
2.2 Servomotores	22
2.2.1 Funcionamento	23
2.2.2 Servomotor aplicado no projeto	24
2.3 Sensor de posicionamento.	24
2.4 Fonte de alimentação.	25
2.4.1 Fonte de alimentação de Íon-Lítio.....	26
2.4.2 Fonte de alimentação do projeto.....	27
2.5 Microcontroladores	27
2.5.1 Principais Características.....	28
2.5.2 Comparação com os processadores	29
3. PROJETO.....	30
3.1 Captação.....	30
3.2 Controle	31

3.3	Movimento.....	31
3.4	Equilíbrio.....	32
3.5	Robô Bípede.....	32
4.	EXECUÇÃO.....	34
4.1	Cinto.....	34
4.2	Hastes do cinto.....	35
4.3	Haste da coxa.....	35
4.4	Haste da perna.....	36
4.5	Haste do pé.....	37
4.6	Base do pé.....	37
4.7	Placa de alimentação dos servomotores.....	38
4.8	Placa de alimentação dos sensores.....	38
4.9	Fonte de alimentação.....	39
4.10	Programação e simulação.....	40
4.11	Auto referenciameto.....	41
5.	CONCLUSÃO.....	43
6.	REFERÊNCIAS.....	44
	APÊNDECE A - Imagens do projeto.....	46
	APÊNDECE B - Desenhos do projeto.....	49
	APÊNDECE B - Programa.....	55

APÊNDECE C - Tabela de custo59

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente procura por tecnologia que favoreça o bem-estar e conforto das pessoas em suas atividades domésticas, empresas (Honda, Sony, Google) juntamente com alguns cientistas vem desenvolvendo máquinas que ajudem pessoas com limitações para executar atividades doméstica ou até mesmo de se locomover.

Este projeto busca desenvolver o controle do caminhar de um robô bípede com o auxílio de um dispositivo preso ao corpo de uma pessoa, esse dispositivo é denominado de exoesqueleto (estrutura externa ao corpo) indicará a posição do movimento e transmitirá para um conjunto de controle que fará o processamento de sinais e enviará para os servomotores das juntas do robô bípede. Nesta etapa foi desenvolvido uma montagem com base em um modelo humano obedecendo as dimensões de sua estatura. Outra parte importante também foi a programação, essa será responsável por proporcionar a conexão entre o exoesqueleto e o robô bípede e distribuir controle preciso da atuação dos servomotores possibilitando que o robô bípede desenvolva seu caminhar corretamente garantindo que cada um desses componentes seja acionado no momento correto. A elaboração deste trabalho tem como princípio além da busca do conhecimento técnico e teórico tanto na parte mecânica, eletrônica e de programação como também pesquisar como essa tecnologia vem se desenvolvendo e como esses estudos estão agregando novas áreas e horizontes para o homem, seja no dia a dia no trabalho ou para o auxílio na área da saúde, bem como, pequenas próteses ou até exoesqueletos que possibilitam pessoas a andar novamente.

1.1 Perspectiva histórica.

A ideia de se criar máquinas que possam imitar comportamentos humanos remonta, de forma muito incipiente, ao período da antiguidade clássica (*Silva e Machado, 2007*), evoluindo lentamente ao longo dos séculos. A partir dos anos 60 até os dias de hoje, esta ideia consolida-se enquanto objeto de pesquisa e desperta o interesse de universidades e centros de pesquisa em todo o mundo, buscando respaldo científico em várias áreas do saber, dentre as quais se podem mencionar: robótica, teoria de sistemas, teoria de controle, inteligência

artificial, comunicação, ciência dos materiais, mecânica, biomecânica e neurociência (Fukuda et al., 2001). A seguir apresenta-se uma breve cronologia dos principais fatos relacionados ao desenvolvimento das pesquisas de robôs bípedes (Pratt, 2000a; Robertson, 2007; Silva e Machado, 2007).

- Século I D.C.: *Heron de Alexandria* cria o primeiro robô capaz de se locomover. O caminhar era realizado por meio de cordas amarradas em determinada sequência em torno dos eixos de suas rodas dianteiras. Na parte de trás do autômato, as cordas ficavam presas a pesos, que por sua vez ficavam no alto de um tubo furado cheio de grãos de trigo. O cair do trigo baixava os pesos, fazendo os eixos rodarem e movimentando o robô.

- 1495: *Leonardo da Vinci* projeta um robô humanoide, entre 1495 e 1497. Tratava-se de um cavaleiro, feito de madeira, couro e bronze, capaz de desempenhar alguns movimentos humanos, tais como sentar-se e movimentar os braços e o pescoço.

- 1738: O inventor francês *Jacques de Vaucanson* constrói "O Tocador de Flauta", um robô com a forma de um pastor que tocava flauta. Posteriormente cria o "Tocador de Tamborim", bem como sua obra prima, "*The Digesting Duck*". Esta última tratava-se de um pato composto por mais de 400 peças, que podia bater asas, beber água, comer grama e expurgar o alimento após passar por um complexo processo digestivo.

- 1770: O barão *Wolfgang Von Kempelen* cria um suposto autômato denominado "O Turco" que jogava xadrez. Descobre-se posteriormente tratar-se de um embuste, sendo o autômato controlado por um exímio jogador de xadrez anão que se escondia em um compartimento abaixo do tabuleiro.

- 1893: "*The SteamMan*", máquina humanoide bípede movida a vapor, é construída na Inglaterra por *Georges Moore*.

- 1921: O escritor tcheco *Karel Capek* introduz, em sua peça *R.U.R.*, a palavra "*robot*" (robô), cunhada a partir do vocábulo *robota*, que significa trabalho, em tcheco.

- 1970: O engenheiro sérvio *Miomir Vukobratovic* introduz um modelo teórico para explicar a locomoção bípede baseada no conceito de ZMP (*Zero Moment Point*), sendo um dos pioneiros em robótica humanoide.

- 1973: O robô *Wabot-1* é construído na Universidade *Waseda*, de Tóquio, tendo capacidades rudimentares de comunicação em japonês, aliadas à habilidade de medir distâncias por meio de receptores externos.

- 1980: *Marc Raibert* cria o *Leg Laboratory*, no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), dedicado a pesquisas na área de locomoção de estruturas robóticas com pernas.

- 1986: *Honda* inicia suas pesquisas na área de robótica humanoide, tendo criado desde então diversos protótipos, objetivando a coexistência e colaboração com os seres humanos.

- 1990: *Ted McGeer* demonstra que uma estrutura mecânica com joelhos pode descer uma superfície inclinada de forma passiva (apenas com ação gravitacional).

- 1996: *Ichiro Kato*, o pai da robótica japonesa, constrói o robô *Wabian* na Universidade *Waseda*. Contando com 35 graus de liberdade, era capaz de se locomover para frente e para trás, auxiliando no transporte de cargas.

- 2000: *Honda* cria seu 11º robô bípede humanoide, o *ASIMO*, considerado o estado da arte até o presente momento.

- 2001: *Sony* lança o *SDR (Sony Dream Robot)*, renomeado para *Qrio* em 2003.

- 2003: A Universidade de *Osaka*, em parceria com a empresa *Kokoro*, apresentam o *Actroid*, um robô com uma convincente "pele" de silicone.

- 2003: A *Universidade Técnica de Munique (TUM)* constrói um avançado robô bípede, *Johnnie*.

- 2005: A *Mitsubishi* lança o *Wakamaru*, um robô doméstico destinado a servir de acompanhante para pessoas idosas e deficientes físicos.

A seguir serão explanados alguns conceitos básicos, tomados das disciplinas de mecânica (*Young e Freedman, 2003*) e robótica [*Campos-Bonilla, 2004; Spong e Vidyasagar, 1989*], que aparecerão de forma recorrente ao longo deste trabalho.

1.2 Manipulador Robótico.

Sistema de corpos chamados elos, conectados por meio de juntas, formando uma cadeia cinemática. Possui uma base (normalmente o referencial das equações cinemáticas do manipulador) e um efetuador (extremidade livre do manipulador, onde normalmente é afixada uma ferramenta).

- Juntas: podem ser de revolução (permitem a rotação relativa entre dois elos) ou prismáticas (possibilitam o movimento linear relativo entre dois elos). Podem ser elétricas, hidráulica ou pneumaticamente atuadas.

- Variáveis das Juntas: ângulos relativos entre os elos (no caso de juntas rotativas) e extensão relativa entre os elos (no caso de juntas prismáticas).

- Espaço Operacional: lugar geométrico onde os movimentos do efetuador estão definidos.

- Espaço das Juntas: espaço no qual o vetor das variáveis das juntas é definido.

- Cinemática Direta: determinação da posição e orientação do efetuador, a partir do conhecimento das variáveis das juntas.

- Cinemática Inversa: determinação das variáveis das juntas a partir do conhecimento da posição e orientação do efetuador.

- Cadeia Cinemática Aberta, Fechada e Híbrida: é dita aberta quando dois elos quaisquer da cadeia se conectam somente por meio de um percurso, e fechada quando dois elos quaisquer da cadeia devem ser conectados por meio de, no mínimo, dois percursos diferentes. Estruturas em cadeia híbrida apresentam ora comportamento de cadeia aberta, ora de cadeia fechada.

- Graus de Liberdade (*Degrees of Freedom - DOF*): indicam o número de parâmetros independentes necessários para especificar completamente a configuração do manipulador. Determinados pelo número de juntas do robô, no caso de robôs de cadeia aberta.

- Subatuação: um sistema é dito subatuado quando o número de graus de liberdade é menor que o número de variáveis independentes necessárias para definir a tarefa.

- Jacobiano Analítico: assim como a cinemática direta fornece uma função que relaciona posições e orientações cartesianas com as posições das juntas, a matriz jacobiana é a função matricial que estabelece estas relações em termos de velocidades. Ainda, sua transposta relaciona os torques nas juntas com as forças exercidas pelo efetuador no espaço operacional.

- Centro de Massa: pode ser entendido estatisticamente como a posição correspondente a uma média ponderada das massas das partículas de um corpo.

- Polígono de Estabilidade: polígono convexo delimitado pelo contorno dos pés do robô em contato com o solo.

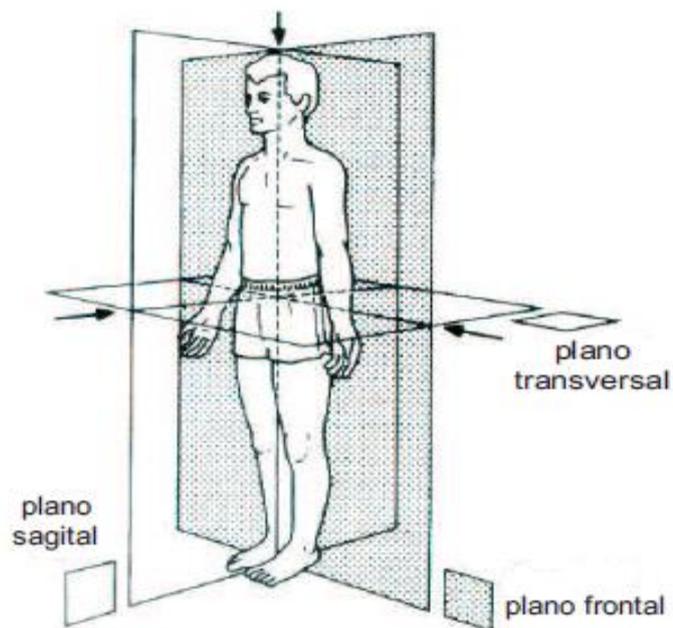
- Caminhar Estático e Dinâmico: um robô bípede apresenta um caminhar estático quando a projeção de seu centro de massa permanece sempre dentro do polígono de estabilidade. O caminhar dinâmico caracteriza-se por breves momentos de instabilidade (quando a projeção do centro de massa abandona o polígono de estabilidade), submetendo o robô a acelerações horizontais (*Nicholls, 1998*).

- Ponto de Momento Zero (*Zero Moment Point - ZMP*): é o ponto onde forças de reação do pé de apoio do robô com relação à superfície de contato não produzem nenhum momento. O conceito é válido enquanto a superfície de contato for plana e o pé estiver totalmente apoiado sobre ela (estabilidade dinâmica), sendo uma ferramenta muito usada para assegurar o "caminhar dinâmico" de robôs bípedes providos de pés (*Erbaturo et al., 2002; Sardain e Bessonnet, 2004; Vukobratovic e Borovac, 2004*). É usado tanto na geração de trajetórias (*offline*) quanto posteriormente no controle (*online*), onde o controlador informando o sistema caso necessite tomar medidas corretivas (movimentar o torso e os braços) para prevenir a perda de sua estabilidade dinâmica (*Sutherland, 2006*).

1.3 Planos do corpo humano.

Planos Sagital, Frontal e Transversal: um ser humano na posição ortostática (posição ereta) é referenciado de acordo com três planos mutuamente ortogonais (sagital, frontal e transversal), conforme figura 1 (Vaughan *et al.*, 1992).

Figura 1 - Definição de planos de um corpo humano



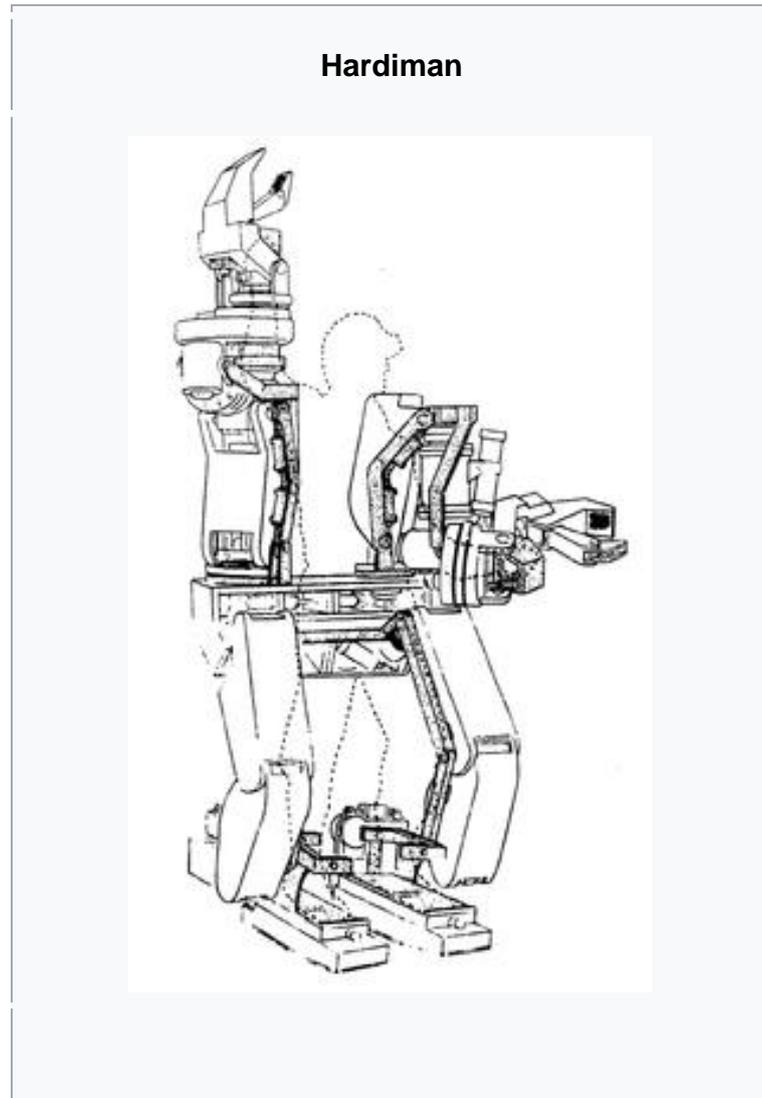
Fonte: <http://investigamoslavida.blogspot.com.br/2011/03/este-modelo-del-cuerpo-humano-se-le-han> (2017)

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Exoesqueleto

Exoesqueleto é o nome dado para a estrutura esquelética localizada fora do corpo do ser vivo. Herr (2009) define órtese e exoesqueleto como um equipamento mecânico de essência antropomórfica, ou seja, imitando características do movimento humano, e que são utilizadas por volta do corpo, de forma a auxiliar o movimento. Em geral o exoesqueleto é conhecido por aumentar o desempenho de quem o estão utilizando e a órtese por corrigir (ajudar) o usuário que possui uma patologia, movimento ou posicionamento incorreto de um membro. Os exoesqueletos são comuns em animais invertebrados, ou seja, que não possuem uma estrutura óssea interna, como os vertebrados. Ao contrário do esqueleto dos animais vertebrados, que são feitos de ossos e cartilagens, o exoesqueleto é na realidade uma camada ou crosta resistente que envolve o corpo dos invertebrados. Os seres humanos não possuem um exoesqueleto natural, já que são dotados de uma estrutura óssea interna. No entanto, existem diversos estudos e tecnologias que tentam imitar uma estrutura protetora externa para o corpo humano. O exoesqueleto humano artificial tem a função de proteger o corpo de determinada pessoa, seja em situações de perigo ou em ambientes onde o corpo humano não resistiria naturalmente. O exoesqueleto militar é um exemplo que simula este tipo de proteção externa, além de poder ser usado clinicamente com pessoas portadoras de alguma deficiência motora ou muscular (CRUZ GARCÉS, 2013). O primeiro exoesqueleto robótico do corpo humano, Hardiman, foi criado pela General Electric em 1965, conforme figura 2. Este exoesqueleto foi concebido com a ideia de aumentar a capacidade física do corpo humano para levantar 680 Kg. Essa ideia era muito inovadora, mas a tecnologia dos atuadores, dos materiais, das fontes de energia e os tipos de controle de sistemas nessa época, fizeram possível somente a criação de um exoesqueleto de braço com movimentos bruscos e que não apresentava segurança para que uma pessoa pudesse usá-lo.

Figura 2 - Primeiro Exoesqueleto Robótico



Fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hardiman>(jan 2018)

2.2 Servomotores

Os servomotores são usados em várias aplicações quando se deseja movimentar algo de forma precisa e controlada sua característica mais marcante é a sua capacidade de movimentar o seu braço até uma posição e mantê-lo, mesmo quando sofre uma força em outra direção (feis.unespengenhariaeletrica, 2013). Servomotores CC (Corrente Contínua) que são os mais comuns, na qual operam com um motor CC pequeno, o servomotor é controlado por

PWM, onde através dessa modulação do sinal consegue-se alternar os sentidos de rotação do motor com grande precisão. Tem também os servomotores AC (Corrente Alternada) que usam valores altos de corrente, portanto, são usados para mover grandes cargas e ter alto torque. Os magnetos permanentes sem escova ou motores brushless como são chamados, eles são usados para grandes aplicações de força e altas velocidades e esses motores que são utilizados na indústria. Stepper Motor ou motor de passo, é um motor elétrico diferente dos outros motores pois ele move-se passo a passo. Eles não giram continuamente, mas sim em etapas, ou seja, ele faz a rotação do seu eixo dividido em graus. A principal característica destes motores está na capacidade de se mover um passo de cada vez sempre que é aplicado um sinal elétrico em sua entrada ou uma combinação de sinais.

2.2.1 Funcionamento

O circuito eletrônico de controle e o potenciômetro formam um sistema interno de realimentação (*feedback*) para controle da posição do eixo do servo. Tipicamente, o eixo de um servo roda entre 0° e 180° e podem ser posicionados, entre estes dois valores angulares, pela aplicação de um sinal na entrada de controle aplicado e mantido o sinal, o servo manterá a posição angular do seu eixo sem mudanças. Se o sinal mudar, então a posição angular do eixo também muda caso não seja aplicado sinal, só as forças de atrito mantêm o servo na sua posição angular o sistema interno de realimentação faz com que o servo rode para uma determinada posição em resposta a um determinado pulso e pare naquela posição. O potenciômetro de realimentação que está conectado mecanicamente ao eixo do servo, funciona como sensor que indica a posição do eixo e a divisão de tensão no potenciômetro produz uma tensão proporcional ao ângulo do eixo do servo, uma vez que a sua resistência varia em função do ângulo de rotação do motor o circuito eletrônico compara o valor da resistência do potenciômetro com os impulsos que recebe pelo fio de sinal, ativando o motor para corrigir qualquer diferença que exista entre ambos. Isto é, o potenciômetro permite ao circuito de controle dentro do servo, verificar a todo o momento o ângulo de rotação do servo motor. Se o eixo está no ângulo correto, o motor não roda. Se o circuito verifica que o ângulo não é o correto, o motor roda, no sentido adequado, até alcançar o ângulo correto (ANDRE SANTOS, 2007).

2.2.2 Servomotor aplicado no projeto

Neste projeto utilizar-se-á o Micro Servo MG996R TowerPro conforme figura 3, de acordo com (baudaeletronica) é um servomotor CC, de alta compatibilidade com microcontroladores, seja PIC (Peripheral Interface Controller) ou Arduino, e pode ser controlado através de pulsos, a precisão e eficiência do movimento do robô será precisa e facilmente manipulada.

Figura 3 - Micro Servo motor MG996R TowerPro



Fonte: <http://www.etechpk.net/shop/motors-2/servo-motor/tower-pro-mg996r-360deg-11-kg-cm-copy> (2017)

2.3 Sensor de posicionamento.

Segundo Newton C. Braga (2012), potenciômetro é um componente eletrônico que cria uma limitação para o fluxo de corrente elétrica que passa por ele, e essa limitação pode ser ajustada manualmente, podendo ser aumentada ou diminuída. Os potenciômetros e os resistores têm essa finalidade de limitar o fluxo de corrente elétrica em um circuito, a diferença é que o potenciômetro pode ter sua resistência ajustada e o resistor comum não pode, pois ele possui um valor de resistência fixo. O potenciômetro comumente possui três terminais e um eixo giratório para ajuste da sua resistência, e normalmente são usados em

controle de volumes de aparelhos de som, controle de posicionamento em controles de vídeo games, controle de brilho e contraste em telas LCD (Liquid Crystal Display).

Os potenciômetros são utilizados em circuitos de baixa tensão e corrente, devido a sua baixa potência que normalmente vai de 0,25w (Watt) a 1w. Se você necessitar de um pouco mais de potência pode usar um potenciômetro de fio, que pode suportar comumente 4w, ou um reostato. Existem diversos formatos de potenciômetros, dentre eles podemos destacar: potenciômetro de eixo giratório, que é muito comum e sua resistência são ajustados girando o seu eixo. Potenciômetro deslizante, muito usado em mixers de DJs, sua resistência é ajustada deslizando o seu pino. Trimpot, normalmente usados dentro dos equipamentos eletrônicos, não acessível ao usuário, e sua resistência é ajustada usando uma chave de fenda ou philips bem pequena. Potenciômetro digital, que é um chip, não é controlado mecanicamente, e o ajuste da sua resistência é feito através de sinais digitais, de um micro controlador por exemplo. Existem também diversos tipos de potenciômetros e dentre ele podemos destacar: Linear: Neste tipo de potenciômetro o movimento de regulagem da resistência é diretamente proporcional a resistência resultante. Logaritmo: Neste tipo de potenciômetro o movimento de regulagem da resistência é uma função logarítmica que por sua vez define a resistência resultante. Esse tipo é bastante utilizado em sistemas de som automotivo, residencial e profissional por ser considerado mais suave na variação da resistência. Mas também temos o tipo logaritmo reverso, que é o mais agressivo na variação da resistência.

Os tipos lineares e logaritmos podem ser encontrados em diversos formatos diferentes, como por exemplo, de eixo giratório, deslizante e etc.

2.4 Fonte de alimentação.

Jennifer Fogaça (2017) pilhas e baterias tem o mesmo princípio de funcionamento, gerando energia por meio de uma reação química. Nesse caso existe a conversão de energia química em energia elétrica, ou seja, usam-se as reações químicas de oxirredução espontâneas para a geração de eletricidade. Dentro das pilhas são colocadas certas substâncias químicas que reagem espontaneamente transferindo elétrons, isto é, por meio de reações de oxirredução. As pilhas possuem dois eletrodos, que são:

- Ânodo: polo negativo onde ocorre a oxidação;
- Cátodo: polo positivo onde ocorre a redução.

As pilhas e baterias também possuem um eletrólito, que é uma solução condutora de íons. Assim, forma-se um fluxo de elétrons entre esses polos que resulta na formação de uma corrente elétrica que pode ser utilizada para que diversos aparelhos elétricos funcionem. A diferença entre as pilhas e as baterias é que enquanto as pilhas possuem somente dois eletrodos, as baterias são formadas por várias pilhas conectadas em série ou em paralelo, ou seja, possuem vários eletrodos, o que aumenta a sua tensão elétrica.

2.4.1 Fonte de alimentação de Íon-Lítio

A bateria de Íon-Lítio é um tipo de bateria recarregável muito utilizada em equipamentos portáteis, como telefones celulares e câmeras digitais, armazenando o dobro de energia de uma bateria de NiMH (Hidreto Metálico de Níquel), e três vezes mais que uma bateria de NiCd (Níquel Cádmio). Uma das grandes vantagens desse tipo de bateria é a ausência de “efeito memória”, ou seja, você não precisa esperar que a bateria esteja totalmente descarregada para efetuar uma nova recarga. A bateria de Íon-Lítio suporta centenas de ciclos de carga/descarga. A bateria de Íon-Lítio também é bastante leve e segura, por ser hermeticamente fechada, e tem uma durabilidade aproximada de três anos, quando começa a perder a eficiência. Cuidados especiais devem ser tomados com esse tipo de bateria, pois ela é extremamente sensível ao calor. O princípio de funcionamento das baterias de íon lítio baseia-se no fenômeno de intercalação iônica. Este fenômeno é descrito pela difusão dos Li^+ (Íons de Lítio) através da rede cristalina tanto do cátodo como do ânodo, com a diferença que quando intercala em um, deintercala do outro, e vice-versa. A intercalação de um Li^+ num eletrodo requer, obrigatoriamente, para manter sua neutralidade, a intercalação de um elétron. O eletrodo que recebe o íon intercalante e conseqüentemente um elétron é reduzido, enquanto o outro eletrodo que cede o íon intercalante e conseqüentemente um elétron é oxidado. Por esse movimento iônico de ora intercalar, ora deintercalar, esta bateria recebeu originalmente o nome de “cadeira de balanço” (Universidade Estadual de Londrina).

2.4.2 Fonte de alimentação do projeto.

Será empregado no projeto do robô bípede um banco de quatro baterias TR18650 3,7V 9900mAh de Íon-Lítio, sendo duas para alimentação do microcontrolador e sensores, duas para alimentação dos servomotores. conforme a figura 4 abaixo.

Figura 4 - Representação da fonte de bateria



Fonte: Imagem própria (2017)

2.5 Microcontroladores

Segundo Vidal Pereira (2013) os microcontroladores conforme figura 5, são chips que podem ser programados para funções específicas. Em geral, eles são usados para controlar circuitos e, por isso, são comumente encontrados dentro de outros dispositivos, sendo conhecidos como "controladores embutidos". A estrutura interna de um microcontrolador apresenta um processador, bem como circuitos de memória e periféricos de entrada e saída.

Figura 5 - Microcontrolador



Fonte: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f0/KL_Intel_P8051.jpg/220px-KL_Intel_P8051.jpg

O microcontrolador possui internamente os seguintes dispositivos:

- a) Uma CPU (Central Processor Unit ou Unidade de Processamento Central), cuja finalidade é interpretar as instruções de programa.
- b) Uma memória PROM (Programmable Read Only Memory ou Memória Programável Somente de Leitura) na qual são gravadas as instruções do programa.
- c) Uma memória RAM (Random Access Memory ou Memória de Acesso Aleatório) utilizada para memorizar as variáveis utilizadas pelo programa.
- d) Um conjunto de LINHAS de I/O para controlar dispositivos externos ou receber impulsos de sensores, interruptores, etc.
- e) Um conjunto de dispositivos auxiliares ao funcionamento, ou seja, gerador de clock, contadores, UASART para comunicação, etc.

2.5.1 Principais Características

Com frequências de clock de poucos MHz (Megahertz) ou talvez menos, os microcontroladores operam a uma frequência muito baixa se comparados com os microprocessadores atuais, no entanto são adequados para a maioria das aplicações usuais

como, por exemplo, controlar uma máquina de lavar roupas ou uma esteira de chão de fábrica. O seu consumo em geral é relativamente pequeno, normalmente na casa dos miliwatts e possuem geralmente habilidade para entrar em modo de espera (Wait) aguardando por uma interrupção ou evento externo, como por exemplo, o acionamento de uma tecla, ou um sinal que chega via uma interface de dados. O consumo destes microcontroladores em modo de espera pode chegar à casa dos nanowatts, tornando-os ideais para aplicações onde a exigência de baixo consumo de energia é um fator decisivo para o sucesso do projeto.

2.5.2 Comparação com os processadores

Os microcontroladores se diferenciam dos processadores, pois além dos componentes lógicos e aritméticos usuais de um microprocessador de uso geral, o microcontrolador integra elementos adicionais em sua estrutura interna, como memória de leitura e escrita para armazenamento de dados, memória somente de leitura para armazenamento de programas, EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) para armazenamento permanente de dados, dispositivos periféricos como ADC (Conversores Analógico/Digitais), DAC (Conversores Digitais/Analógicos), Portas de I/O (Entrada e Saída Digitais) para propósito geral.

3. PROJETO

3.1 Captação

Os sensores que irá ler os sinais de movimento do caminhar da pessoa estão fixados na estrutura exoesqueleto que é um conjunto de placas em policarbonato fixada no cinto e os potenciômetros estão presos nas posições de articulação para captar a variação de movimento. Estes sinais serão transferidos para a placa de controle através de cabos. Para a confecção do exoesqueleto foram utilizados seis sensores (potenciômetros), oito barras de termoplástico (policarbonato), cintas de ancoragem, sendo uma na parte da cintura e duas em cada perna, uma abaixo do joelho e outra na altura do tornozelo, duas bases para os pés e uma cita para cada pé, conforme a figura 6, no apêndice A tem uma foto real da estrutura.

Figura 6 - Exoesqueleto



Fonte: Fusion360 (2017)

3.2 Controle

O exoesqueleto fará a transmissão de sinais dos sensores de posicionamento para uma placa do microcontrolador (Arduino UNO), nesse processador contém o programa para processar esses sinais e transmiti-los para os motores de deslocamento do robô bípede. O microprocessador que será aplicado é conforme a figura 7.

Figura 7 - Placa Arduino UNO



Fonte: <http://www.hobbytronics.co.uk/arduino-uno-r3> (2017)

3.3 Movimento

Com os sinais devidamente processados na placa de controle arduino, a placa irá transmitir o sinal para cada servomotor para executar a ação de movimento de acordo com a ação desejada para o deslocamento do robô bípede. Os servomotores para essa aplicação será o MG996R TowerPro. Este é o microservomotor com características de torque elevado, considerando o seu tamanho, fácil controle de posicionamento devido ao circuito interno integrado. Os servomotores que serão utilizados para o caminhar e equilíbrio, funcionaram desta maneira: O servomotor da base de apoio faz a inclinação necessária para o equilíbrio do corpo do robô bípede. Fazendo com que seu peso fique sobre a perna que está apoiada, assim possibilitando que a outra perna seja erguida e projetada para a posição desejada. Esses movimentos serão realizados com servomotor do quadril e joelho. Quando o pé que estava em movimento tocar o chão, então o servomotor do ponto de apoio entrará em ação novamente, transferindo o peso do robô bípede para a perna que fez o deslocamento, desta forma possibilitando a ação da outra perna. Para garantir e controlar a direção do movimento do

robô bípede se faz necessário inverter a rotação do servomotor responsável por deslocar as pernas do bípede, e isso será feito nas linhas de código do programa juntamente com os potenciômetros.

3.4 Equilíbrio.

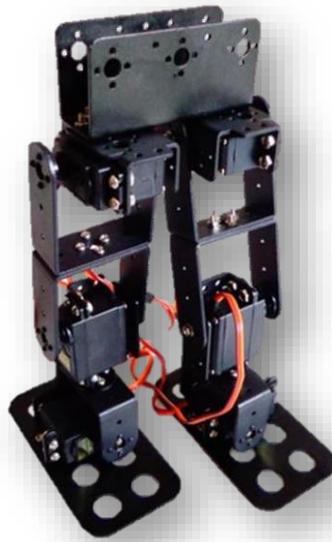
Com o decorrer do deslocamento do robô bípede em determinado momento ele ficará com um único ponto de apoio no chão, sendo necessário fazer a correção do centro de gravidade de massa para garantir o equilíbrio do robô, para isso será utilizado um sensor próximo ao tornozelo esse sensor fará o controle do servomotor responsável pelo equilíbrio do robô bípede.

3.5 Robô Bípede.

Para reproduzir os movimentos do corpo do ser humano que portará o exoesqueleto, utilizar-se-á um robô bípede, um conjunto mecânico pequeno, com duas pernas, dupla base para apoio, e seis servomotores, este mecanismo reproduzirá os movimentos das pernas, joelhos e tornozelos de uma pessoa conforme mostra a figura 8, o robô tem as seguintes características:

- Estrutura em Alumínio com 300 mm de altura x 70mm de comprimento x 100mm de largura.
- Seis juntas de articulação com rolamentos.
- Seis servomotores MG996R TowerPro.

Figura 8 – Robô bípede



Fonte: Imagem própria (2017)

4. EXECUÇÃO

O projeto do exoesqueleto foi desenvolvido em policarbonato, que é um termoplástico com boas propriedades mecânicas e de fácil conformação. Para criar o projeto mecânico foi utilizando-se o software para desenho FUSION360 da Autodesk, neste tópico de desenvolvimento serão demonstradas as placas eletrônicas que compõem o conjunto do exoesqueleto e sua função na captação de sinais. A interface entre o exoesqueleto e o robô bípede acontecerá por uma placa eletrônica com um microcontrolador Atmel AVR, a placa de alimentação dos servomotores e a placa de alimentação dos sensores foram desenvolvidas no software 123d circuits da Autodesk, e a placa de processamento de sinais (Arduino) e robô bípede ambos foram comprados. Os desenhos completos estarão nos apêndices no final da monografia.

4.1 Cinto

Como o exoesqueleto captará os movimentos das pernas da pessoa que o tiver transportado, para facilitar e garantir esta fixação na linha da cintura utilizar-se-á um cinto de couro sintético com dimensões de 1100 mm de comprimento e 40 mm de largura e 3mm de espessura. Este receberá duas hastes de policarbonato fixada por dois parafusos cada uma delas, conforme ilustrada na figura 9.

Figura 9 - Desenho representado o cinto e as haste fixadas



4.2 Hastes do cinto

Durante o desenvolvimento e realização de testes práticos notou-se a necessidade de ter uma haste presa ao cinto em uma inclinação de 30° graus, (figura 10), para facilitar o alinhamento da estrutura ao corpo, e também fixar o sensor de detecção do movimento da coxa, conforme ilustrada na figura 10.

Figura 10 - Haste do cinto com o sensor



Fonte: Fusion360 (2017)

4.3 Haste da coxa

Este componente ficará preso junta da coxa com duas fitas de velcro para garantir sua posição, em uma extremidade estará posicionado um sensor na altura do joelho e na outra extremidade será encaixado o sensor que captará o sinal de variação de movimento da coxa, como mostra a figura 11.

Figura 11 - Haste da coxa com os velcros e o sensor

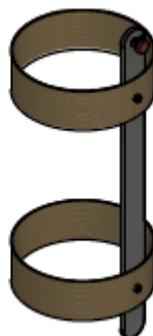


Fonte: Fusion360 (2017)

4.4 Haste da perna

Este componente ficará preso junta a perna abaixo do joelho com duas fitas de velcro para garantir sua posição, em uma extremidade será encaixado o sensor que capitará o sinal de variação de movimento do joelho, na outra extremidade estará posicionado uma fita de velcro para fixar a haste próximo ao tornozelo e também fixa a haste que comporta o sensor de variação de inclinação, como mostra a figura 12.

Figura 12 - Haste da perna contendo um sensor e duas fitas de velcro

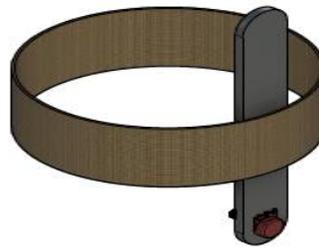


Fonte: Fusion360 (2017)

4.5 Haste do pé

Este componente ficará preso junta a perna acima do tornozelo com uma fita de velcro para garantir sua posição, em uma extremidade será fixado o sensor que capitará o sinal de variação de inclinação do corpo para garantir o equilíbrio do robô bípede, como mostra a figura 13.

Figura 13 - Haste do pé com um sensor e uma fita de velcro

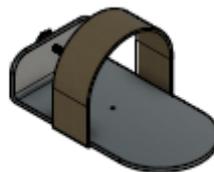


Fonte: Fusion360 (2017)

4.6 Base do pé

Este componente ficara preso embaixo do pé com uma fita de velcro para garantir sua posição, em uma aba será fixado o sensor que capitará o sinal de variação de inclinação do corpo para garantir o equilíbrio do robô bípede durante o movimento de caminhar, como mostra a figura 14.

Figura 14 - Base do pé com um sensor e uma fita de velcro



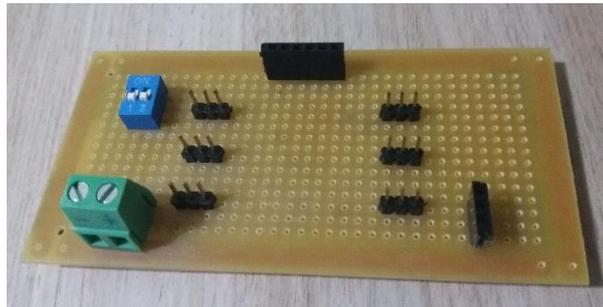
Fonte: Fusion360 (2017)

Todos estes componentes são referentes a um lado de controle de movimento, tendo que replicar o conjunto para a captação de sinais do outro lado, formando o exoesqueleto lado direito e lado esquerdo, nos apêndices se entra o exoesqueleto construído.

4.7 Placa de alimentação dos servomotores

Para fazer a ligação elétrica dos servomotores utilizou-se uma placa de circuito impresso universal 100x50 mm, nesta montagem foram fixados na placa soquetes com pinos tipo fêmea com espaçamento padrão de 0,1, pinos tipo macho com espaçamento padrão de 0,1, borne 2 vias azul KRE-2 e uma mini chave liga-desliga, esta figura 15 mostra os detalhes do circuito.

Figura 15 – Placa de alimentação dos servomotores

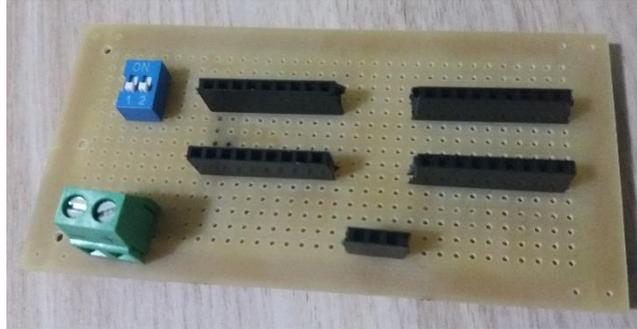


Fonte: Imagem própria (2017)

4.8 Placa de alimentação dos sensores

Para fazer a ligação elétrica dos sensores utilizou-se uma placa de circuito impresso universal 100x50 mm, nesta montagem foram fixados na placa soquetes com pinos tipo fêmea com espaçamento padrão de 0,1, borne 2 vias azul KRE-2 e uma mini chave liga-desliga, com essa placa facilitará a alimentação dos sensores e também a saídas de sinais para a placa Arduino, está figura 16 mostra os detalhes do circuito.

Figura 16 – Placa de alimentação dos sensores



Fonte: Imagem própria (2017)

4.9 Fonte de alimentação

A alimentação foi feita através de 4 pilhas J.W.S. de 3.7V e 9900mAh conforme na figura 17 e dois suportes de pilhas como na figura 18, sendo utilizado dois conjuntos de pilhas em serie fornecendo uma tensão de 7.4V, onde um conjunto para os sensores e para o microcontrolador (Arduino) que necessita na faixa de 6 - 20V e o outro conjunto para os servomotores que necessitam na faixa de 4.8 - 7.4V.

Figura 17 - Pilhas J.W.S.



Fonte: Imagem própria (2017)

Figura 18 – Suporte de Pilha

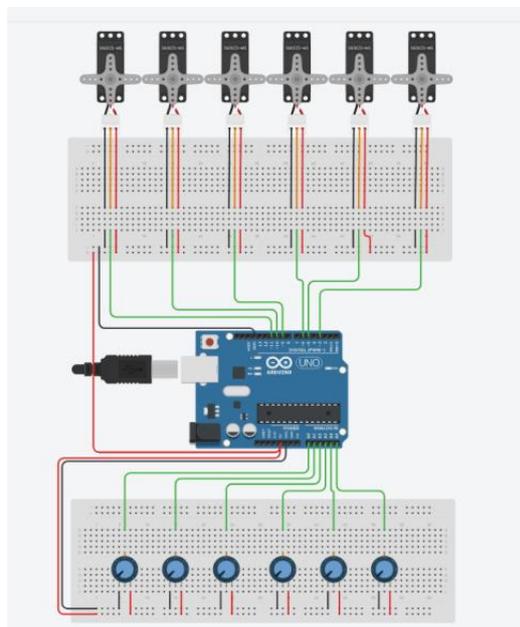


Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-900574630-suporte-para-2x-pilhas-18650-5-pecas-_JM?source=gps (2017)

4.10 Programação e simulação

A programação de controle do caminhar do robô bípede foi feita na linguagem C através de dois softwares, o principal do microcontrolador (arduino) arduino.cc, que pode ser baixado no próprio site do arduino (www.arduino.cc), onde foi utilizado para o desenvolvimento do código, compilação e transferência para o microcontrolador e também foi utilizado o software online do Autodesk tinkercad para desenvolvimento do código e simulação do projeto como mostra a figura 19, o exemplo das funções e códigos utilizados para controle do robô bípede verificar no apêndice C.

Figura 19 - Simulador Tinkercad



Fonte: Tinkercad Autodesk (2017)

4.11 Auto referenciameto

Durante a fase de testes ao vestir o exoesqueleto era quase impossível fazer os posicionamentos dos servomotores devido a variação dos sensores de posição, nesta fase foi a que mais demandou tempo e empenho para solucionar o problema. Para garantir que os servomotores se posicionasse automaticamente foi elaborado uma função no código de programação com o propósito de sempre que o robô fosse energizado após uns 10 segundos todos ficam alinhados. A função de auto referenciamento que foi criada tem por nome Void Atualiza(), onde é dividida em cinco partes para se ter a referência inicial dos servomotores do robô bípede.

A primeira parte é composta pelos códigos - `for(int i=0;i<=2;i++) / delay(2000)` – eles permitem o controle de quantas vezes a função se repetira e o tempo para referenciamento, desta forma permitindo a pessoa que está vestindo o exoesqueleto se posicionar.

A segunda parte é a leitura dos valores dos sensores, onde podemos ver através do código abaixo:

```
valPot[0] = analogRead(pot1Pin);  
valPot[1] = analogRead(pot2Pin);  
valPot[2] = analogRead(pot3Pin);  
valPot[3] = analogRead(pot4Pin);  
valPot[4] = analogRead(pot5Pin);  
valPot[5] = analogRead(pot6Pin);
```

Na terceira parte é onde ocorre o referenciamento dos servos, após a leitura dos sensores os valores são colocados nos vetores `mínimo[]` e `máximo[]` de seis posições, onde cada posição desses vetores ira guardar o valor referenciado dos sensores para os servomotores, podemos ver abaixo como foi desenvolvido a função.

```
minimo[0] = valPot[0];  
minimo[1] = valPot[1];  
minimo[2] = valPot[2];  
minimo[3] = valPot[3];  
minimo[4] = valPot[4];  
minimo[5] = valPot[5];
```

Acima temos os valores lidos dos sensores sendo escritos no vetor `mínimo[]`, desta forma determinando a posição inicial de cada sensor.

```
maximo[0] = minimo[0] - 1023 * 0.3;  
maximo[1] = minimo[1] - 1023 * 0.4;  
maximo[2] = minimo[2] + 1023 * 0.05;  
maximo[3] = minimo[3] + 1023 * 0.3;  
maximo[4] = minimo[4] + 1023 * 0.4;  
maximo[5] = minimo[5] - 1023 * 0.05;
```

Para se determinar a posição final dos sensores foi criada a função acima, onde é pego a posição inicial e de acordo com a região onde se localiza cada sensor e feito o cálculo da posição final. Como o sensor utilizado é um potenciômetro linear de 10k Ohms, quando posicionados no exoesqueleto, em cada região ele varia de duas formas: de 0 a 10k e de 10k a 0. Desta forma podemos ver na função que um sensor terá o incremento ou o decremento do valor máximo digital (1023) multiplicado a uma porcentagem, assim podendo controlar quanto de deslocamento cada sensor terá. Para o cálculo da posição final foi utilizado 30% para o quadril, 40% para o joelho e 5% para o tornozelo.

A quarta parte é o monitoramento, essa função pode ser utilizada quando está conectado ao computador.

A quinta parte é onde temos a função - atual=0 – onde faz a mudança da condição, para que quando terminado a função de referenciamento ela não recomece.

Após a criação dessa função, o problema de posicionamento dos servomotores, a questão de ter que calibrar toda a vez que vestia o exoesqueleto ou a troca do sensor com defeito foi solucionado.

5. CONCLUSÃO

O estudo com robô bípede vem evoluindo constantemente levando possibilidades para substituir o ser humano em atividades que ofereçam riscos a sua saúde, e contribuindo para melhorar a sua qualidade de vida. Fazendo uso de um protótipo de tamanho pequeno para representar os movimentos de uma pessoa, foi a parte inicial para desenvolver esta pesquisa. Com sensores e as técnicas de inteligência computacional facilitaram o controle dos movimentos do robô. Neste trabalho buscou demonstrar uma estrutura de exoesqueleto para captar os movimentos do caminhar de um ser humano e transferir para o robô bípede. Estes sinais captados por potenciômetros são tratados pelo microcontrolador que faz o robô bípede reproduzir os movimentos do caminhar do ser humano. Nesta etapa de caminhar verificou-se que a parte de equilíbrio precisa ser melhorada fazendo uso de potenciômetro de precisão para eliminar ruídos e possibilitando movimentos suaves. Este protótipo pode ser ampliado numa escala de um para um da estatura de uma pessoa, e adicionado servomotores ao exoesqueleto e substituindo as placas de policarbonato por ligas mais resistentes, com isto será possível fazer uma aplicação para auxiliar pessoas com dificuldades motoras nas pernas.

6. REFERÊNCIAS

Silva, M. F. e Machado, J. A. T. A Historical Perspective of Legged Robots. *Journal of Vibration and Control*, Vol. 13pp. 1447–1486, 2007.

Asano, F., Luo, Z., e Yamakita, M. Some Extensions of Passive Walking Formula to Active biped Robots. *Robotics and Automation. IEEE Conference on*, Vol. pp. 3797–3802, 2004.

Bagheri, A., Moghaddam, R. Y., Kanani, H., e Jamshidi, B. Design and Robust Control of a 5 DOF Bipedal Robot. *The 13th International Conference of Mechanical Engineering, ISME2005, IUT, Isfahan, Iran*, Vol. pp. 55–61, 2005.

<<https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>> Acesso em: 21 de mai. 2017.

<<https://engineering.tamu.edu/media/4247823/ds-servo-mg90s.pdf>> Acesso em: 23 de mar. 2017.

<<https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>> Acesso em: 25 de jun. 2017.

<<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>> Acesso em: 25 de abr. 2017.

<http://cursos.unisanta.br/mecanica/ciclo10/1088_Capitulo_3_Extensometria.pdf> Acesso em: 24 de abr. 2017.

<<http://www.piher-nacesa.com/pdf/12-PT10v03.pdf>> Acesso em: 28 de fev. 2017.

KIGUCHI, K., KARIY, S., WATANABE, K., IZUMI, K., FUKUDA T. "An exoskeletal robot for human elbow motion support - sensor fusion, adaptation, and control", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, v. 31, n. 3, pp. 353 – 361, (2001).

Herr, Hug. “exoskeleton and orthoses: classification, design challenges and future direction” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, p.p 6-21,2009.

<<http://brasilescola.uol.com.br/quimica/historia-das-pilhas.htm>>. Acesso em 19 de jul. 2017.

<<http://www.mikroelektronika.co.yu/portuguese/product/books/picbook/00.htm>> Acesso em:20 de jun. 2017.

S. Bouabdallah, M. Becker, and R. Siegwart, "Autonomous miniature flying robots: coming soon! - research, development, and results," IEEE Robotics Automation Magazine, vol. 14, no. 3, pp. 88-98, sept. 2007.

M. Ryll, H. H. Bulthoff, and P. R. Giordano, "Modeling and Control of a Quadrotor UAV with Tilting Propellers", Saint Paul, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, May 2012.

< <http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf> > Acesso em 13 mar. 2017.

D. LINDEN, Handbook of Batteries, MC Graw-Hill, Ed.; New York, 1995.

B. H. MAHAN, Química, um curso universitário, Edgard Blücher Ltda. Ed.; São Paulo, 1980.

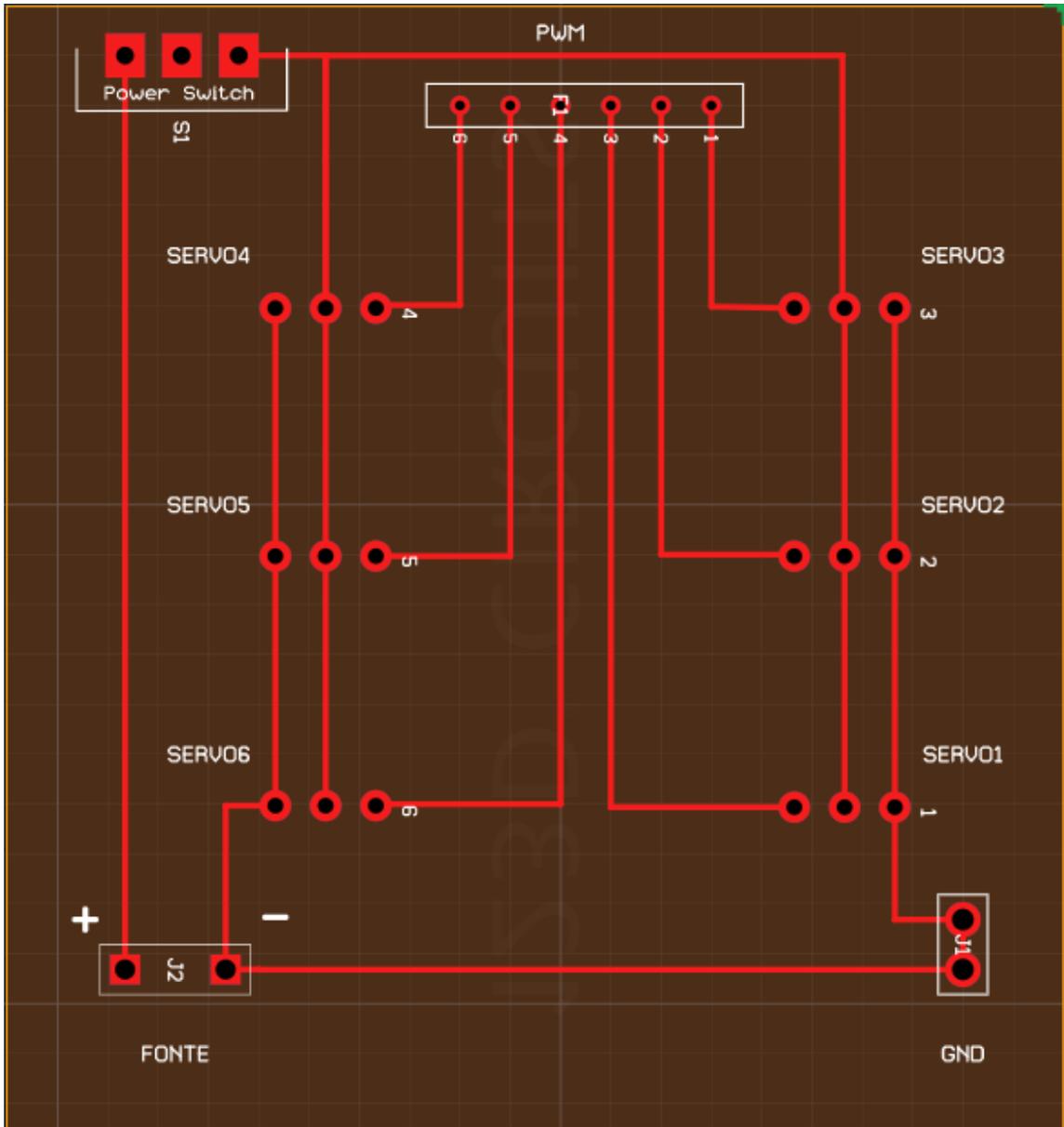
APÊNDECE A - Imagens do projeto

Figura 20 – Protótipo Exoesqueleto



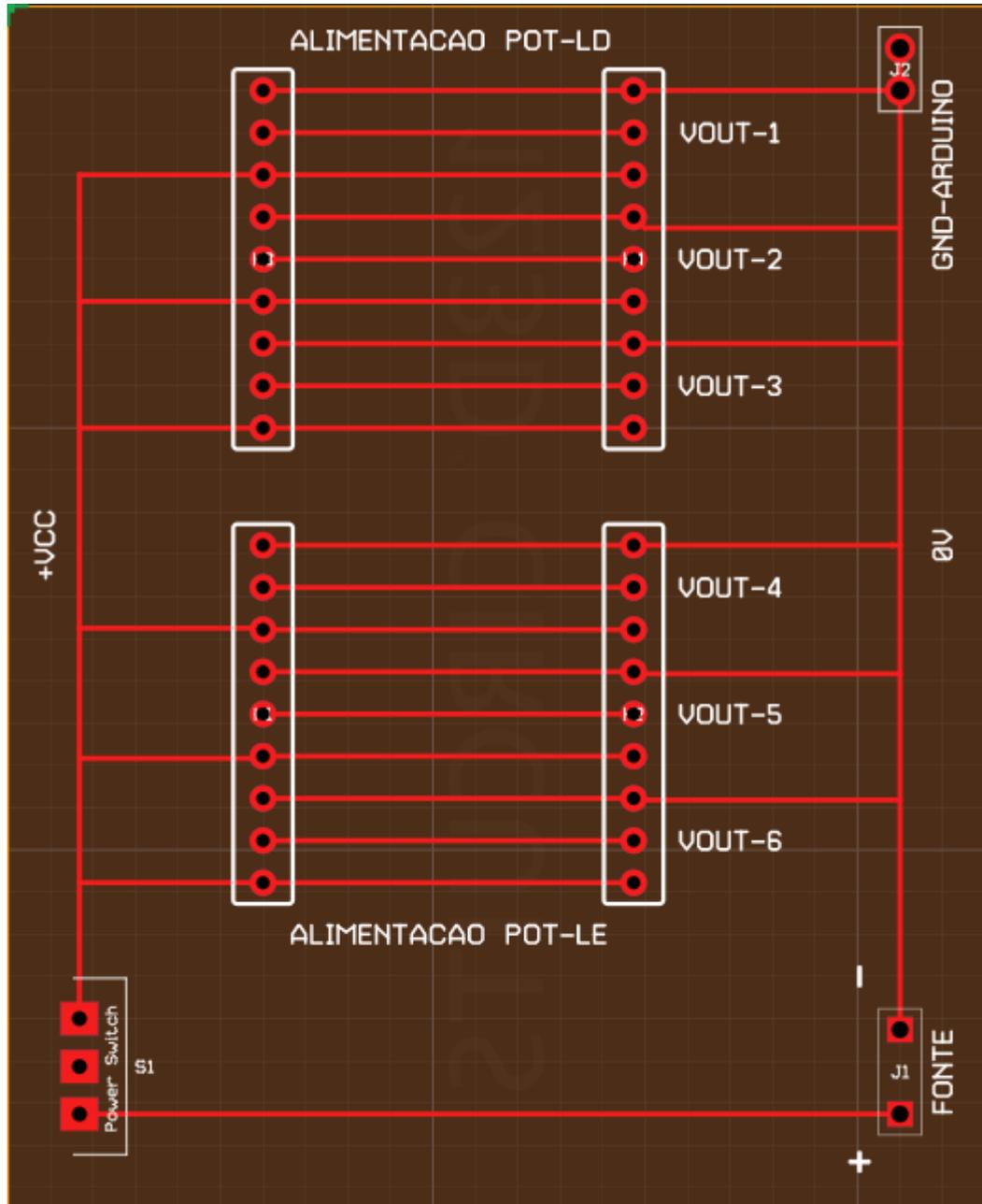
Fonte: Imagem própria (2017)

Figura 21 – Circuito Servomotores



Fonte: Imagem própria (2017)

Figura 22 – Circuito Sensores



Fonte: Imagem própria (2017)

Figura 24 - Cotas haste da coxa

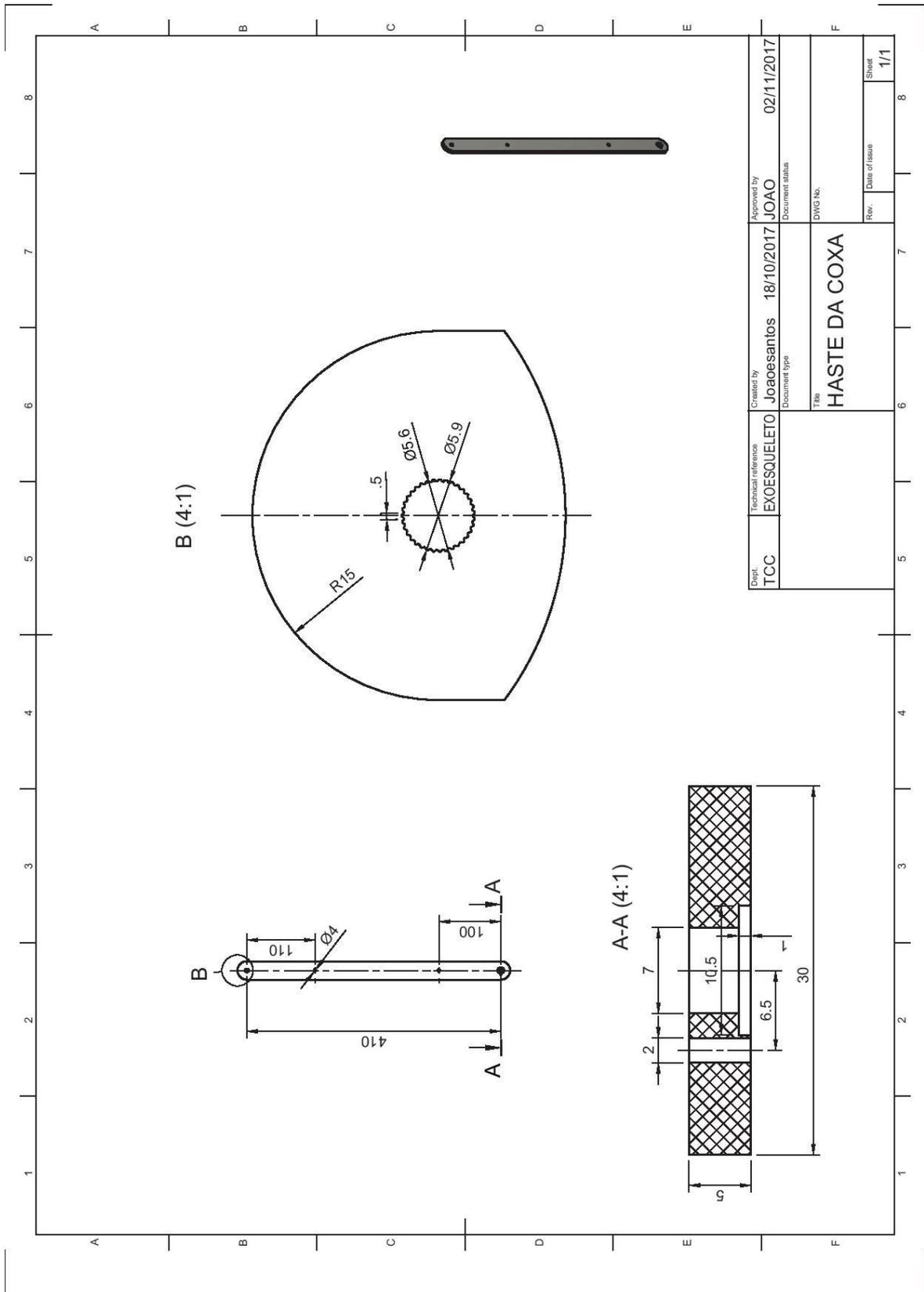


Figura 25 - Cotas haste da perna

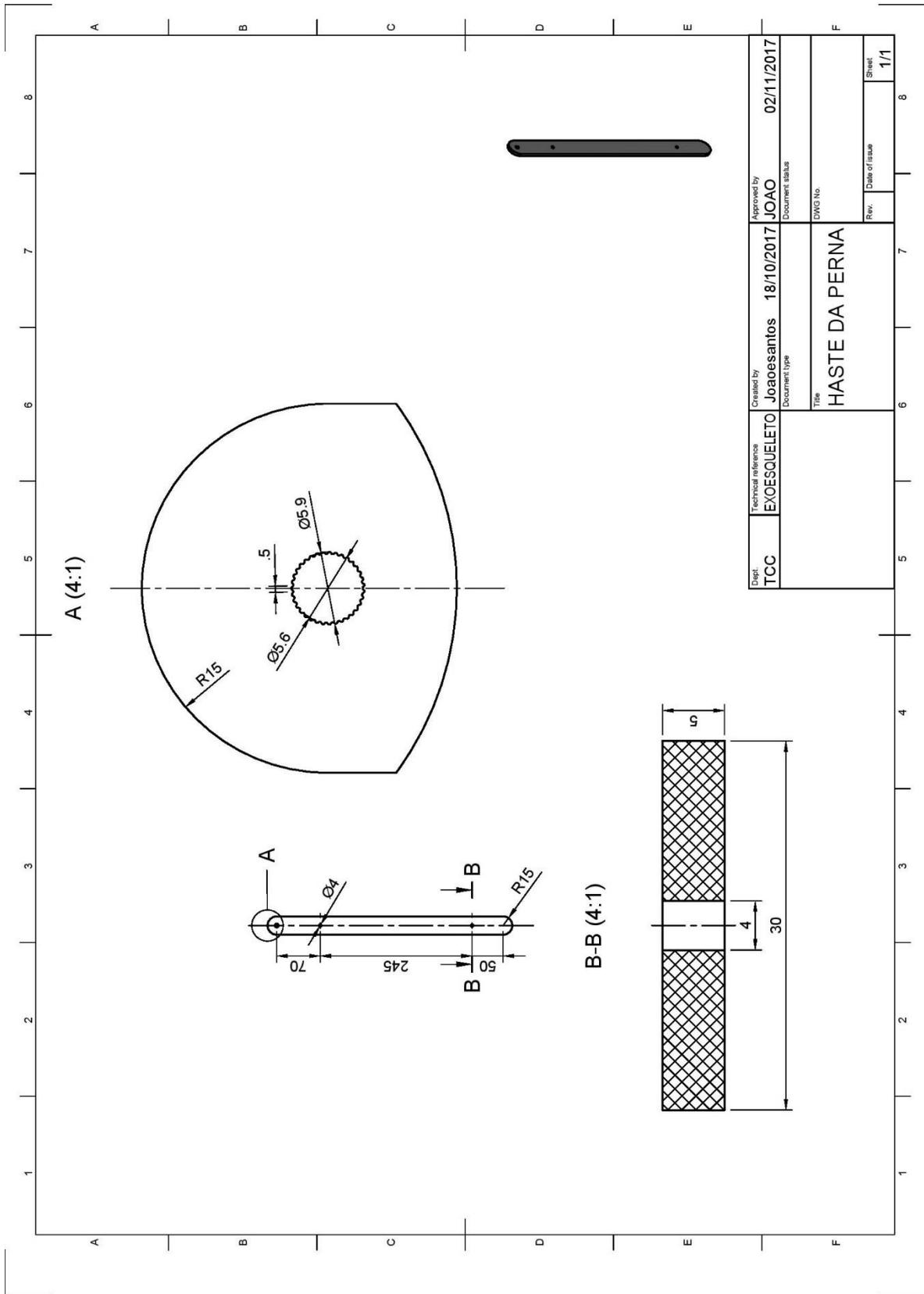


Figura 26 - Cotas haste do pé

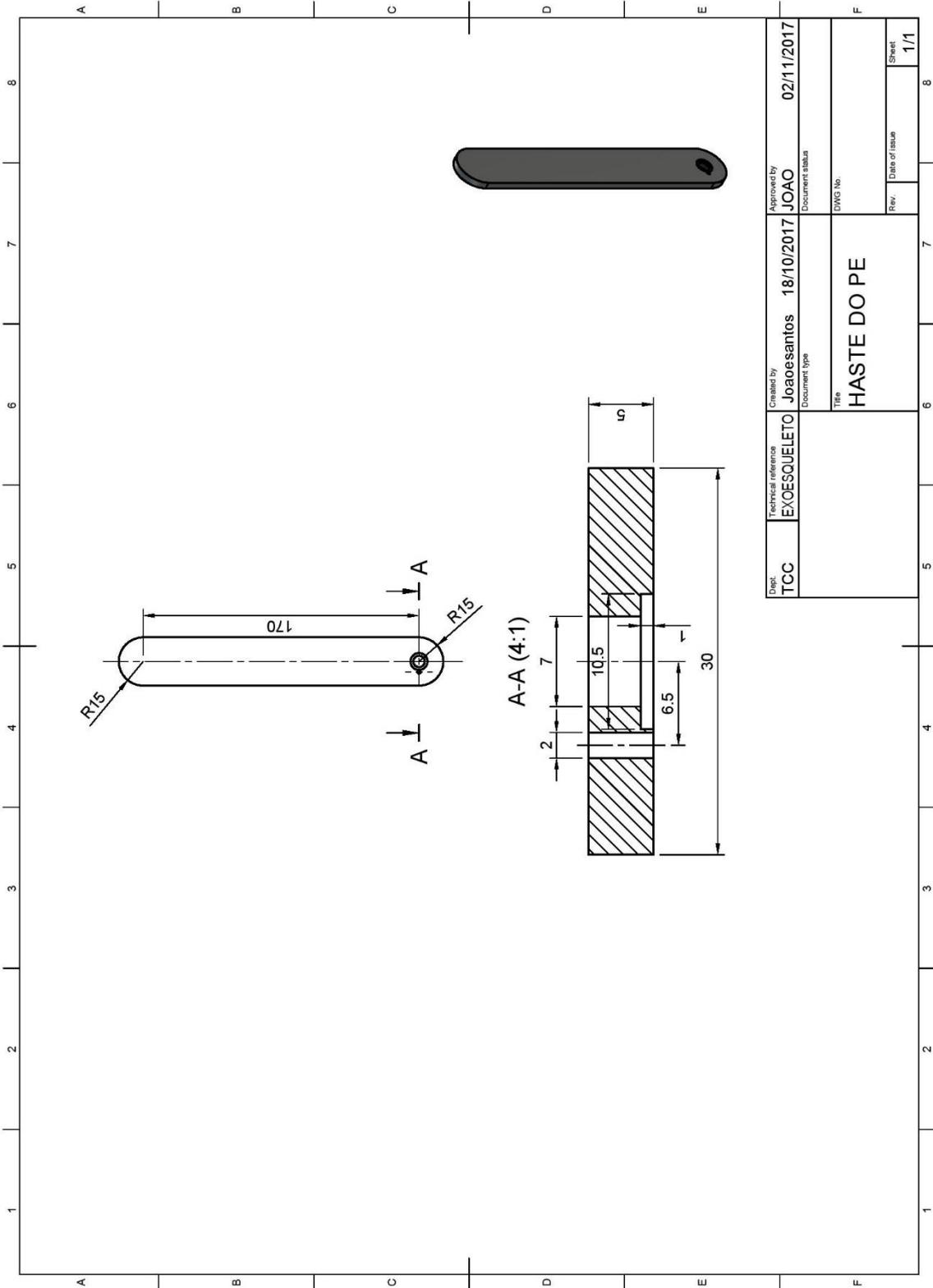


Figura 27 - Cotas base do pé

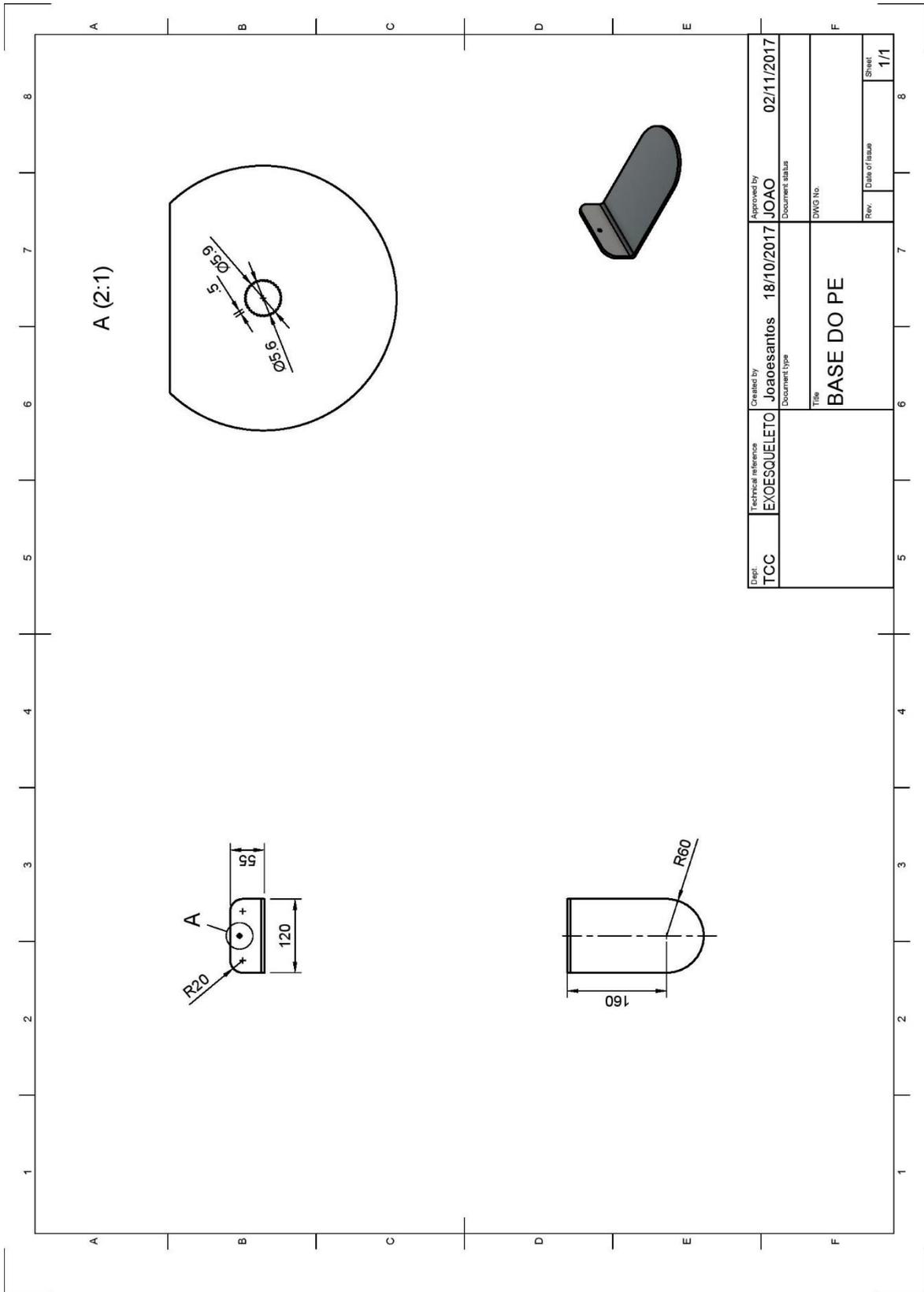
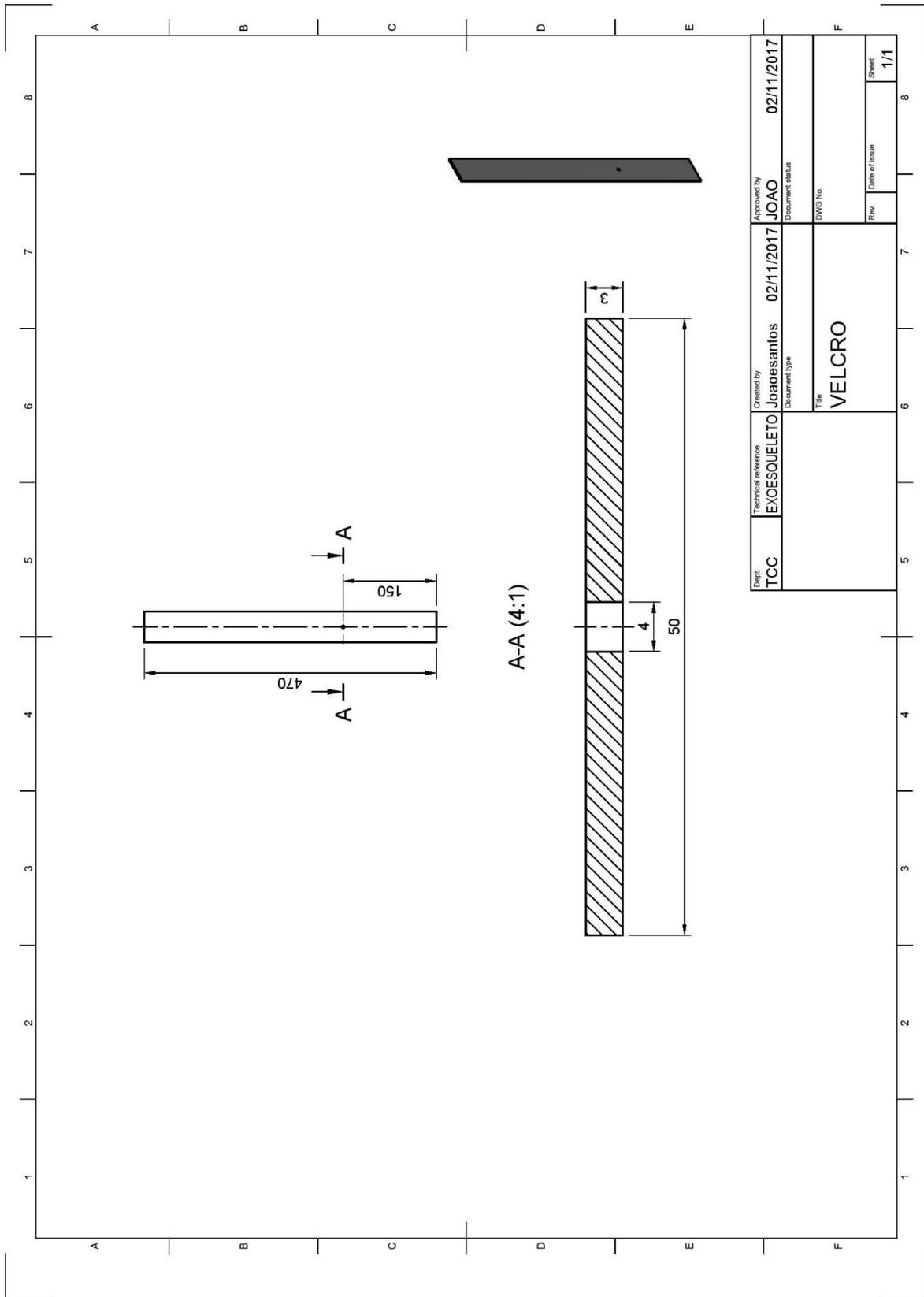


Figura 28 - Cotas do velcro



Dept.	TCC	Technical reference	EXOSQUELETO	Created by	Joao Santos	02/11/2017	Approved by	JOAO	02/11/2017
				Document type			Document status		
				Title	VELCRO				
				DWG No.					
				Rev.			Date of issue		Sheet
									1/1

APÊNDECE C - Programa

```
#include "Servo.h" //biblioteca para controle do servomotor

//Criando objetos da classe Servo
Servo servo1Obj;
Servo servo2Obj;
Servo servo3Obj;
Servo servo4Obj;
Servo servo5Obj;
Servo servo6Obj;

//pino digital associado ao servomotor
int const servo1Pin = 9;
int const servo2Pin = 10;
int const servo3Pin = 11;
int const servo4Pin = 6;
int const servo5Pin = 5;
int const servo6Pin = 3;

//pinos analógicos dos potenciômetros
int const pot1Pin = 0;
int const pot2Pin = 1;
int const pot3Pin = 2;
int const pot4Pin = 3;
int const pot5Pin = 4;
int const pot6Pin = 5;

//vetor usado para armazenar o valor lido nos potenciômetros
int valPot[6];

//vetor para armazenar os valores em graus dos servomotores
int valServo[6];

//vetores de mapeamento
int maximo[6];
int minimo[6];

int atual=1
```

```

//Função de referência posição dos servomotores
void Atualiza(){

  for(int i=0;i<=2;i++){

    //Leitura dos intervalos dos potenciômetros entre 0 e 1023
    valPot[0] = analogRead(pot1Pin);
    valPot[1] = analogRead(pot2Pin);
    valPot[2] = analogRead(pot3Pin);
    valPot[3] = analogRead(pot4Pin);
    valPot[4] = analogRead(pot5Pin);
    valPot[5] = analogRead(pot6Pin);

    //Determinando valores maximos e minimos dos sensores
    minimo[0] = valPot[0];
    minimo[1] = valPot[1];
    minimo[2] = valPot[2];
    minimo[3] = valPot[3];
    minimo[4] = valPot[4];
    minimo[5] = valPot[5];

    maximo[0] = minimo[0] - 1023 * 0.3;
    maximo[1] = minimo[1] - 1023 * 0.4;
    maximo[2] = minimo[2] + 1023 * 0.05;
    maximo[3] = minimo[3] + 1023 * 0.3;
    maximo[4] = minimo[4] + 1023 * 0.4;
    maximo[5] = minimo[5] - 1023 * 0.05;

    //Mostra na porta serial o referenciamento dos servos
    for(int i = 0;i<6;i++){
      Serial.print("Minimo");
      Serial.print(i+1);
      Serial.print("\t\tMaximo");
      Serial.println(i+1);
      Serial.print(minimo[i]);
      Serial.print("\t");
      Serial.print("\t");
      Serial.println(maximo[i]);
      Serial.print("\n");
    }
    Serial.print("\n");

    delay(2000);
  }
  atual=0;
}

```

```
//Função de leitura dos potenciômetros e converte para graus do servomotor
void Ler_Sensor(){

    //lê os sensores (intervalo do potenciômetro entre 0 e 1023)
    valPot[0] = analogRead(pot1Pin);
    valPot[1] = analogRead(pot2Pin);
    valPot[2] = analogRead(pot3Pin);
    valPot[3] = analogRead(pot4Pin);
    valPot[4] = analogRead(pot5Pin);
    valPot[5] = analogRead(pot6Pin);

    //mapeando os valores dos potenciômetros para a escala de graus dos servos
    valServo[0] = map(valPot[0], minimo[0], maximo[0], 100, 180); //QUADRIL D
    valServo[1] = map(valPot[1], minimo[1], maximo[1], 80, 180); //JOELHO D
    valServo[2] = map(valPot[2], minimo[2], maximo[2], 90, 105); //TORNOZELO D
    valServo[3] = map(valPot[3], minimo[3], maximo[3], 65, 0); //QUADRIL E
    valServo[4] = map(valPot[4], minimo[4], maximo[4], 80, 0); //JOELHO E
    valServo[5] = map(valPot[5], minimo[5], maximo[5], 90, 75); //TORNOZELO E
}

//Função de controle dos servomotores
void Servo_motor(){

    //Escreve os valores do mapeamento nos servomotores
    servo1Obj.write(valServo[0]);
    servo2Obj.write(valServo[1]);
    servo3Obj.write(valServo[2]);
    servo4Obj.write(valServo[3]);
    servo5Obj.write(valServo[4]);
    servo6Obj.write(valServo[5]);
}
```

```
void Monitoramento(){

//monitora os valores dos potenciômetros entre 0 e 1023
//monitora os valores mapeados dos servos (graus)

for(int i = 0;i<6;i++){
  Serial.print("Potenciometro");
  Serial.print(i+1);
  Serial.print("\tServo");
  Serial.println(i+1);
  Serial.print(valPot[i]);
  Serial.print('\t');
  Serial.print('\t');
  Serial.println(valServo[i]);
  Serial.print('\n');
}
Serial.print('\n');
delay(2000);
}

void setup() {

//Vinculando os objetos da classe servo com os pinos digitais
servo1Obj.attach(servo1Pin);
servo2Obj.attach(servo2Pin);
servo3Obj.attach(servo3Pin);
servo4Obj.attach(servo4Pin);
servo5Obj.attach(servo5Pin);
servo6Obj.attach(servo6Pin);

Serial.begin(9600);
}

void loop() {

if(atual==1)
Atualiza();

Ler_Sensor();
Servo_motor();
//Monitoramento();

}
```

APÊNDECE D - Tabela de custo

Itens	Custo em R\$
Robô bípede	R\$570,00
Conjunto de baterias	R\$100,00
Suporte para baterias	R\$30,00
Placas para circuitos	R\$20,00
Componentes eletrônicos	R\$25,00
Caixa para acomodar placas	R\$15,00
Fita de velcro	R\$50,00
Placa de policarbonato	R\$30,00
Cabos Flat 10vias	R\$30,00
Placa arduino uno	R\$40,00
Total	R\$910,00