



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

ANDRÉ DINIS GOUVINHAS

JONATAS FRANCHI FANTASIA

SISTEMA DE CAPTURA E SIMULAÇÃO DE MOVIMENTOS HUMANOS

São Paulo

2008

ANDRÉ DINIS GOUVINHAS
JONATAS FRANCHI FANTASIA

SISTEMA DE CAPTURA E SIMULAÇÃO DE MOVIMENTOS HUMANOS

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Mecatrônica

Orientador: Prof. Dr. Marcos Ribeiro
Pereira Barretto

São Paulo

2008

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi feito com muito trabalho e dedicação porém existem pessoas sem as quais ele não seria possível, são pessoas que nos deram suporte durante esta jornada e estavam ao nosso lado nos momentos de dificuldades e de alegria.

Inicialmente gostaríamos de agradecer ao nosso orientador, Professor Doutor Marcos Ribeiro Pereira Barretto, que nos forneceu todo o suporte necessário quando precisamos.

Gostaríamos ainda de agradecer a nossos pais e familiares, sem os quais jamais teríamos chegado até aqui. Agradecemos por terem nos dado a base para crescer e sermos as pessoas que somos hoje, sempre nos incentivando a continuar apesar das dificuldades, além de nos darem muito amor e carinho.

Além disso, gostaríamos de agradecer a nossos amigos que são parte fundamental de nossas vidas, que contribuíram de forma direta ou indireta para que tenhamos força para continuar seguindo sempre em frente. Nosso amigo Gustavo César Soares da Costa que nos auxiliou na execução do trabalho, além de ser uma pessoa que nos tem feito dar muitas risadas para descontrair em momentos de dificuldade. Nossos amigos Lucas Bertan Menegassi, Felipe Brito da Silva e Carlos Eduardo Correa que nos apoiaram, sempre estiveram dispostos a nos ajudar e tem se mostrado ótimos companheiros.

À nossas namoradas pela compreensão e pelo suporte que nos deram mesmo durante estes meses no qual tivemos de ser mais ausentes do que realmente gostaríamos.

E agradecemos ainda àqueles que direta ou indiretamente nos ajudaram a ser o que somos e que nos dão motivação para continuar seguindo em frente.

RESUMO

Os sistemas de captura de movimentos, aliados com a posterior simulação das informações pelo computador, possuem diversas utilizações dentre as quais estudos psicológicos, estudos do movimento, medicina diagnóstica e animação.

Atualmente sistemas como este são encontrados apenas em estúdios de animação sofisticados devido ao seu custo elevado, por isto, apesar de possuir uma gama ampla de utilizações, os sistemas de captura são praticamente desconhecidos e não tem seu potencial de utilização totalmente explorado.

Dentro de métricas estabelecidas para o projeto, o objetivo do trabalho é realizar a movimentação de um modelo virtual de um ser humano utilizando sistemas de captura de movimentos. O sistema adotado deve ser portátil, de fácil utilização, permitir a movimentação natural do usuário e ser viável economicamente.

Palavras-chave: Avatar, Simulação de movimentos, Sistemas de captura.

ABSTRACT

The motion-capture systems, coupled with the subsequent simulation of the information by computer, have different uses among them psychological studies, studies of the movement, medical diagnostic and animation.

Currently such systems are found only in sophisticated animation studios, because of its high cost for it, despite having a wide range of uses, capture systems are virtually unknown and its potential is not fully exploited.

Within metrics established for the project, the objective of the study is to perform the movement of a virtual model of a human being using motion-capture systems. The system adopted should be portable, easy to use, allow the user's natural movement and be economically viable.

Keywords: Avatar, Simulation of Movements, Capture Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - “Monkey”	17
Figura 1.2 – Estrutura baseada em um Exoesqueleto	17
Figura 1.3 - Data Glove	18
Figura 1.4 - Posicionamento dos marcadores	19
Figura 1.5 - Sensor Magnético	21
Figura 3.1 - Metodologia de Projeto	27
Figura 3.2 - Interface entre as áreas do projeto	28
Figura 3.3 - Metodologia de projeto Eletrônico	29
Figura 3.4 – Potenciômetro	30
Figura 3.5 - Teste do Potenciômetro	32
Figura 3.6 – Multiplexador e Demultiplexador	32
Figura 3.7 – Diagrama Lógico Interno do MUX	34
Figura 3.8 – MUX 16:1	35
Figura 3.9 – Código em Assembly gerado pelo CSS C	37
Figura 3.10 – Gravador de PIC	37
Figura 3.11 – String de Comunicação Serial	39
Figura 3.12 – Transmissor RF	40
Figura 3.13 – Receptor RF	40
Figura 3.14 – MAX232	41
Figura 3.15 – Circuito Transmissor	42
Figura 3.16 – Circuito Receptor	43
Figura 3.17 – Protótipo do circuito dos sensores	44
Figura 3.18 - Modelo do avatar	46
Figura 3.19 – Medidas (em cm) do modelo humano	47
Figura 3.20 - Modelo Quadril	48

Figura 3.21 - Modelo Perna -----	48
Figura 3.22 - Modelo Braço -----	49
Figura 3.23 – Modelo Punho -----	49
Figura 3.24 – Modelo Ombro Lateral -----	50
Figura 3.25 – Modelo Ombro Superior -----	50
Figura 3.26 – Modelo Completo -----	51
Figura 3.27 – Teste de protótipo do sensor no braço -----	53
Figura 3.28 – Detalhe do movimento do potenciômetro -----	54
Figura 3.29 – Captação dos movimentos dos ombros -----	55
Figura 3.30 – VB: Formulário Principal -----	57
Figura 3.31 – VB: Formulário (2) de Captura -----	59
Figura 3.32 – VB: Formulário (3) de Ajuda -----	60
Figura 3.33 – Modelo 3D -----	63
Figura 3.34 – Detalhamento da estrutura superfície + bones -----	64
Figura 3.35 – Renderização -----	65
Figura 6.1 – Circuito de Aquisição de Sinais -----	85
Figura 6.2 – Circuito de Processamento dos sinais -----	85
Figura 6.3 – Circuito de Recepção do sinal processado -----	86
Figura 6.4 – Visão Lateral da roupa sensorial -----	87
Figura 6.5 – Visão Frontal da roupa sensorial -----	88
Figura 6.6 – Visão Traseira da roupa sensorial -----	89
Figura 6.7 – Detalhe sensor quadril e perna -----	90
Figura 6.8 – Detalhe sensor punho -----	90
Figura 6.9 – Simulação de Resultados 1-----	91
Figura 6.10 – Simulação de Resultados 2-----	92
Figura 6.11 – Simulação de Resultados 3-----	91

Figura 6.12 – Demonstrativos Financeiros	94
Figura 6.13 – Demonstrativos Financeiros (cont.).....	95
Figura 6.14 – Desenho de Fabricação Punho.....	96
Figura 6.15 – Desenho de Fabricação Braço.....	97
Figura 6.16 – Desenho de Fabricação Perna.....	98
Figura 6.17 – Desenho de Fabricação Quadril.....	99
Figura 6.18 – Desenho de Fabricação Ombro Peça 1.....	100
Figura 6.19 – Desenho de Fabricação Ombro Peça 2.....	101
Figura 6.20 – Desenho de Fabricação Ombro Peça 3.....	102
Figura 6.21 – Desenho de Fabricação Montagem Ombro.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Comparação entre os Sistemas de Captação	22
Tabela 2.1 – Matriz de Decisão	25
Tabela 3.1 – Tabela da Verdade do MUX 4:1	33
Tabela 6.1 – Comparativo Equipamentos de Captação	86

SUMÁRIO

1	<u>INTRODUÇÃO</u>	12
1.1	Objetivos e Motivação	12
1.2	Captura de Movimentos	13
1.3	Sistema de Captura de Movimentos (MOCAP)	15
1.3.1	Mecânica	16
1.3.2	Acústica	18
1.3.3	Sistemas Óticos	19
1.3.4	Magnéticos	20
1.3.5	Comparação entre os Sistemas	22
2	<u>ESCOLHA DO SISTEMA A SER UTILIZADO</u>	23
3	<u>PROJETO</u>	27
3.1	Metodologia de Projeto	27
3.2	Parte Elétrica	29
3.2.1	Potenciômetros	30
3.2.2	Multiplexador	32
3.2.3	Microcontrolador PIC	35
3.2.4	Módulos RF – Transmissor e Receptor	40
3.2.5	MAX232	41
3.2.6	Circuito Completo	42

3.3 Parte Mecânica.....	44
3.3.1 Definição do Modelo.....	44
3.3.2 Modelagem Cinemática dos Movimentos do Corpo.....	47
3.3.2.1 Coxa.....	47
3.3.2.2 Perna.....	48
3.3.2.3 Braço.....	49
3.3.2.4 Punho.....	49
3.3.2.5 Ombro.....	49
3.3.2.6. Modelo Completo.....	51
3.3.3 Especificação dos Mecanismos Utilizados.....	52
3.4 Programação	55
3.4.1 Programação Lógica.....	55
3.4.2 Interface Gráfica.....	61
4 <u>CONCLUSÃO</u>.....	66
5 <u>ANEXOS</u>.....	67
6.1 Código dos PIC's Secundários.....	67
6.2 Código do PIC Primário.....	68
6.3 Programa em Visual BASIC.....	73
6.4 Esquemas Elétricos.....	79
6.4.1 Aquisição do Sinal.....	79

6.4.2	Processamento dos diversos sinais.....	79
6.4.3	Recepção do sinal processado.....	80
6.5	Fotos do Mecanismo Acoplado.....	81
6.6	Plano de Negócio Preliminar	85
6.7	Desenhos de Construção.....	97
7	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>.....	105

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, grande parte das utilizações da engenharia mecatrônica é extremamente restrita e de alto custo, sendo que algumas tecnologias são praticamente inacessíveis ao público geral, mesmo tendo alto potencial de utilidade para as pessoas. Essa inacessibilidade torna os conhecimentos adquiridos durante o curso um pouco difíceis de serem aplicados devido a sua utilização restrita. Durante o curso de mecatrônica aprende-se os mais diversos assuntos, desde a parte de mecânica, passando por eletrônica, controle e computação. Infelizmente existem poucas oportunidade de unir todos os conhecimentos adquiridos para executar-se um projeto realmente “mecatrônico”.

O trabalho de formatura é uma oportunidade única para unir os diversos conteúdos aprendidos durante o curso e realizar um projeto que possa servir tanto para aplicação do conhecimento quanto para retribuir a sociedade o dinheiro investido na educação pública. Dentro deste contexto que se pretende desenvolver o trabalho de formatura, buscando realizar um trabalho que tenha uma utilização posterior e possa ser útil não apenas para o aprendiz, mas para toda a sociedade.

1.1 - Objetivos e Motivação

Procurou-se desenvolver um trabalho de formatura que utilizasse a maior quantidade possível do conteúdo aprendido durante o curso e no qual fosse possível unificar um pouco de todas as áreas do conhecimento. Um ponto importante na decisão sobre o trabalho a ser abordado foi a possível utilização de um sistema com uma tecnologia que fosse acessível e que tivesse uma finalidade prática e não apenas um trabalho teórico que fosse ficar apenas guardado na biblioteca.

Dentro dessas métricas, o objetivo do trabalho é realizar a movimentação de um modelo virtual de um ser humano utilizando sistemas de captura de movimentos. Para isso deve-se implantar um sistema de captura de

movimentos que seja relativamente barato, portátil e fácil de ser utilizado pelo usuário. Este sistema deve ser facilmente integrado com o modelo virtual que simulará os movimentos humanos.

O resultado desse trabalho poderá ser utilizado para implantação de sistemas de entretenimento em tempo real, bem como para estudos psicológicos sobre comportamento humano e comunicação gestual e postural. A intenção é fazer um sistema que possa ser utilizado de forma prática e intuitiva e que possa vir a ajudar outros ramos do conhecimento.

Além disso, espera-se desenvolver um produto que seja viável economicamente e que possa ser competitivo com os produtos importados encontrados atualmente no mercado. A idéia é criar um produto que, ao mesmo tempo em que são difundidos os sistemas de captura no país, especialmente nas áreas de pesquisa, seja um produto rentável para fins comerciais.

1.2 – Captura de movimentos

O conceito de Animação foi utilizado pela primeira vez em 1911 pelo cartunista Winsor McKey, que conseguiu obter o movimento de um personagem desenhando-o em múltiplos pedaços de papel, que eram visualizados segundo certa taxa de amostragem. Segundo Parent [26], a definição mais simples para animação é a geração de uma seqüência de imagens que retrata o movimento relativo de objetos de uma cena sintética, e possivelmente, do movimento de uma câmera virtual.

A evolução das técnicas de amostragem ocorreu lentamente até que computadores passassem a ser utilizados como ferramenta de desenho. Pode-se citar, como exemplo, a criação do desenho animado “Branca de Neve e os Sete Anões”, em que os desenhistas dos estúdios Walt Disney precisaram desenhar mais de 250 mil quadros, o que tornava quase impossível a confecção de produções deste tipo.

A utilização de computadores na animação é relativamente recente. Os computadores auxiliam o trabalho dos animadores, pois todo trabalho de interpolação entre os quadros chaves é realizado automaticamente. Com o auxílio dos computadores, os animadores têm à disposição diversas técnicas de animação como keyframing, simulação e cinemática. Mesmo assim, alguns movimentos humanos são de extrema complexidade, o que dificulta a simulação desses movimentos através das técnicas convencionais. A solução encontrada foi capturar os movimentos humanos e posteriormente inseri-los no modelo tridimensional criado no computador.

O sistema de captura de movimentos teve seu início com a técnica de rotoscoping, que consiste em desenhar os movimentos humanos sobre as imagens filmadas de um ator real, formando assim, animações bidimensionais. Essa técnica era relativamente limitada, já que não possuía nenhuma informação tridimensional.

Os sistemas de Motion Capture, Mocap ou Captura de Movimentos, como são conhecidos atualmente, foram inicialmente desenvolvidos na década de 70 para uso militar, e começaram a ser utilizados para entretenimento na década de 80 [19]. O sistema de Mocap que é utilizado hoje em dia foi uma evolução da técnica de rotoscoping. Ele consiste em capturar a posição e/ou a orientação de objetos reais através de processos óticos, magnéticos ou mecânicos. O conjunto de dados capturados é posteriormente processado por um computador e inserido em um modelo virtual 3D. Esta tecnologia é altamente utilizada na indústria cinematográfica e na de jogos, mas novas utilidades para os sistemas de Motion Capture vem sendo estudadas. No Japão, por exemplo, cientistas utilizam sistemas de Mocap juntamente com outros sistemas de captura de informação para o estudo do comportamento de médicos durante processos cirúrgicos [16].

Dentre as utilizações das diferentes técnicas de Mocap pode-se citar:

- Efeitos especiais;
- Elaboração de jogos de computador e videogames;

- Estudos psicológicos e sociológicos;
- Reabilitação de movimentos;
- Manipulação de robôs, que podem, por exemplo, ser utilizados na realização de cirurgias à distância;
- Detecção de emoções;
- Desempenho esportivo;
- Estudos médicos e ortopédicos;
- Biotecnologia e biomecânica;

O alto poder da técnica de Mocap e o barateamento das técnicas de captura vêm ampliando ainda mais as utilizações dessa tecnologia, porém os sistemas atuais ainda apresentam sérias limitações, impossibilitando a utilização em seu total potencial. Outra observação importante é que, apesar do custo relativamente baixo, os sistemas de captura de movimentos ainda possuem custos nas casas dos milhares de dólares, dificultando sua difusão.

A seguir será discutido melhor os diversos sistemas de capturas e suas características a fim de conhecer o melhor para a implementação.

1.3 - Sistemas de Captura de Movimentos (Mocap)

Os sistemas de captura de movimentos ou Motion Capture (Mocap) foram definidos em 1995 por Dyer, Martin e Zulauf como: “envolve medir uma posição de um objeto e sua orientação física no espaço, depois gravar esta informação em uma linguagem de computador utilizável. Objetos de interesse incluem seres humanos e corpos não humanos, expressões faciais, câmera ou posição das luzes e outros elementos em uma cena” [28].

Os sistemas de Mocap são, por definição, sistemas que geram para o computador informações que representam medidas físicas do movimento capturado. Para realizar a medição dos movimentos de um ser humano é necessário capturar informações relativas às chamadas “articulações

universais”, que são 19 posições que fornecem o mínimo de precisão para a representação do movimento humano [3].

Dentre as formas de captura mais utilizadas pode-se segmentá-las em basicamente quatro tipos:

- Mecânica,
- Acústica;
- Elétrica;
- Ótica.

A definição do tipo de tecnologia que será utilizada é de extrema importância, pois é ela que definirá todos os sistemas de captura. Em uma análise mais profunda, a tecnologia escolhida é a responsável pela complexidade do problema, pela definição dos equipamentos que serão utilizados, pelas limitações do sistema, pela qualidade da captura e pelo preço do equipamento final.

1.3.1 - Mecânica

Os sistemas mecânicos convencionais são os mais simples tecnologicamente, geralmente utilizam potenciômetro e/ou sliders que, posicionados nas articulações desejadas, fornecem dados precisos de suas posições em altas taxas de amostragem (tempo real).

Os sistemas mecânicos não são afetados por campos magnéticos, algum tipo de reflexão indesejada ou obstrução de câmeras, o que o torna mais atraente do que outros sistemas de captura em alguns aspectos. Outro ponto importante é que, devido a sua baixa complexidade, estes sistemas não necessitam de processos longos de calibragem, o que torna sua utilização mais fácil.

Um dos primeiros sistemas mecânicos de captura de movimentos conhecido foi o “Monkey” (figura 1.1), um simples manequim dotado de sensores que captam seus movimentos. Esta técnica foi uma evolução do stop motion, uma técnica de animação utilizada há décadas pelos animadores.

Logicamente que este foi um primeiro sistema e não representa a captura de movimentos da forma como é desejado, mas foi um primeiro modelo que deu origem às tecnologias atuais.



Figura 1.1 - “Monkey”

Após o “Monkey” surgiram algumas técnicas de captura de movimentos humanos propriamente ditos, que são os exoesqueletos (figura 1.2). Este sistema é composto por articulações e potenciômetros posicionados diretamente sobre o corpo do ator, formando uma espécie de armadura, que muitas vezes pode restringir os movimentos a serem captados. Adicionalmente alguns movimentos podem ser captados de outras formas como a utilização de sensores inerciais, que são basicamente giroscópios e acelerômetros que conseguem medir posições relativas de um corpo em relação a outro.



Figura 1.2 – Estrutura baseada em um Exoesqueleto

Uma tecnologia mecânica que ainda não tem sido utilizada na captação de movimentos como um todo, mas que é amplamente difundida na captação

dos movimentos das mãos é a utilização de sensores eletromecânicos conhecidos como flex sensors. São espécies de extensômetros, mas que possuem um poder de deformação muito maior, que variam de resistência conforme a deformação que sofrem e através das quais é possível detectar a posição relativa de uma junta em relação à outra. Esta tecnologia já é muito difundida na captação de movimentos dos dedos através de Data Gloves (figura 1.3).



Figura 1.3 - Data Glove

1.3.2 - Acústica

Neste tipo de sistema, um conjunto de emissores sonoros é colocado nas principais articulações do ator, enquanto que três receptores sensíveis são posicionados no local de captura. Os transmissores são então sequencialmente acionados para produzir um ruído característico, que será captado pelos transmissores, que então calcularão as posições no espaço.

O cálculo da posição de cada transmissor se dá pelo cálculo do tempo decorrido entre a emissão do ruído pelo transmissor e o seu recebimento pelo receptor. Para ser calculada a posição do ponto em um espaço tridimensional é feito uma triangulação da distância do ponto a cada um dos sensores.

A tecnologia dos sistemas acústicos ainda é relativamente nova. Por esse motivo ainda apresentam significativos problemas. É muito difícil se obter

a descrição correta das coordenadas em um instante desejado devido ao caráter seqüencial dos disparos dos sensores. O número de transmissores também é limitado, o que faz diminuir a precisão de captação dos movimentos. Devido a restrições tecnológicas, estes sensores são ligados através de cabos que podem limitar os movimentos da pessoa. Outro grave problema desta tecnologia é que, sons externos ou reflexão dos sons emitidos pelos sensores, podem afetar o processo de captura e alterar drasticamente os dados obtidos.

1.3.3 - Sistemas Óticos

Neste tipo de sistema, o ator veste uma roupa especial coberta com refletores, em geral emissores LED, posicionados nas suas principais articulações (figura 1.4). Câmeras especiais são então posicionadas estrategicamente para fazer o *tracking* desses refletores durante o movimento do ator. Cada câmera gera as coordenadas 2D para cada refletor obtidas via processo de segmentação. O conjunto dos dados 2D capturados pelas câmeras independentes é então analisado por um software, que fornecerá as coordenadas 3D dos refletores.



Figura 1.4 - Posicionamento dos marcadores

Existem diversas variações para se efetuar a captura de movimentos via sistemas ópticos. Algumas mais modernas não necessitam de objetos refletoras, simplesmente captam as imagens e através de complexos algoritmos de tratamento de imagem, conseguem separar a silhueta do corpo humano do fundo da tela e seguir alguns pontos específicos do movimento.

O sistema ótico é o mais caro dos sistemas de captura devido ao grau de complexidade de seu funcionamento. Nele são necessárias câmeras de alta resolução e softwares de última geração para processar as informações. Entretanto, esta é uma técnica altamente difundida devido ao seu poder de processamento. Com este sistema de captura é possível capturar movimentos rápidos devido às altas taxas de amostragem obtidas com as câmeras, outra grande vantagem é a total liberdade que o sistema fornece a pessoas, já que não é necessário nenhum equipamento especial “colado” no ator para fazer esta captura, porém esta liberdade acaba se tornando um problema já que determinados movimentos podem encobrir determinados pontos momentaneamente e inviabilizar a captura de partes do movimento.

Outra grande desvantagem dos sistemas óticos é a necessidade de softwares muito potentes para fazer o pós-processamento de imagens, o que inviabiliza a simulação do movimento em um modelo virtual em tempo real, fato que é indesejável na execução de um filme, por exemplo, já que o resultado da filmagem só vai ser conhecido algum tempo depois e pode ocasionar novos gastos com uma nova filmagem.

1.3.4 - Magnéticos

Os sistemas magnéticos de captura se caracterizam pela velocidade de processamento dos dados capturados, que permite o processamento em tempo real. Neste tipo de sistema, emprega-se um conjunto de receptores que são posicionados nas articulações do ator (figura 1.5). Tais receptores medem a posição 3D e orientação das articulações em relação a uma antena transmissora, que emite um sinal de pulso. Cada receptor necessita de um cabo para se conectar à antena.

Algumas vantagens dos sistemas magnéticos são o baixo custo computacional para o processamento dos dados, maior precisão dos dados (não existem problemas de oclusão) e o baixo custo do equipamento. A maior desvantagem deste tipo de sistema são os diversos cabos que conectam os receptores à antena. Tais cabos restringem o movimento do ator, não permitindo, deste modo, que movimentos complexos e rápidos possam ser representados com naturalidade. Outra desvantagem do processo magnético é a interferência causada por objetos de metal próximos ao local de captura. Campos magnéticos são extremamente sensíveis a objetos metálicos sendo que até mesmo a estrutura do prédio pode causar alguma interferência e prejudicar a captação do sinal.



Figura 1.5 - Sensor Magnético

1.3.5 - Comparação entre os sistemas

Por ser pouco utilizado e possuir uma tecnologia ainda incipiente, o sistema acústico não foi levado em consideração nesta comparação, devido à dificuldade de obtenção de dados a respeito. As informações referentes aos outros sistemas encontram-se na tabela 1.1 e servem de base para uma discussão mais aprofundada sobre qual sistema será adotado durante a execução do projeto proposto

	Magnéticos	Ótico	Sistemas Mecânicos
Resolução espacial	~ 0.005 a 8 mm; ~ 0.025 a 0.1 graus	~ 0.0015 a 0.2 % do Campo de visão (FOV)	Independente do alcance, ~ 0.5 - 1 graus
Acurácia espacial	~ 0.8 a 5 mm; 0.1 a 3 graus	~ 0.004 a 0.5 % do FOV	<= 5 graus
Precisão	elevada	~ 0.0055 a 0.02 % do FOV	de média a elevada
Taxa de amostragem	~ 100 FPS	> 200 FPS (geralmente)	> 120 FPS
Campo de trabalho	raio de 1 a 2 m	raio de 1 a 4 m	Ilimitado (depende apenas do comprimento dos cabos de transmissão)
Tipo de aquisição	Direta	Indireta	Direta
Vantagens	Processamento em tempo real, baixo custo do equipamento, obtenção de coordenadas 3D + orientações das articulações, maior precisão dos dados	Alta taxa de amostragem (captura de movimentos mais complexos), número de refletores ilimitado, liberdade dos atores durante o processo	Processamento em tempo real, baixo custo do equipamento, maior precisão dos dados, facilidade de implantação, captação de todos os movimentos (incluindo mais de uma pessoa)

Desvantagens	Restrição do movimento, limitação do número de marcadores, objetos de metal interferem nos resultados	Oclusão de refletores, necessita tracking via software para geração de coordenadas 3D, alto custo do equipamento, menor precisão dos dados	Restrição do movimento, posição absoluta desconhecida
Preço	US\$ 5,000 a US\$ 70,000	US\$ 20,000 a US\$150,000	US\$ 1,000 a US\$ 35,000

Tabela 1.1 - Comparação entre os sistemas de captação

2 ESCOLHA DO SISTEMA A SER UTILIZADO

Para a escolha do sistema utilizado no trabalho, devem-se atender alguns pré-requisitos básicos que definirão o sucesso do projeto. Como já citado anteriormente, o sistema de captura tem de ser barato e eficiente nas medições, fácil de ser implantado, permitir uma ampla gama de movimentos, ser utilizado de forma intuitiva, ser facilmente integrado com o modelo virtual e poder ser utilizado em diferentes ambientes.

Como os sistemas citados possuem características diferentes optou-se por utilizar uma matriz de decisão para a escolha do sistema mais adequado (tabela 2.1). De acordo com as métricas estabelecidas foram definidos os seguintes critérios de avaliação e pesos (distribuídos de 1 a 4):

- Preço: como a intenção do projeto é tornar a tecnologia de Mocap mais acessível ao usuário final o peso deste item será 3;

- Precisão: é importante obter uma precisão razoável do movimento que será captado para uma melhor simulação do modelo virtual, porém este não é o ponto fundamental de nossa pesquisa, portanto será dado peso 1;

- Taxa de amostragem: como dito anteriormente a precisão do movimento capturado não é o foco do trabalho, porém é importante ter uma boa taxa de amostragem para poder obter uma boa simulação do modelo, portanto peso 2;

- Processamento em tempo real: a possibilidade de implantação do modelo em tempo real é um pré requisito chave do projeto, portanto peso 3;

- Versatilidade: é importante que o equipamento possa ser utilizado em ambientes variados, portanto peso 4;

- Facilidade de Manipulação: é importante que o sistema seja facilmente instalado, calibrado e operado, portanto peso 2;

- Liberdade de movimentos: como são esperadas utilizações nas áreas de psicologia e de entretenimento é extremamente importante que os movimentos possam ser executados de forma natural e que o usuário se sinta confortável com o equipamento, peso 4;

- Facilidade de processamento do sinal: por ser um projeto de difícil implementação devido a alta complexidade natural do processo de Mocap é importante que o pós processamento dos sinais adquiridos seja de relativa facilidade, peso 1;

	<i>Peso</i>	<i>Magnético</i>	<i>Ótico</i>	<i>Mecânico</i>
<i>Preço</i>	3	7	4	8
<i>Precisão</i>	1	9	8	7
<i>Tx Amostragem</i>	2	6	9	8
<i>Tempo Real</i>	3	8	4	8
<i>Versatilidade</i>	4	6	4	9
<i>Facil. Manipul.</i>	2	7	5	8
<i>Liberdade e Mov.</i>	4	6	10	5
<i>Facil. Proces. Sinal</i>	1	9	5	9
<i>Total</i>	20	137	121	152

Tabela 2.1 - Matriz de Decisão

Pela matriz de decisão mostrada acima e pelos motivos explicitados ao longo do texto, decidiu-se adotar o método mecânico. Mas agora existem duas opções: utilizar um sistema baseado em um exoesqueleto com potenciômetros ou um sistema baseado em flexsensors.

Por ser uma tecnologia mais difundida, com processamento do sinal relativamente fácil e de baixo custo optou-se pela utilização de um sistema baseado na captura de sinais através de potenciômetros. Em relação ao sistema com flexsensors, a maior preocupação é a falta de suporte para este tipo de mecanismo no Brasil e o custo que é bem mais elevado que o sistema com potenciômetros.

Entretanto, sabe-se que o sistema com potenciômetros tem como principal desvantagem a limitação da liberdade de movimentos devido ao exoesqueleto. Além disso, o sistema pode minimizar o número de potenciais usuários devido a seu caráter inibidor, por isso uma preocupação constante de

projeto da parte mecânica será justamente manter os mecanismos de aquisição de sinais de forma que não seja considerada invasiva pelo usuário.

3 PROJETO

3.1 – Metodologia de projeto

Após a definição de qual o modelo a ser utilizado para realizar a captura de movimentos é necessário definir qual será a abordagem utilizada para a resolução do problema. Devido à complexidade do projeto, que envolve diversas áreas do conhecimento, é importante ter uma grande clareza do funcionamento de cada uma das partes separadamente, bem como entender como será realizada a interação entre as partes. Para facilitar esse entendimento, desenhou-se um diagrama que melhor representasse a abordagem imaginada para o projeto (figura 3.1).

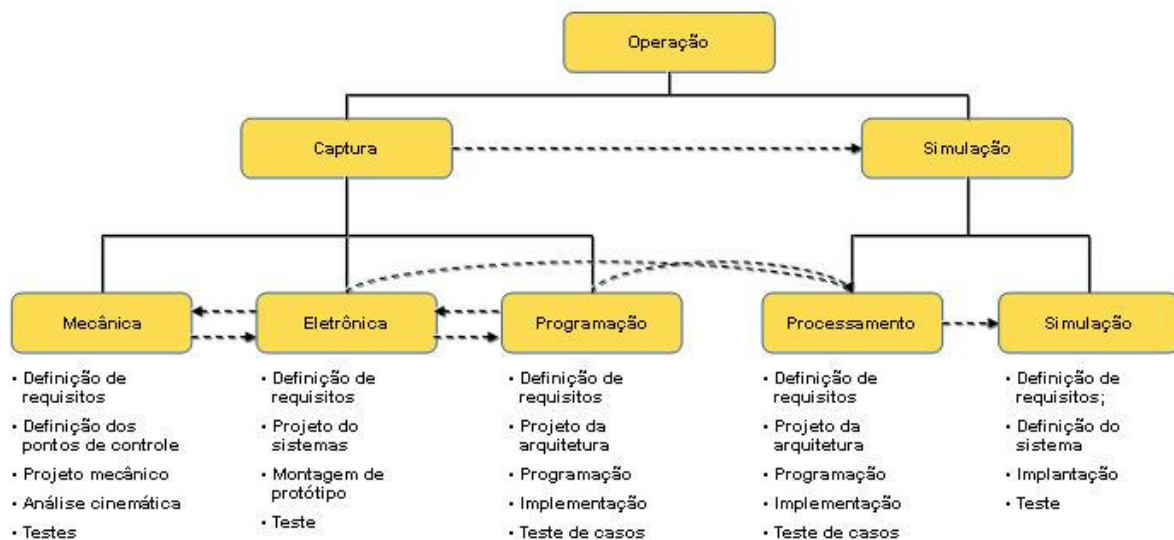


Figura 3.1 - Metodologia de Projeto

Já esquematizado o diagrama, partiu-se para o desenho da topologia do sistema para facilitar a identificação de possíveis gargalos do projeto e para ser mais intuitivo entender o funcionamento do sistema. Para isso, foi elaborado o diagrama da figura 3.2, que procura demonstrar as relações entre as diferentes partes do sistema proposto.

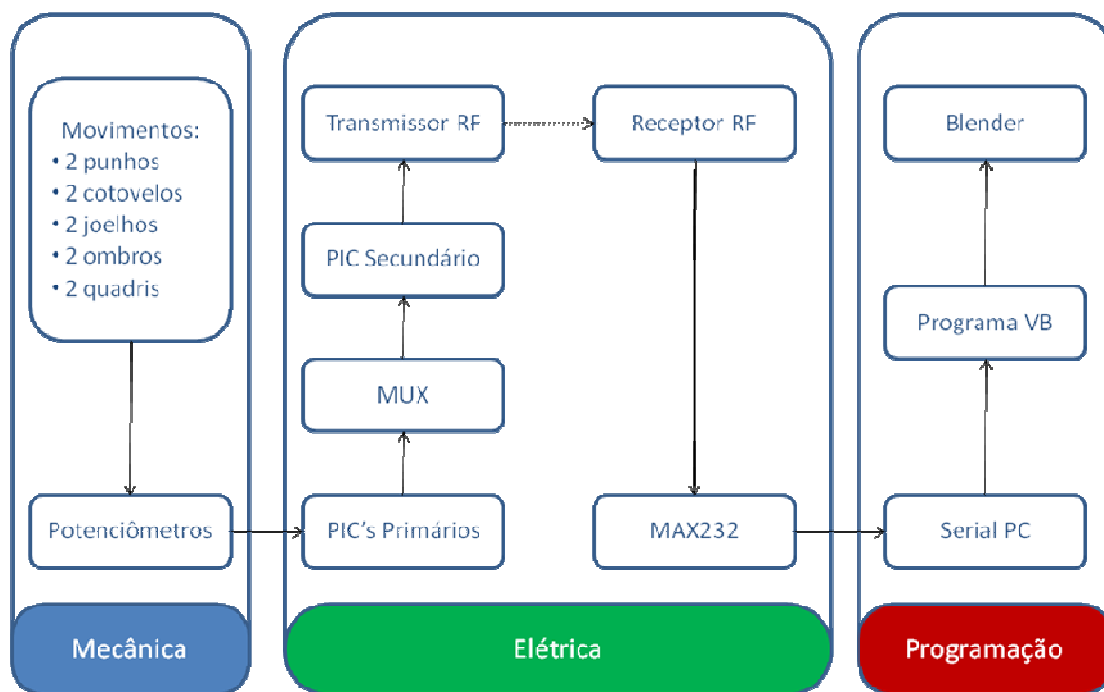


Figura 3.2 - Interface entre as áreas do projeto

Na figura 3.2 é possível perceber claramente cada uma das interfaces presentes no sistema completo e consegue-se ter uma idéia clara do funcionamento do sistema, lembrando que, por se tratar de uma etapa inicial, neste estágio ainda não foram levados em conta detalhes de cada um dos subsistemas. A idéia do diagrama é mostrar de forma genérica quais os componentes serão utilizados, quais as interdependências, e como isto gerará o resultado final.

Devido à abrangência de conteúdo requisitado neste projeto, como era de se esperar, acabou-se obtendo três grandes blocos de assuntos (mecânica, elétrica e programação), que, não por acaso, são os três pilares da mecatrônica.

Portanto, foi decidido que o projeto terá essas três frentes de pesquisa e trabalho. Primeiramente existe o projeto elétrico, que abordará todos os componentes e suas respectivas funções. Seguindo, tem-se o projeto mecânico que tratará de toda a análise cinemática e o modelamento. Por fim,

apresenta-se a lógica de programação utilizada, assim como os seus códigos e funcionalidades.

3.2 - Parte elétrica

Ao se imaginar uma captação de movimentos, naturalmente a maioria das pessoas pensa em um sensor que capta os deslocamentos de determinado corpo. Então é razoável de se concluir que o projeto tem de ser iniciado pela parte elétrica, na qual se define o tipo de sensor, suas especificações e como o sinal será tratado durante todo o seu trajeto.

Devido a sua complexidade, um projeto eletrônico deve ser muito bem estruturado e para isso, é necessário que se defina uma metodologia cuidadosa de desenvolvimento para que não se corram riscos de que ao final do projeto perceba-se que o projeto estava errado, por isso adotou-se a metodologia de projeto proposta pelo professor Jun Okamoto [25], conforme figura 3.3.

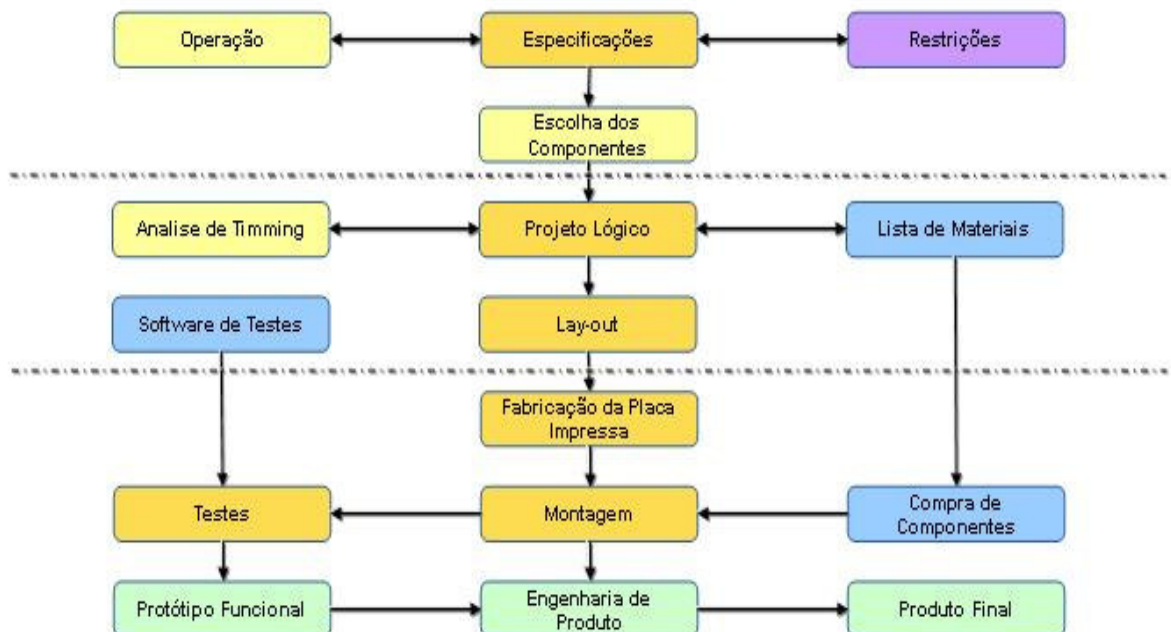


Figura 3.3 - Metodologia de projeto Eletrônico

Esta metodologia permite obter uma boa idéia de como se inicia um projeto eletrônico, desde as especificações até a montagem final do componente. Para o projeto, foi utilizada esta metodologia a fim de alcançar um bom nível de estruturação, para que qualquer alteração de projeto possa ser encarada de uma forma menos crítica e mais estruturada, facilitando, dessa forma a conclusão do projeto da forma planejada. Logicamente, não foram seguidas à risca todas as etapas apresentadas na metodologia, pois algumas delas não se aplicam

3.2.1 - Potenciômetros

Como já foi discutido previamente no 2º capítulo, utilizou-se como sensores, potenciômetros rotativos. Esses componentes são na verdade resistores variáveis que tem como princípio de funcionamento um resistor que pode ter sua resistência ajustada para um valor dentro de certa faixa [7]. Quando um resistor variável é ligado em um circuito de forma que a corrente varia, é chamado de reostato. Se ao invés de a corrente variar, a tensão for variável, então se tem o potenciômetro. Na figura 3.4 é possível visualizar uma imagem do que é um potenciômetro.



Figura 3.4 - Potenciômetro

Na figura 3.4 observa-se um potenciômetro tipo rotativo carvão, que justamente é o que será utilizado no projeto. Tem-se ainda outros tipos de potenciômetros como o deslizante, que tem sua resistência variada por um

movimento linear, e o rotativo multivoltas, no qual é possível girar a chave rotativa de uma amplitude angular maior que 60°.

Os componentes do potenciômetro são: chave rotativa e pinos de tensão. A chave rotativa tem a funcionalidade de alterar a resistência do potenciômetro na medida em que ela é girada. Já os pinos de contato têm cada um sua função: **1** e **3** são os pinos da tensão de entrada (Vcc) e do terra (GND) respectivamente (também pode ser utilizado entre 2 tensões distintas), **2** é o pino da tensão de saída do potenciômetro. Esse pino de saída tem sua faixa de tensão que vai de zero, quando a chave rotativa estiver girada completamente para o lado do pino GND, até Vcc, quando a chave estiver girada para o outro lado.

Para dimensionar os potenciômetros foi utilizada a Lei de Ohm, a qual indica que a diferença de potencial (U) entre dois pontos de um condutor é proporcional à corrente elétrica que o percorre (I):

$$U = R \cdot I \quad (3.1)$$

A utilização da Lei de Ohm somente é válida se o resistor for linear ou ôhmico, como é o caso. Portanto sabendo que a tensão utilizada é de 5 volts e que espera-se uma corrente na ordem de miliampéres:

$$5 = R \cdot 10^{-3}, \text{e portanto, } R = 5 \text{ k}\Omega$$

Após a definição do sensor, foram feitos alguns testes (figura 3.5) com a finalidade de calibração do dispositivo e para confirmação da linearidade do potenciômetro.

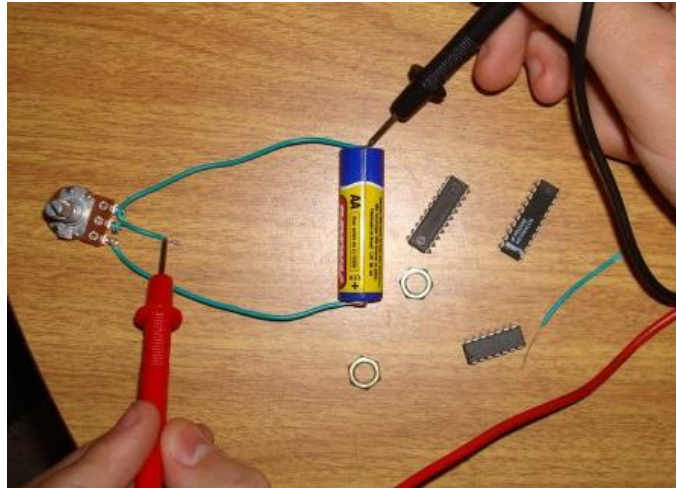


Figura 3.5 - Teste do Potenciômetro

3.2.2 – Multiplexador

Os multiplexadores e demultiplexadores pertencem à classe dos circuitos lógicos combinacionais.

Um circuito lógico combinacional é aquele em que as variáveis de saída são funções determinadas pelas variáveis de entrada no instante do tempo observado, ou seja, é um circuito no qual as saídas dependem exclusivamente das entradas. Os multiplexadores e demultiplexadores normalmente são abreviados como “mux” e “demux” respectivamente.

O multiplexador é um dispositivo que seleciona uma das entradas de dados para a saída em função das entradas de endereçamento, enquanto que o demultiplexador endereça uma única entrada de dados para uma das saídas, também em função das entradas de endereçamento.

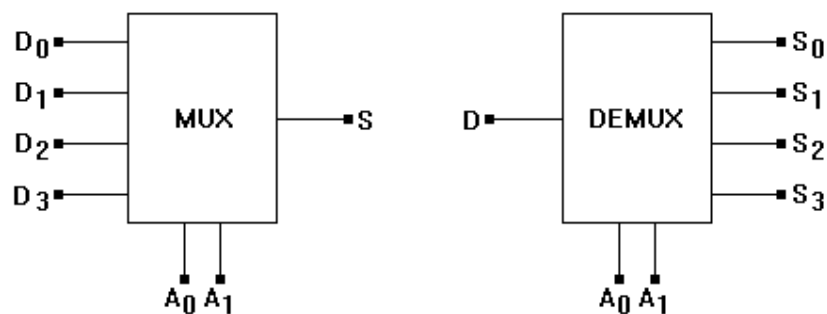


Figura 3.6 – Multiplexador e Demultiplexador

O multiplexador mostrado na figura 3.6 possui 4 entradas de dados D0 a D3 e 2 entradas de endereçamento ou seleção A0 e A1. O número da entrada de dados é uma função das entradas de seleção ou endereçamento, ou seja, 2^n , onde “n” representa a quantidade de entradas de endereço. Para o “mux” em questão, o número de entrada de dados é $2^2 = 4$. Se um multiplexador tiver 3 entradas de endereçamento ou seleção, a quantidade de entradas de dados será $2^3 = 8$. O demultiplexador mostrado possibilita a distribuição da entrada de dados para uma das saídas, também em função da quantidade das entradas de seleção ou endereçamento. A exemplo do multiplexador, a quantidade de saídas é uma variável dependente das entradas de endereçamento. Assim, um demultiplexador com três entradas de endereçamento possuirá oito saídas ($2^3 = 8$).

Para definir quais entradas serão selecionadas com os seletores pode-se criar uma tabela da verdade. Por exemplo:

DADOS	A ₀	A ₁	SAÍDA
D ₀	0	0	S (D ₀)
D ₁	0	1	S (D ₁)
D ₂	1	0	S (D ₂)
D ₃	1	1	S (D ₃)

Tabela 3.1 – Tabela da verdade MUX 4:1

Com o seletor de A₀ em high e A₁ em low, seleciona-se na saída a entrada D₂.

Para o projeto, é necessário que o multiplexador possua ao menos 12 entradas, pois este é o número total de sensores cujos sinais são adquiridos. Então foi decidido por se utilizar um multiplexador de 16 entradas e 4 bits de seleção, o 74150. Seu diagrama interno está na figura abaixo:

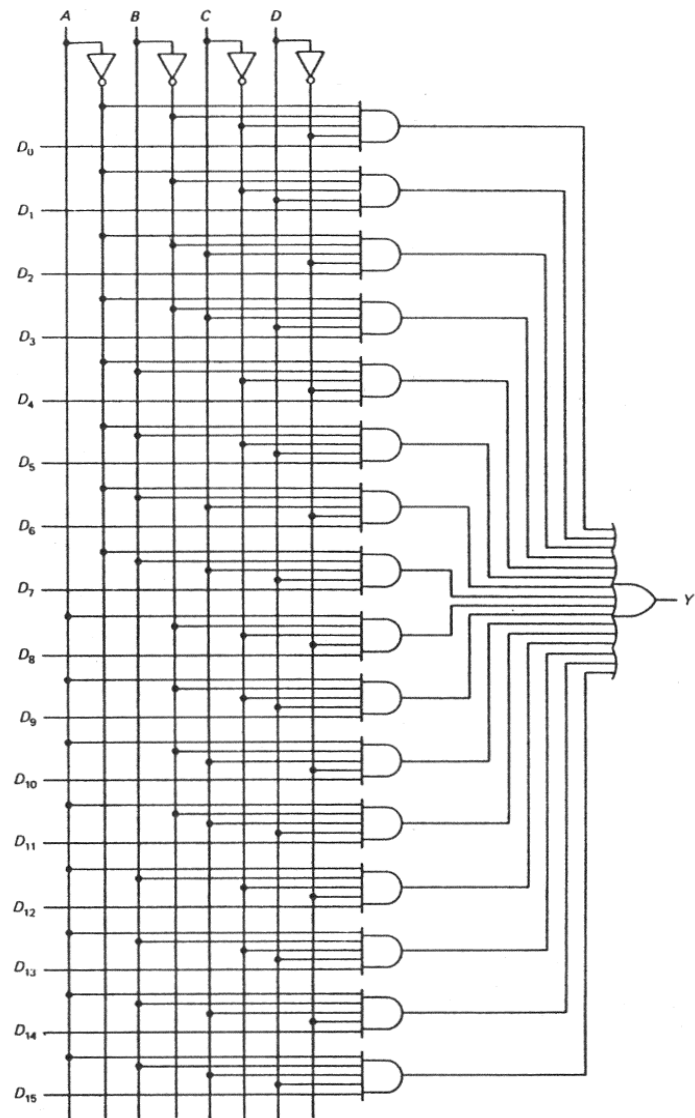


Figura 3.7 – Diagrama Lógico interno do MUX

Este circuito integrado é muito comum e de aplicação difundida, além de ser muito simples a sua utilização. O CI e suas ligações estão na figura 3.8.

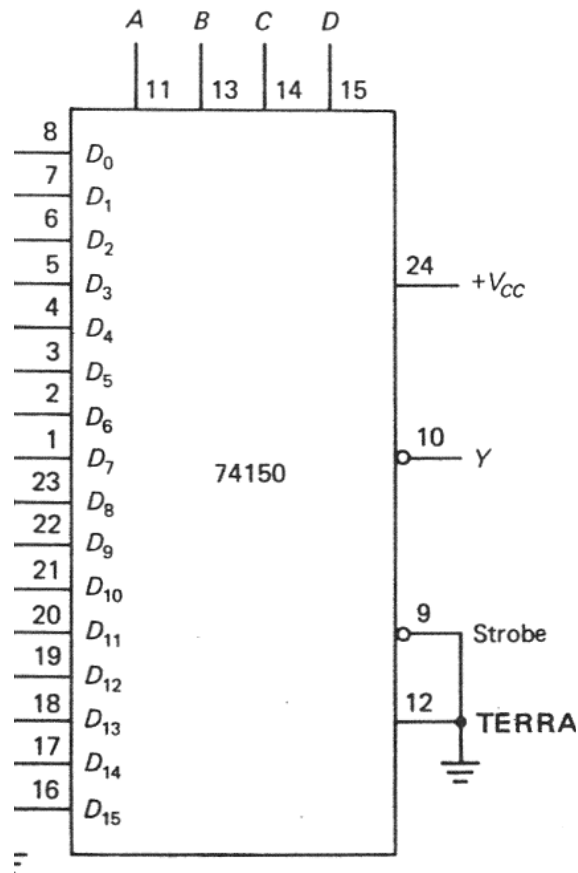


Figura 3.8 – MUX 16:1

No entanto, na construção do protótipo serão utilizados apenas dois MUX 4:1, ou seja, dois seletores de 4 entradas em um mesmo CI. Este componente será usado no lugar do 74150 pois este é mais simples, suprimindo as necessidades do protótipo e mantendo a funcionalidade do mesmo.

3.2.3 – Microcontrolador PIC

Os PIC's são uma família de fabricados pela Microchip Technology, que processam dados de 8 bits e de 16 bits, e mais recentemente 32, com extensa variedade de modelos e periféricos internos, com arquitetura Harvard e conjunto de instruções RISC (conjuntos de 35 instruções e de 76 instruções), com recursos de programação por Memória flash, EEPROM e OTP.

Os microcontroladores PIC têm famílias com núcleos de processamento de 12 bits, 14 bits e 16 bits e trabalham em velocidades de 0kHz (ou DC) a 48MHz, usando ciclo de instrução mínimo de 4 períodos de clock, o que

permite uma velocidade de no máximo 10 MIPS. Há o reconhecimento de interrupções tanto externas como de periféricos internos. Funcionam com tensões de alimentação de 2 a 6V e os modelos possuem encapsulamento de 6 a 100 pinos em diversos formatos.

O microcontrolador utilizado foi o PIC16F870. O PIC16x é muito simples, tem somente 33 instruções de 12 bits de largura fixa, incluindo diversas instruções de salto condicional a flags para a próxima instrução (para loops e rotinas condicionais), produzindo um código enxuto importante para aplicações em sistemas embarcados. Além disso, possui conversor analógico-digital de 10 bits de resolução, periférico de comunicação serial e uma boa frequência de clock. Foi definido a utilização do clock interno do microcontrolador, pois este atende perfeitamente a todos os requisitos do projeto, tais como frequência e compatibilidade.

Os PICs podem ser programados em linguagem mnemônica (assembly) ou usando-se compiladores de linguagem de alto nível (Pascal, C, Basic) que geram um código em formato hexadecimal que são usados para serem gravados na memória de programa desses microcontroladores. No projeto em questão, pela grande familiaridade com o código, escolheu-se por escrever o programa no PIC na linguagem C. O código (anexo 6.1) foi compilado pelo programa CCS C, que é gratuito e possui uma interface muito amigável. Após ser compilado, o CSS C gerou um arquivo em assembly (Figura 3.9) que, posteriormente foi gravado no microcontrolador PIC.

```

0x0000: 3000 008A 2871 0000 0804 00AF 0E29 38F0 0...{q.....}8.
0x0008: 00AB 07AB 3EE2 00AC 3E32 00AE 0829 390F .....>...>2....)9µ
0x0010: 07AC 07AC 07AE 3EE9 00AD 07AD 07AD 0E28 .....>.....{
0x0018: 390F 07AD 07AE 0DAD 0DAE 09AE 0DAE 0828 9µ.....{
0x0020: 390F 07AE 0DAB 3007 00AA 300A 07AE 03AD 9µ.....0....
0x0028: 1C03 2826 07AD 03AC 1C03 282A 07AC 03AB ..{&.....{*....
0x0030: 1C03 282E 07AB 03AA 1C03 2832 302A 0084 ..{.....{20*..
0x0038: 3007 052F 0784 302E 0204 1903 2853 0800 0.../.0.....{S..
0x0040: 00A0 1D03 2849 1A2F 2851 19AF 284B 3020 ....{I./{Q..{K0
0x0048: 284C 3008 00AF 3030 07A0 0820 1E0C 284E {L0...00... ..{N
0x0050: 0099 0A84 283B 0800 00A0 3030 07A0 0820 ....{;....00...
0x0058: 1E0C 2858 0099 289C 3028 0084 0800 1903 ..{X..{.0{.....
0x0060: 2870 3001 00A1 01A0 0BA0 2864 0BA1 2863 {p0.....{d...{c
0x0068: 304A 00A0 0BA0 286A 0000 0000 0B80 2861 0J....{j.....{a
0x0070: 28A3 0184 301F 0583 3007 1683 009F 3019 (...0...0.....0.
0x0078: 0099 3026 0098 3090 1283 0098 308E 1683 ..0&..0.....0...
0x0080: 009F 1283 081F 3938 38C1 009F 3000 00A1 .....988...0...
0x0088: 081F 39C7 0421 009F 151F 191F 288D 1683 ..9...!..$....{...
0x0090: 081E 1283 00A6 081E 00A7 3010 0084 0827 .....0.....'
0x0098: 00A9 0826 00A8 2804 302C 1E0C 289D 0099 ..&..{.0...{...
0x00A0: 30FA 00A8 285C 288C 0063 3FFF 3FFF 3FFF 0...{\\...c?..?..
0x00A8: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x00B0: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x00B8: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x00C0: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x00C8: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x00D0: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x00D8: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x00E0: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x00E8: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x00F0: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x00F8: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..
0x0100: 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF 3FFF ?..?..?..?..?..?..

```

Figura 3.9 – Código em Asseby gerado pelo CSS C

Para tal procedimento, utiliza-se um hardware especial (gravador) acoplado a um PC, mostrado na figura 3.10:

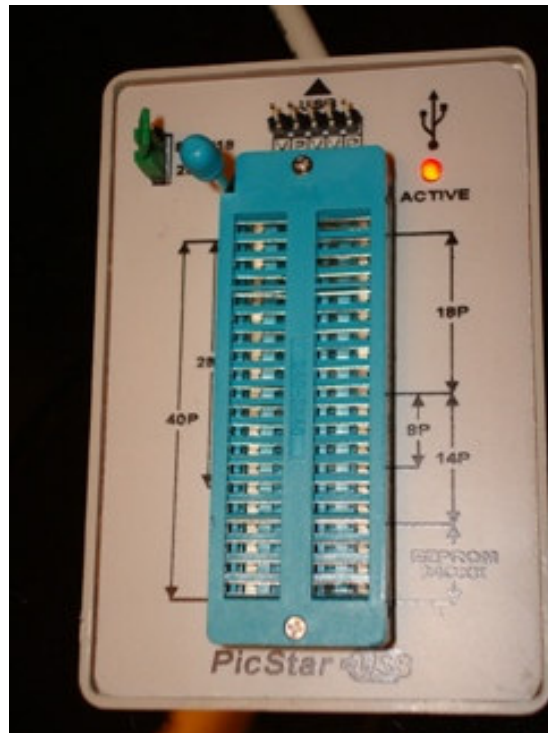


Figura 3.10 – Gravador de PIC

O gravador de PIC, da PicStar, possui uma interface USB muito simples, o qual é reconhecido imediatamente pelo sistema operacional. A gravação em si, foi feita copiando o código gerado pelo compilador no WinPIC, programa este responsável pela transmissão dos dados ao gravador.

Foram feitos dois programas para os PICs utilizados no sistema, um para o PIC que fica na junta de atuação e outro para o PIC que centraliza as informações antes de enviá-las para o módulo RF.

O programa do PIC que fica na junta tem como função captar o sinal analógico que vem do potenciômetro, transformá-lo em um sinal digital e enviá-lo através da porta serial. Para isso, o programa (anexo 6.1) utiliza o oscilador interno do PIC e o conversor AD interno bem como a função pronta para transmissão através do protocolo serial RS 232. O funcionamento do programa é bem simples a partir dessas funções já citadas, inicialmente são feitas todas as configurações necessárias através dos FUSES e das definições do programa, após isto, o programa entra em um loop infinito no qual efetua a leitura do sinal nas portas analógicas de entrada (definidas anteriormente), faz a conversão do sinal analógico para digital através do conversor interno, no caso do programa desenvolvido optou-se pela utilização de uma conversão em 8 bits, que facilita a lógica de comunicação desenvolvida, e envia os dados através da porta serial, após isto, o programa faz uma pequena pausa até reiniciar o ciclo. Basicamente, o programa faz uma pausa para evitar que os dados sejam sobrepostos, como não existe a necessidade de uma taxa de amostragem muito alta já que o objetivo do projeto não é conseguir precisão elevada, o recurso da pausa evita possíveis erros e não afeta significativamente a qualidade do sinal captado.

Para facilitar a comunicação e a interface entre o sistema de captura e a aquisição do sinal através do computador criou-se uma lógica definida para transmissão da informação. A lógica é muito simples e constitui-se basicamente de uma “palavra” que é formada por um conjunto de informações menores. O início dessa palavra é marcado pelo conjunto 0F em hexadecimal que nada mais é do que um conjunto de informações que determina o início da transmissão das informações propriamente ditas. Após este conjunto inicial as informações dos sensores são enviadas em conjuntos de 8 bits cada, ou seja,

após o conjunto inicial, a cada 8 bits tem-se a informação de um sensor diferente, organizadas seqüencialmente. Ao final da transmissão da informação de todos os sensores tem-se a transmissão de um caractere de fim de linha que sinaliza o final do conjunto de informações enviado. Cada “palavra” formada representa aproximadamente a posição dos sensores em um determinado instante. Isto não é exatamente verdade pois existe o delay de leitura do PIC na concatenação dessa informação, mas o que nos importa é que os sinais de cada um dos sensores seja igualmente espaçado e isto é facilmente obtido da forma aqui citada.

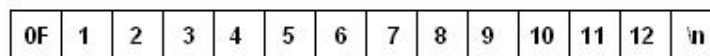


Figura 3.11 – String da comunicação serial

Como pode-se ver na figura 3.11 o formato utilizado para executar a comunicação é muito simples, consiste de uma string de 14 bytes, onde o primeiro byte é a palavra de identificação, caso esta string não seja identificada a comunicação não será validada, os próximos 12 bytes correspondem a informação de cada um dos sensores indicados, por isto utiliza-se a conversão de 8 bits. Desta forma, cada um dos sensores manda a informação correspondente a exatamente um byte, e por final tem-se a caractere de fim de linha que identifica que a mensagem acabou.

Já o programa do PIC centralizador de informação (anexo 6.2) basicamente faz a leitura individual de cada uma das informações enviadas pelos sensores, junta tudo isto em uma “palavra” e envia para o transmissor RF através da porta serial, utilizando o mesmo protocolo de comunicação RS 232. Para isto, o programa entra em um loop infinito no qual envia para o sistema de multiplexadores, de forma binária, o endereço do sinal que deseja captar. Isto é feito seqüencialmente a partir do sensor 1 até o sensor n. O sistema multiplexador libera individualmente cada um dos sinais até a porta de entrada serial do PIC que ao final da captação envia o endereço do sinal subsequente. Dessa forma o PIC capta um a um os sinais e concatena todos dentro de uma única palavra. Ao varrer todos os sensores o programa insere um caractere de

fim de linha e envia a “palavra” para o transmissor RF através da saída serial e das funções seriais já definidas no protocolo RS 232 do PIC.

3.2.4 – Módulos RF – Transmissor e Receptor

Os módulos RF foram utilizados para que não haja nenhuma limitação física quanto à proximidade dos microcontrolador e do processador. Estes módulos possuem uma comunicação por radio freqüência através de uma freqüência de 300Mhz e com alcance de mais de 100 metros em espaço aberto. O funcionamento do dispositivo é muito simples, apenas sendo relevante sua interface. A pinagem do transmissor e do receptor estão nas figuras a seguir:

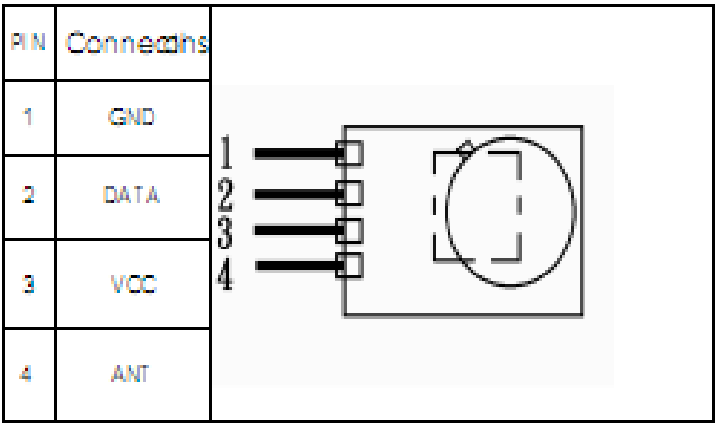


Figura 3.12 – Transmissor RF

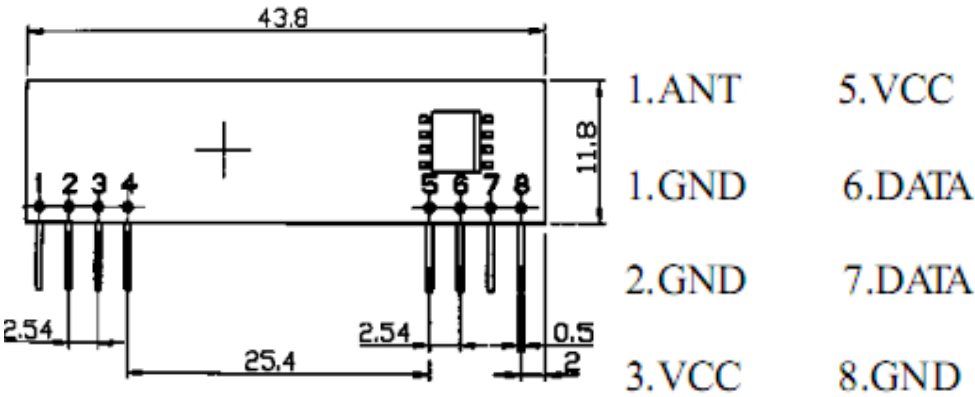


Figura 3.13 – Receptor RF

3.2.5 – MAX232

MAX232 é um circuito eletrônico que converte sinais de uma porta serial para sinais adequados para uso em circuitos microprocessados, por exemplo. O MAX232 amplifica/reduz sinais RX, TX, CTX e RTS. A discrepância de voltagem (acima de $\pm 12V$ do RS232 para 3.3V TTL) é gerada por capacitores (normalmente de 10 nF). O MAX232 é um transmissor/receptor duplo que fornece níveis de voltagem TIA/EIA-232-F de uma única fonte de tensão de 5V. Cada receptor converte entradas TIA/EIA-232-F para níveis de 5V TTL/CMOS. Estes receptores têm um limiar típico de 1.3V, uma histerese típica de 0.5V e pode aceitar $\pm 30V$ de entrada. Cada transmissor converte níveis de entrada TTL/CMOS em níveis MAX232.

Sua utilização é necessária para a correta interface entre PC via serial e PIC.

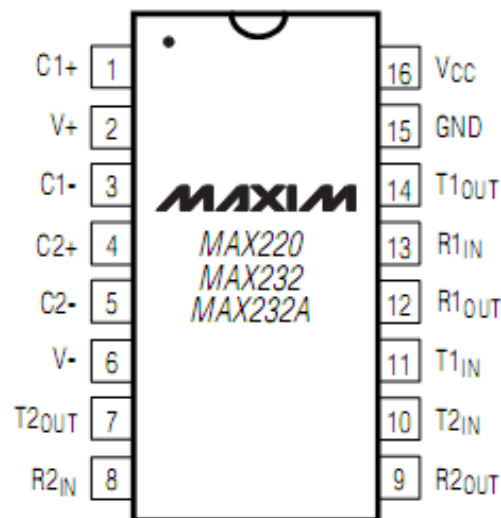


Figura 3.14 – MAX232

3.2.6 – Circuito completo

Após a explicação do funcionamento individual dos componentes, segue a seguir a figura de todo o circuito transmissor:

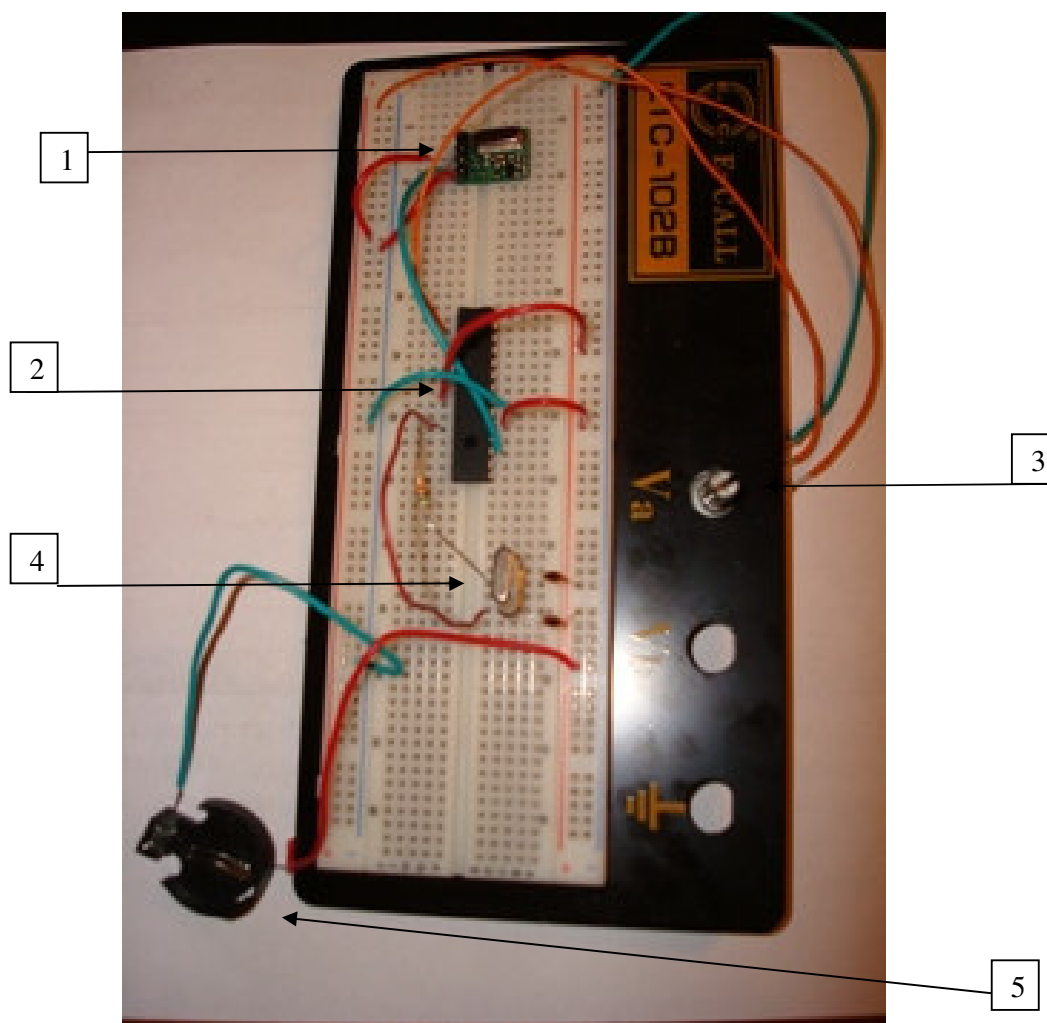


Figura 3.15 – Circuito Transmissor

No detalhe:

1. Transmissor RF
2. PIC16F870
3. Potenciômetro
4. MUX
5. Fonte

Agora, em detalhe, o circuito receptor:

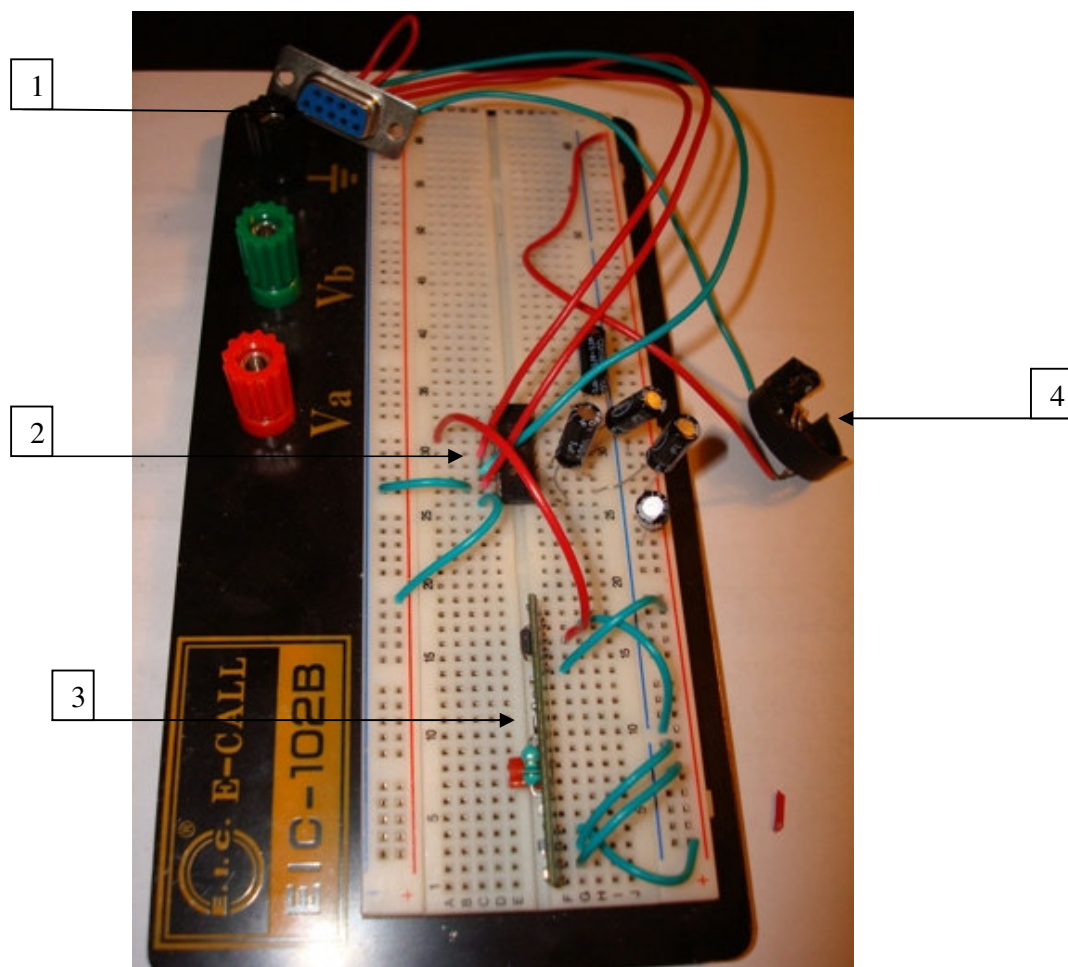


Figura 3.16 – Circuito Receptor

No detalhe:

1. Interface Serial
2. MAX 232
3. Receptor RF
4. Fonte

O protótipo do circuito dos sensores está na figura abaixo:

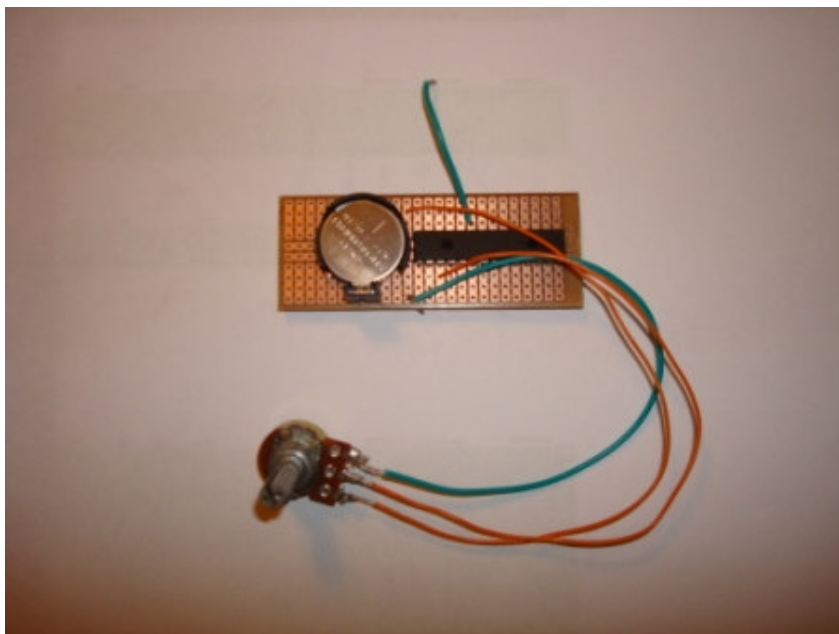


Figura 3.17 – Protótipo do circuito dos sensores

3.3 - Parte mecânica

3.3.1 – Definição do modelo

Para atingir os objetivos do trabalho é necessário que o movimento seja capturado de forma a reproduzir, da melhor forma possível, a realidade, porém, existe uma ambigüidade entre a fidelidade do movimento captado e o custo (monetário, processamento, trabalho, etc.) dessa fidelidade. De forma genérica quanto maior a fidelidade maior será seu custo e, portanto menos atraente será desenvolver um projeto desse tipo. O desafio é atingir o ponto ótimo dessa ambigüidade. Para isso é necessário ter claro quais as reais intenções do projeto já que até mesmo na literatura é possível encontrar divergências entre o número de pontos que são necessários para descrever completamente os movimentos do corpo humano.

No caso do projeto que se deseja implementar (captura de movimentos para fins interativos e/ou pesquisas psicológicas) a precisão captada do movimento não é algo fundamental, nem captar fielmente todos os movimentos, o ideal é conseguir captar os movimentos de forma que seja possível visualizar

corretamente o movimento no computador e seja possível movimentar o avatar. Como o número de sensores é um condicionante do sistema devido à posterior dificuldade de processamento desses dados em tempo real, buscou-se adotar um modelo que seja ao mesmo tempo fiel a realidade e possua o menor número de sinais possíveis.

Movimentos humanos são muitas vezes complexos e a modelagem desses movimentos através da medição de um número limitado de pontos é uma simplificação da realidade. O movimento do ombro pode ser modelado de várias formas distintas, entretanto, apenas formas de modelagens mais complexas conseguem reproduzir com fidelidade o movimento realizado pelos ombros, na maioria das vezes, o que existe são simplificações que atendem a demandas específicas. Normalmente para a modelagem do corpo humano são usadas técnicas de cinemática, definida como o estudo de movimentos relativos entre dois ou mais corpos físicos [11], ou ainda pode tratar das propriedades do movimento geométrico dos corpos rígidos, caracterizado pela mudança relativa de posição, sem indagar as origens que os causam [10]. Para isso, o corpo é modelado como um conjunto de corpos rígidos e juntas cinemáticas, a junção desses elementos compõe os movimentos possíveis, e através do qual se pode estabelecer uma determinada posição no espaço em função de coordenadas de entrada ou vice-versa (cinemática inversa).

Estudos mostram que o movimento do corpo pode ser captado através na medição da posição de 19 pontos, entretanto, pode-se desconsiderar alguns movimentos rotativos (como o do quadril) que não é essencial para o escopo do projeto e o movimento do pescoço e afins. Com essas eliminações consegue-se reduzir o número de sinais a serem captados para o microprocessador, que podem ser visualizados no modelo de figura 3.18.

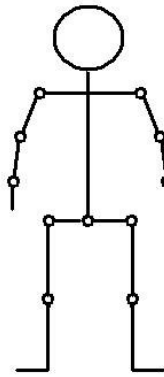


Figura 3.18 - Modelo do avatar

Como será realizado um posterior processamento do sinal adquirido e o objetivo é conseguir replicar este sinal em um boneco virtual, é importante definir as medidas de cada uma das partes do modelo definido. Por mais que não seja essencial para esta etapa do processo é interessante constar esta definição para que se possa verificar a consistência das soluções encontradas de acordo com a nossa sensibilidade natural. Para isso, segue o modelo da figura 3.19, que foi obtido a partir das medidas de um ser humano médio.

Para o projeto foram alocados doze sensores que representam os principais movimentos do corpo humano. Os sensores estão localizados: 2 nos punhos, 2 nos braços, 4 nos ombros (cada ombro com 2 graus de liberdade), 2 nos quadris e 2 nas pernas.

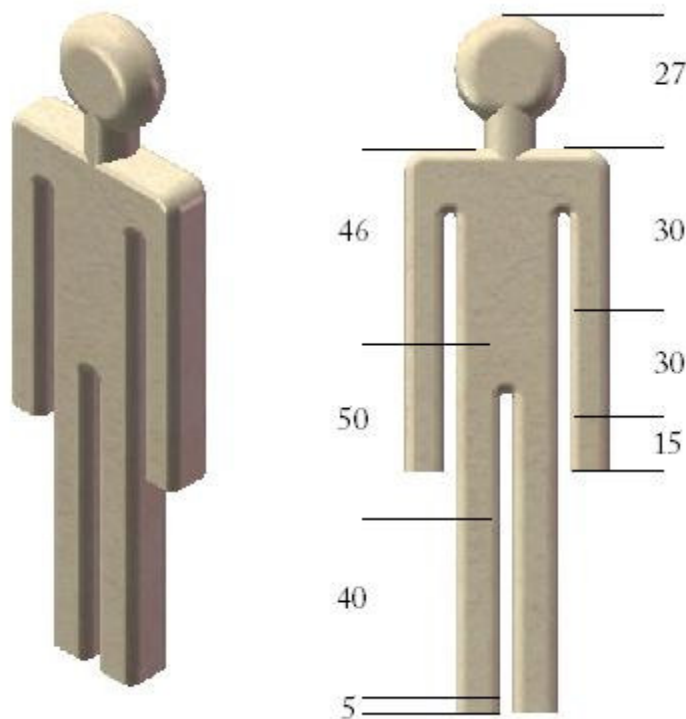


Figura 3.19 - Medidas (em cm) do modelo humano

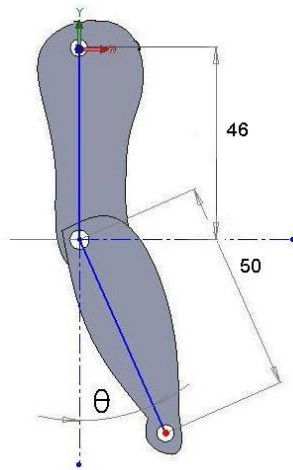
3.3.2 - Modelagem Cinemática dos Movimentos do Corpo

Baseado nos conceitos previamente discutidos, é necessário fazer uma análise cinemática dos movimentos que serão estudados para que, dessa forma, seja possível compreender melhor o funcionamento do modelo desejado. Como não existe a necessidade de definição do movimento em relação a um ponto em comum e para facilitar o modelo de análise, foi feita uma análise cinemática direta de cada uma das partes que compõe o modelo final, para isso, foi conservado uma das partes sempre fixa e a outra em movimento, mantendo algumas restrições medidas em um ser humano real.

3.3.2.1 - Quadril

O quadril é um dos modelos mais simples e pode ser simplesmente modelada da forma que está representada na figura 3.20. Neste modelo foram colocadas as medidas do modelo virtual para ilustrar a real movimentação, no entanto estas medidas podem ser facilmente alteradas, assim sendo, resolveu-

se realizar o desenvolvimento do modelo de forma genérica. As equações propostas em todos os modelos apresentados descrevem o movimento do ponto vermelho em relação à origem do sistema.



$$x = -a_1 - a_2 \cdot \cos \theta \quad (3.3)$$

$$y = -a_2 \cdot \sin \theta \quad (3.4)$$

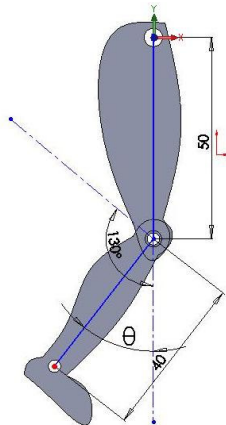
$$0^\circ < \theta \leq 90^\circ \quad (3.5)$$

Figura 3.20 - Modelo Quadril

Onde a_1 é o comprimento da parte fixa, neste caso o tronco, a_2 é o comprimento da parte móvel, neste caso a coxa, e θ é o ângulo entre a parte móvel e a linha demonstrada na figura 3.20. Esta mesma terminologia é usada em todos os desenvolvimentos posteriores.

3.3.2.2 - Perna

O movimento da perna é muito semelhante ao verificado entre o tronco e a coxa, portanto se obtêm uma resposta extremamente similar, mudando apenas as condições de contorno (figura 3.21).



$$x = -a_1 - a_2 \cdot \cos \theta \quad (3.6)$$

$$y = -a_2 \cdot \sin \theta \quad (3.7)$$

$$0^\circ < \theta \leq 130^\circ \quad (3.8)$$

Figura 3.21 - Modelo Perna

3.3.2.3 - Braço

Analogamente ao desenvolvimento dos mecanismos acima, pode-se fazer o desenvolvimento do mecanismo do braço (figura 3.22).

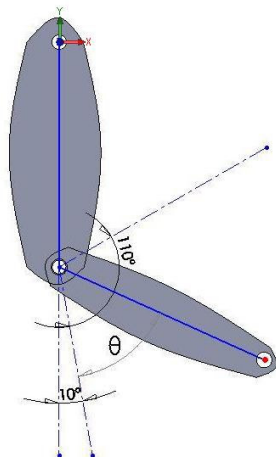


Figura 3.22 - Modelo Braço

$$x = a_2 \cdot \text{sen}(\theta + 10^\circ) \quad (3.9)$$

$$y = -a_1 - a_2 \cdot \cos(\theta + 10^\circ) \quad (3.10)$$

$$0^\circ < \theta \leq 110^\circ \quad (3.11)$$

3.3.2.4 - Punho

O mecanismo da mão também não apresenta grandes complicações (figura 3.23).

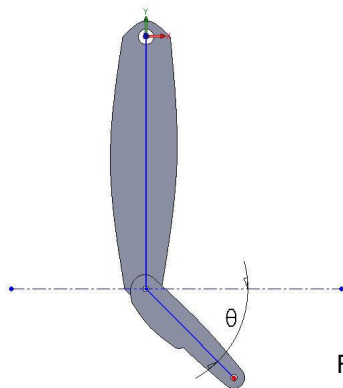


Figura 3.23 - Modelo Punho

$$-a_1 - a_2 \cdot \text{sen}\theta \quad (3.12)$$

$$a_2 \cdot \text{sen}\theta \quad (3.13)$$

$$0^\circ < \theta \leq 180^\circ \quad (3.14)$$

3.3.2.5. - Ombro

O ombro é o único que apresenta uma modelagem um pouco mais complexa devido a seus graus de liberdade. Idealmente o ombro poderia ser modelado como uma junta cinemática esférica, no entanto para a realização do

modelo utilizando a captação dos movimentos através de potenciômetros, foi preciso decompor o movimento em partes. Para facilitar, o movimento do ombro foi dividido em duas partes. O modelo da figura 3.24 mostra uma visão lateral do movimento do ombro.

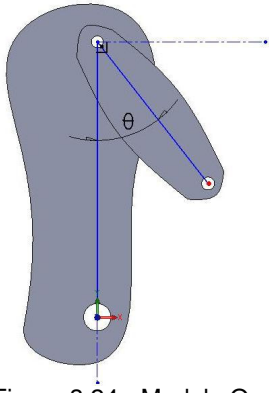


Figura 3.24 - Modelo Ombro Lateral

$$a_1 - a_2 \cdot \cos \theta \quad (3.15)$$

$$a_2 \cdot \sin \theta \quad (3.16)$$

$$0^\circ < \theta \leq 90^\circ \quad (3.17)$$

Já o modelo da figura 3.25 mostra uma visão superior.

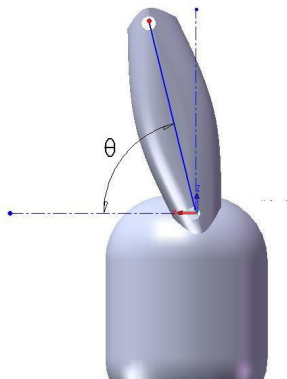


Figura 3.25 - Modelo Ombro Superior

$$a_2 \cdot \cos \theta \quad (3.18)$$

$$a_2 \cdot \sin \theta \quad (3.19)$$

$$0^\circ < \theta \leq 90^\circ \quad (3.20)$$

Através da composição dos movimentos descritos na figura 3.24 e 3.25 pode-se notar que quase todos os movimento feitos pelo ombro são possíveis.

3.3.2.6 - Modelo completo

Por fim, após a decomposição de cada um dos movimentos separadamente, pode-se ter uma idéia do funcionamento isolado de cada uma das partes, contudo, é importante ter em mente que o modelo final é uma composição de cada uma dessas partes. Com base nisso, foi criado um primeiro modelo virtual em 2D (figura 3.26), para facilitar o entendimento de como cada um dos movimentos altera o posicionamento dos outros.

Seguindo o rigor matemático, deve-se fazer a composição de cada um dos movimentos em relação a coordenadas globais, ou seja, a posição de cada ponto em coordenadas globais seria uma função da posição dos outros pontos, no entanto a maioria dos programas de simulação virtual não necessita desse tipo de informação, precisa apenas das coordenadas relativas, o que já foi desenvolvido anteriormente, mas, de toda forma, a criação do modelo completo facilita a compreensão do trabalho.

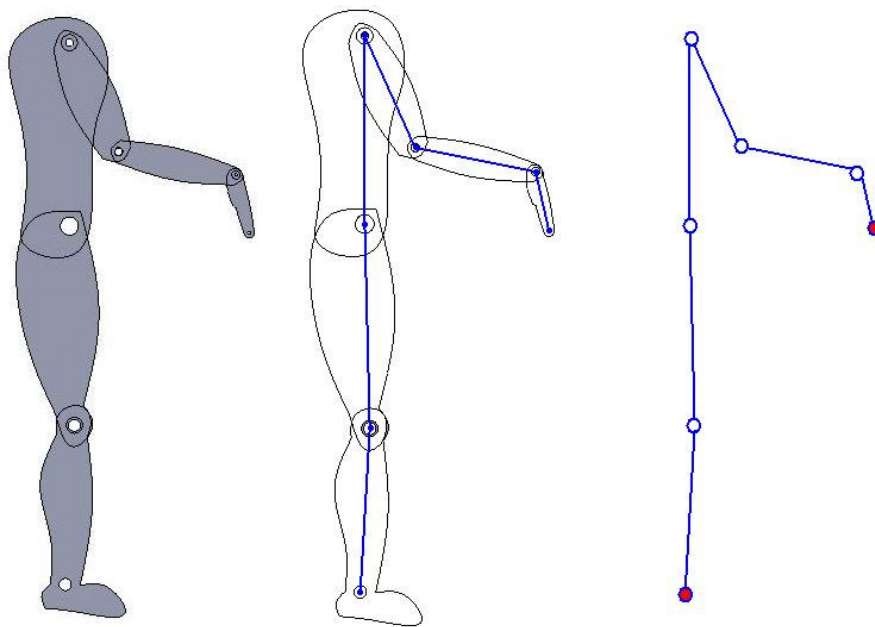


Figura 3.26 - Modelo Completo

3.3.3 - Especificação dos mecanismos utilizados

Como os mecanismos que serão utilizados não possuem grandes requisitos estruturais para obterem um funcionamento dentro dos requisitos de projeto, não será parte desse trabalho a discussão sobre a forma ótima de fabricação ou até mesmo processos de otimização dos mecanismos escolhidos. Pode ser destacado também que devido ao tamanho pequeno dos componentes a serem utilizados, os requisitos estruturais são muito pequenos e pelo fato de que os materiais a serem utilizados são restritos, não nos ateremos muito ao rigor matemático de cálculos estruturais, apenas a conceitos fundamentais que não podem ser ignorados, como principalmente a rigidez da estrutura que será determinante na fidelidade do movimento captado.

Conforme foi determinado no projeto elétrico, serão utilizados potenciômetros para fazer a captura do movimento, portanto um ponto importante do projeto de todos os mecanismos é a fixação dos mesmos ao corpo humano. Idealmente uma das partes deve ficar fixa ao corpo enquanto a outra se move de acordo com o movimento produzido. A principal dificuldade é que devido à finalidade do projeto, não se pode ser demasiadamente invasivos no sentido de incomodar o usuário do sistema, pois pode minimizar o interesse de potenciais usuários para finalidades de entretenimento e comprometer os resultados de um estudo psicológico dado que o usuário pode se reprimir devido ao incômodo do sistema. Uma dificuldade adicional é que o mecanismo precisa ser adaptável ao maior número de biótipos físicos possíveis, isso inviabiliza, por exemplo, a utilização de uma camiseta como forma de fixação. Por isso optou-se por utilizar formas de fixação mais abrangentes e que podem ser facilmente encontradas no mercado, por isso utilizou-se cotoveleiras, joelheiras e afins, que são materiais altamente adaptáveis, que possuem uma boa fixação ao corpo, relativamente baratos e que atendem aos requisitos de fixação.

Baseado na análise cinemática previamente discutida, e nos pontos aqui levantados, optou-se por trabalhar com um mecanismo extremamente simples, mas atendendo todas as nossas necessidades. Conforme mostrado no protótipo da figura 3.27 e 3.28 o mecanismo consiste em um potenciômetro fixo a uma cotoveleira, ligado a este potenciômetro tem-se uma barra metálica que

é fixa à parte móvel da cotovaleira, desta forma, ao mexer o braço, a barra metálica move-se em relação ao potenciômetro fixo, variando sua resistência. Esta barra é feita de alumínio, que é um material leve, mas possui a rigidez necessária para movimentar o potenciômetro citado, e é revestido com material emborrachado, tanto por questões estéticas como para a própria proteção do usuário. Os desenhos de fabricação destes componentes são mostrados no Anexo 6.5.

Para realizarmos a fixação destes elementos ao corpo, optou-se por fixá-los em equipamentos para prevenção de lesões como cotovelerias, joelheiras, munhequeiras, short atlético e segunda pele. Estes materiais foram escolhidos, pois eles têm como característica a fixação ao corpo em determinados pontos que, no caso, são exatamente os pontos onde existirá o monitoramento dos movimentos de rotação. A boa fixação destes componentes ao corpo permite uma maior precisão de movimento, e possibilita também a boa fixação dos potenciômetros e das barras citadas, além de serem facilmente encontrados comercialmente e de serem altamente adaptáveis a diferentes biótipos humanos.



Figura 3.27 - Teste do protótipo do sensor no braço



Figura 3.28 - Detalhe do movimento do potenciômetro

Como já citado anteriormente, o mecanismo do ombro é o mais complexo devido a seus graus de liberdade. Para desenvolvimento de um sistema eficiente de captura de movimentos, buscou-se desenvolver um sistema análogo ao desenvolvimento teórico que foi feito, com isso chega-se ao modelo apresentado na figura 3.29. Nele é possível notar que o movimento de captação é dividido em duas partes, duas rotações em relação a eixos diferentes, que compõe o movimento final. Este mecanismo exige a captação de um movimento muitas vezes composto, ou seja, com duas rotações simultâneas em torno de pontos diferentes, isto nos leva a posicionar um potenciômetro fixado paralelo a um dos eixos de rotação e o segundo potenciômetro fica fixo em relação ao primeiro, formando assim a composição do movimento citado. Este mecanismo pode ser visto em detalhes no anexo 6.5.

Além da fixação dos potenciômetros e barras de rotação, os equipamentos citados são primordiais para a passagem da fiação elétrica. Como descrito anteriormente na parte elétrica, tem-se um sensor individual em cada uma das juntas que transmite a informação para um sistema embarcado central, antes de enviá-lo ao computador para posterior captação, para que estas ligações sejam feitas de forma que não interfiram no movimento do usuário, não corram o risco de serem rompidas durante a utilização e que sejam confiáveis, os fios elétricos são embutidos dentro da roupa de forma que são quase imperceptíveis a olho nu. Para a fixação de todos estes componentes nas roupas são utilizadas técnicas de costura simples, ou seja, os potenciômetros, as barras e os fios, são costurados nas roupas com fios de

linha, que repetitivamente passados pela roupa e pelo componente geram uma fixação eficaz e confiável.

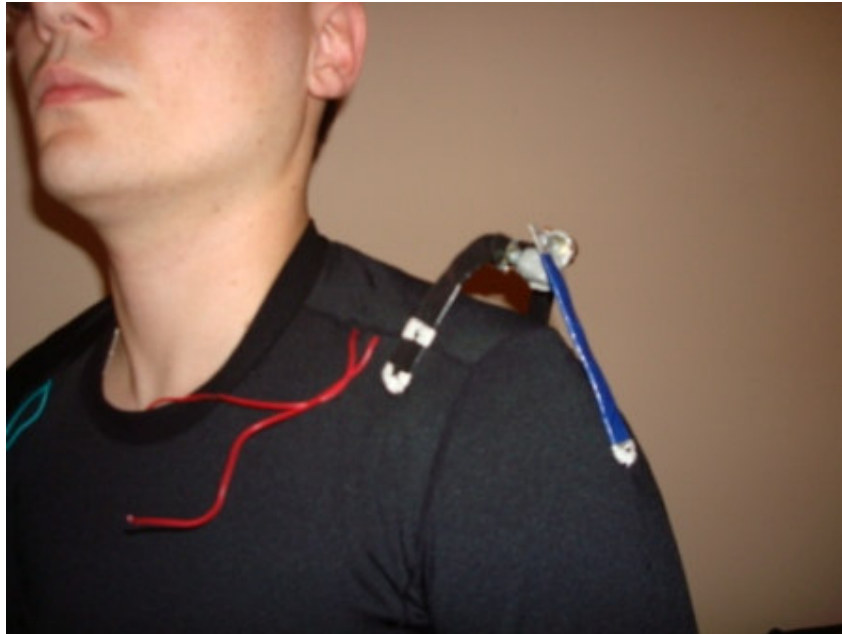


Figura 3.29 - Captação dos movimentos do ombro

3.4 - Programação

Dentro da programação existem duas subdivisões: a programação lógica e a interface. A programação lógica trata da leitura dos sinais enviados pelo circuito elétrico através de um microcomputador. Já a interface consiste no programa que mostrará, graficamente no PC, os resultados obtidos com os sensores. Coerentemente a programação lógica necessitará de uma linguagem de mais baixo nível do que a interface.

3.4.1 – Programação Lógica

A parte lógica ficará responsável pela interface entre o sistema montado e a aquisição desses sinais pelo computador e seu armazenamento para posterior simulação. Além disso, a programação lógica referida, além de responsável por ser a interface entre o computador e o sistema de captura é responsável pela interface entre o usuário e o sistema como um todo. Este é

um ponto que merece atenção já que o público alvo desse trabalho não precisa necessariamente ter uma familiaridade com os conceitos aqui apresentados, logo é importante criar uma interface gráfica de fácil utilização por parte do público.

Para realizarmos esta comunicação optou-se por utilizar um protocolo de comunicação serial RS232, a mesma utilizada na comunicação dos PICs citados na parte elétrica. Esta opção foi escolhida devido à grande disponibilidade de biografias sobre o assunto, sua fácil implantação e o baixo custo. Como alternativas poder-se-ia ter utilizado uma comunicação paralela, que é mais cara e menos eficiente e praticamente não é mais utilizada, uma comunicação via USB (Universal Serial Bus) que é altamente difundida atualmente mas incrementaria de forma desnecessária o custo do sistema, e até mesmo uma conexão ethernet que apesar de simples e barata não se mostrou tão atraente quanto a comunicação serial altamente difundida para este tipo de utilização.

O programa escolhido para desenvolver todas estas interfaces foi o Visual Basic 6.0, programa da Microsoft que combina ferramentas visuais e a utilização de uma linguagem de programação orientada a objetos para o desenvolvimento dos aplicativos. Este programa pode ser baixado gratuitamente do site da Microsoft em uma versão trail que disponibiliza todas as funções por um período limitado. Escolheu-se este programa pela sua praticidade de programação e pela funcionalidade gráfica disponibilizada, com isso consegue-se criar um ambiente agradável e intuitivo ao usuário de forma que mesmo leigos possam operar o sistema.

Além da funcionalidade gráfica o Visual Basic 6.0 possui um pacote de funções pronto para realizar a comunicação serial através das quais torna-se muito simples a captação dos sinais, bastando definir os parâmetros do protocolo utilizado. Os dados captados pelo programa são armazenados em arquivos txt que posteriormente são utilizados na simulação do modelo virtual.

Optou-se pela utilização de uma programação baseada em formulários, formulários estes que são ligados a códigos de programação individuais, ou seja, os formulários funcionam como programas separados que podem ser chamados um através dos outros. Para o objetivo do projeto optou-se por criar

três formulários simples: um para abertura do programa, o painel de controle e um de ajuda. O programa em si poderia ser desenhado em apenas um formulário, mas dentro do escopo do projeto tentou-se criar um ambiente agradável, amigável e auto-explicativo, dessa forma é importante que o programa em si seja suficiente para que o usuário entenda seu funcionamento e consiga utilizá-lo mesmo sem ter conhecimentos avançados sobre os temas aqui citados. Além do mais, a possibilidade de comercialização do sistema como um todo torna necessária uma aparência mais profissional do que seria normal esperarmos em um trabalho de formatura.

O menu de abertura mostrado na figura 3.30 é apenas um menu contendo informações sobre a autoria do projeto, funcionalidade e dois botões, um para prosseguir e outro para cancelar sua abertura. O objetivo deste simples formulário é ambientar o usuário mas pode ser utilizado para controle de acesso ao programa.

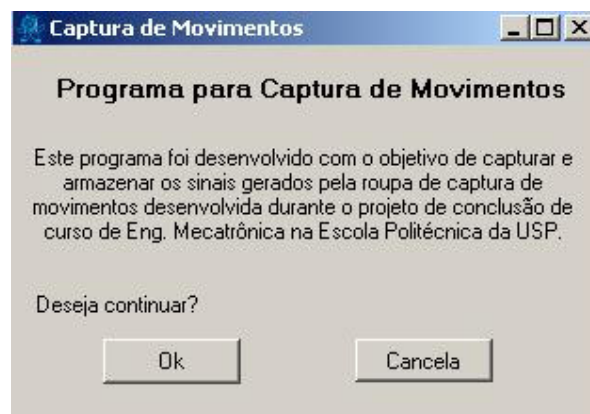


Figura 3.30 – VB: Formulário Principal

O segundo formulário (figura 3.31) é o formulário responsável pela captura em si, nele que toda a interface de captura é desenvolvida. A interface contém um seletor da porta de comunicação na qual o sistema de aquisição está ligado, nela o usuário pode escolher entre as opções de COM que deseja utilizar, através deste parâmetro que o programa saberá em qual porta será realizada a comunicação com o sistema de captura. Logo abaixo existe um campo no qual o usuário pode determinar qual o endereço e o nome do arquivo

no qual deseja salvar as informações. Este é um campo importante já que é necessário que o usuário saiba onde encontrar este arquivo para posterior utilização. Por padrão o programa já possui um endereço e nome de arquivo pré-selecionado no qual os dados são armazenados caso este campo não seja preenchido. Mais abaixo pode-se observar os botões de controle que basicamente iniciam e pausam a captura das informações. Como o sistema tem como finalidade expandir a utilização dos sistemas de captura de movimento através de uma tecnologia barata é fundamental que seja possível iniciar e interromper a captura em determinados momentos sem a necessidade de refazer o processo e gerar um novo arquivo para armazenar as informações. Esta funcionalidade gera versatilidade ao mecanismo e possibilita que seja utilizado com maior amplitude e conforto. Além disso, existe um botão de ajuda que leva ao formulário de ajuda, um botão de saída, que fecha o programa e um botão para leitura das informações geradas. Este botão serve para mostrar ao usuário as informações capturadas, para um usuário leigo será apenas um monte de números sem muito sentido mas de toda forma é uma maneira de verificar o bom funcionamento da aquisição realizada, já para um usuário mais familiarizado com os conceitos aqui apresentados é possível entender estes números como informações de movimentos e verificar a consistência dos dados captados de acordo com os movimentos realizados.

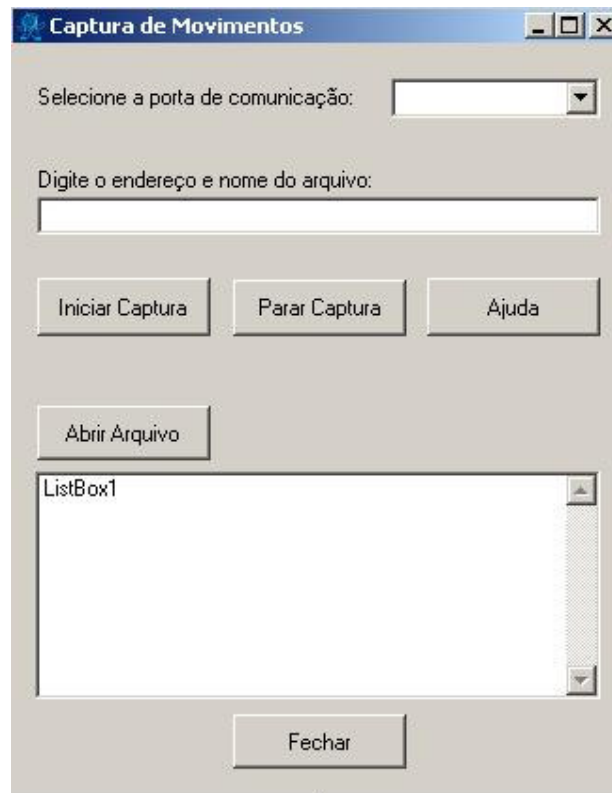


Figura 3.31 – VB: Formulário (2) de Captura

O formulário três (figura 3.32), que é acionado através da tecla de ajuda, simplesmente explica passo a passo o funcionamento do programa desenvolvido. Dessa forma mesmo uma pessoa que nunca tenha tido contato com o programa e com o equipamento pode utilizar sistema.

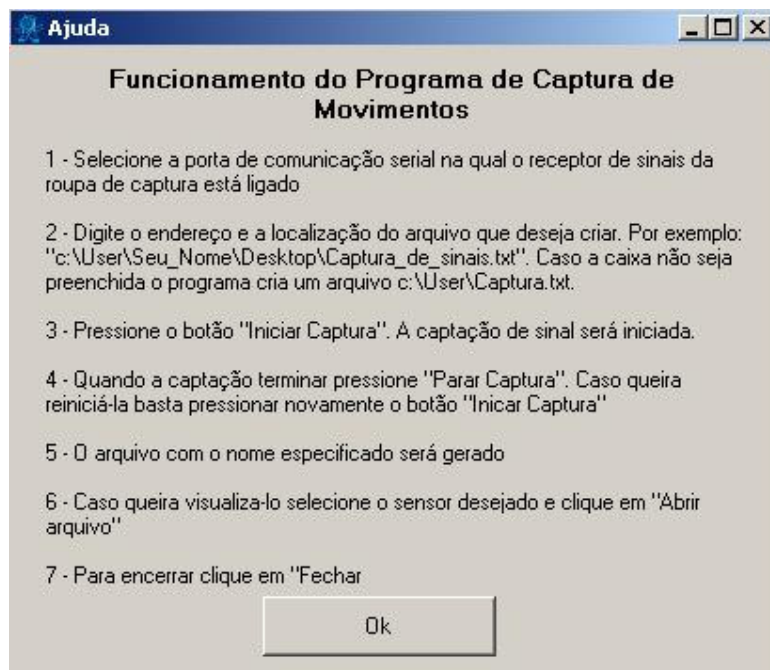


Figura 3.32 – VB: Formulário (3) de Ajuda

O programa em si (anexo 6.3) não possui nenhuma particularidade que não seja corriqueira nos programas executados em Visual Basic. O programa inteiro é baseado em funções e classes já definidas na linguagem, através das quais o programa trata eventos como o clique nos botões citados. A única particularidade do programa é que a parte do programa que realiza efetivamente a captura do sinal roda em modo “background”, ou seja, esta função do programa roda separadamente do resto do programa. Isto é necessário para que o programa consiga captar o clique no botão de pausa. Como a leitura da porta serial tem de ser feita através de um loop infinito, é necessário estabelecer um critério para saída do loop que no caso é o clique no botão de pausa, no entanto, este clique só pode ser tratado como um evento separado e não pode ser verificado diretamente dentro da função de captura. A forma encontrada de resolver este problema foi deixar a função de captura rodando em background enquanto o resto do programa funciona normalmente. Dentro do loop de captura existe uma condição inicial que verifica uma flag que é acionada apenas quando o botão de pausa é

pressionado, dessa forma garante-se a integridade do programa e possibilita-se a pausa e continuação da captura.

A cada pausa o programa insere um caractere especial nos dados capturados para sinalizar que houve um cancelamento, isso possibilita que diferentes movimentos sejam rastreados executando-se o programa apenas uma vez, e indica para o animador a desruptura do movimento em questão.

Para a leitura da porta serial foi utilizada o item já presente no Visual Basic para leitura de porta serial que é o componente Mscomm, este componente habilita uma série de funções para captura de sinais. Isso facilita em muito nossa programação, não sendo necessária a leitura da porta em nível mais básico o que podia gerar dificuldades adicionais ao trabalho. Com o uso destas funções, para ser realizada a leitura da porta serial basta configurar a porta desejada com sua taxa de transmissão (baud rate), número de bits de informação e a presença ou não de paridade, depois é aberta a porta em questão e realizada sua leitura, sempre se lembrando de fechar a porta no final da leitura.

Ao capturar o sinal pela porta serial o programa apenas separa a informação enviada de acordo com o protocolo de comunicação especificado, separando as informações no arquivo através de um caractere especial. Ao final de uma palavra captada o programa insere um caractere de final de linha, que simboliza um novo ponto no tempo para cada um dos sensores utilizados.

3.4.2 – Interface Gráfica

O ponto culminante do trabalho é a simulação no computador dos movimentos capturados através da parte elétrica e mecânica, para isso utilizou-se um avatar, que nada mais é que um personagem virtual animado via computador. Atualmente os avatares têm diversas finalidades como representarem pessoas reais em ambientes virtuais como o Second Life, são utilizados em jogos, em estudos de movimentos, entre outros. Um dos objetivos do trabalho é conseguir simular de forma simples, porém robusta os movimentos capturados anteriormente.

Existem diversos softwares disponíveis para fazer este tipo de manipulação, alguns com recursos profissionais, outros com recursos mais limitados. Para a nossa simulação adotou-se o Blender, da Blender Foundation. Este programa foi escolhido por ser um software livre e com ferramentas de simulação muito poderosas. O Blender é um software multiplataforma, extremamente poderoso para modelagem tridimensional (3D), com recursos comparáveis aos dos softwares proprietários similares, mas com a vantagem de ser um software livre e estar disponível para download gratuito na internet. O Blender implementa ferramentas similares às de outros programas proprietários, que incluem avançadas ferramentas de simulação, tais como: dinâmicas de corpo rígido (rigid body dynamics), dinâmicas de fluido (fluid dynamics), e dinâmicas de corpo macio (soft body dynamics); avançadas ferramentas de modelagem; ferramentas de animação de personagens e sistema de materiais baseados em “nós” (Node Materials).

Outra vantagem do programa escolhido é a grande variedade de modelos virtuais prontos disponíveis para download no site da própria Blender Foundation. Os modelos são criados pelos próprios usuários e disponibilizados pelos mantenedores do projeto. Através de uma busca rápida na internet é possível encontrar modelos virtuais que vão desde modelos de móveis e carros, até a criação de modelos de seres humanos de todas as formas. Como não faz parte do escopo deste projeto construir um modelo virtual optou-se por utilizarmos um modelo virtual disponível na internet.

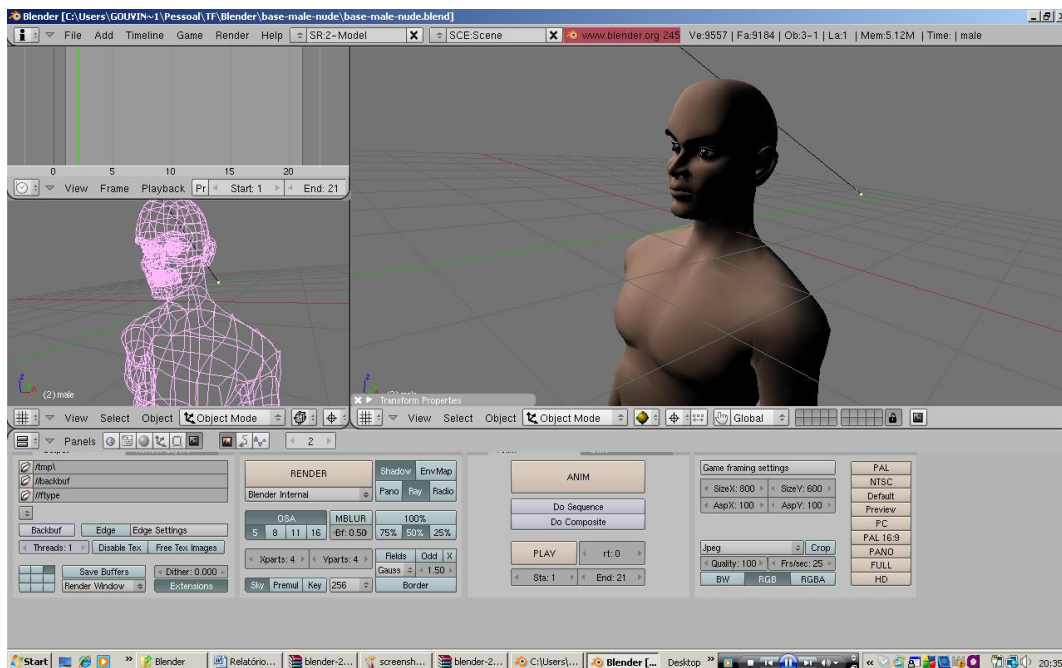


Figura 3.33 – Modelo 3D

A animação propriamente dita é feita através da criação de “armaduras” e “ossos”. As armaduras nada mais são do que um conjunto de pontos e segmentos que interligam estes pontos, formando dessa forma uma superfície tridimensional. Já os ossos são estruturas virtuais separadas que são relacionados com uma série de pontos da armadura. Cada osso é atrelado a diferentes pontos do modelo de forma que ao mover um osso os pontos atrelados a ele se movem automaticamente facilitando em muito o trabalho de simulação. A junção de diversos ossos forma um esqueleto virtual muito próximo dos esqueletos reais de forma que os ossos se movimentam relativamente um em relação ao outro e é possível movê-los individualmente. Com todas estas funcionalidades é possível criar um esqueleto virtual atrelado a diferentes pontos do modelo de forma que ao mover um dos ossos os pontos se movem juntamente com este criando uma sensação de movimento muito próxima da realidade

Para animar o modelo virtual escolhido basta através de algumas técnicas básicas de simulação. Existem algumas configurações básicas que devem ser feitas inicialmente como a definição do número de frames por segundo, o formato do arquivo desejado e o posicionamento da câmera. Feito

isso a animação consiste em uma movimentação ponto a ponto, ou seja, através dos dados é gerado um arquivo no qual são descritas todas as posições e orientações de cada uma das juntas. Através da importação deste arquivo em um formato .bvh o Blender realiza a simulação do movimento capturado.

Como resultado, tem-se um modelo animado muito próximo da realidade que imita o movimento do utilizador do sistema de captação.

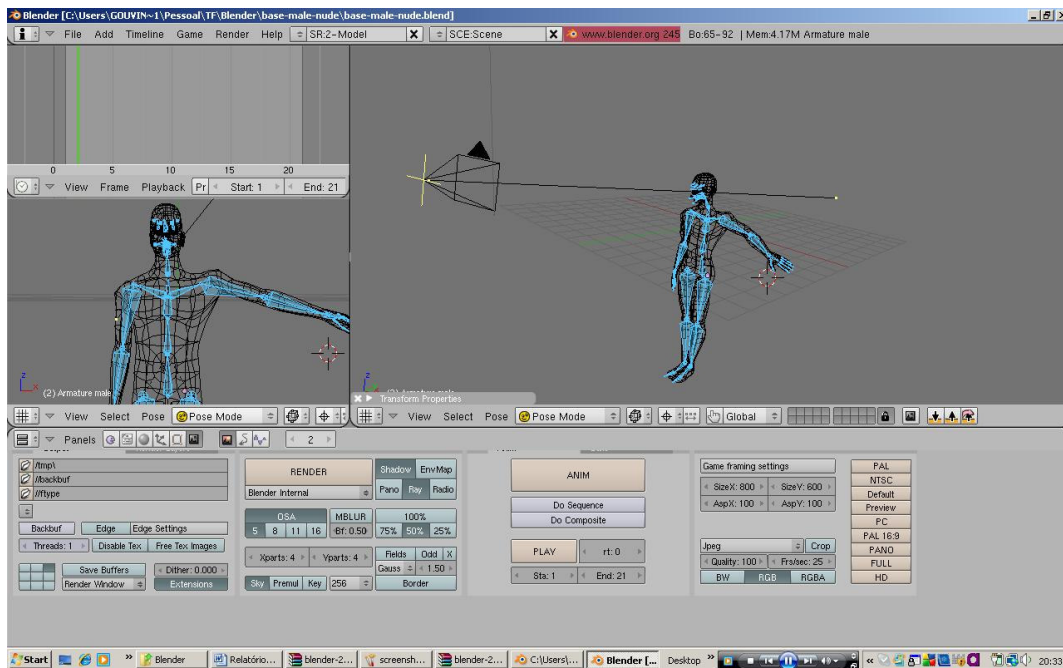


Figura 3.34 – Detalhamento da estrutura superfície + Bones

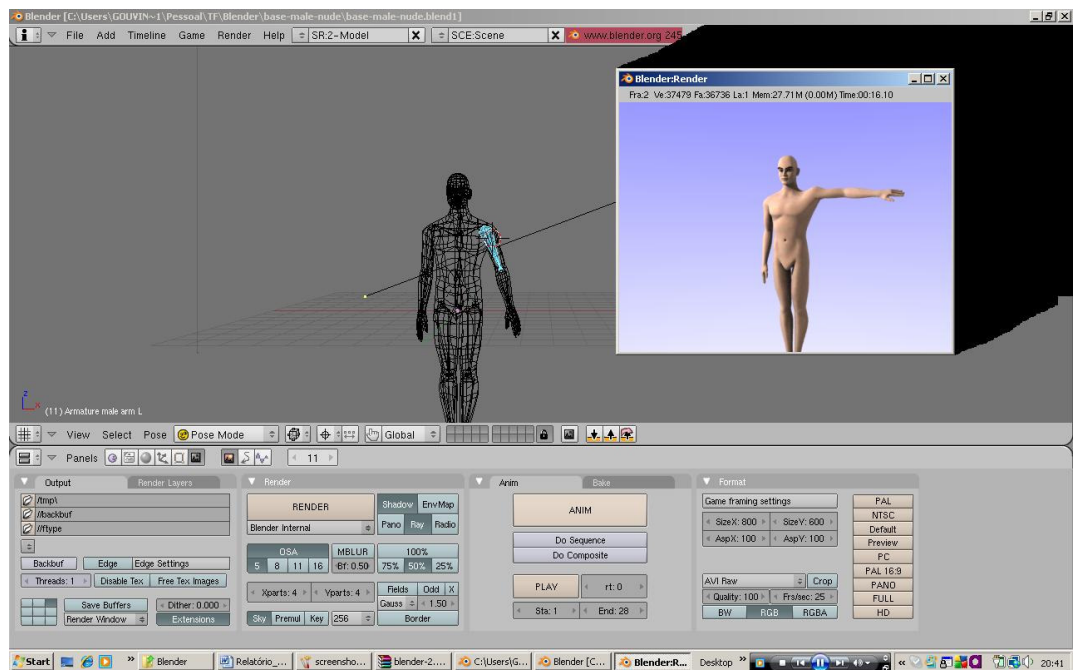


Figura 3.35 - Renderização

5 CONCLUSÃO

Em suma, pode-se observar claramente que este projeto está totalmente alinhado com as expectativas do curso, visto o seu vasto conteúdo multidisciplinar. Através do aprofundamento de conceitos vistos em aulas, o projeto permitiu um conhecimento muito mais prático e muito mais próximo do real com diversas complicações antes não perceptivas.

Uma das principais premissas do projeto é o baixo investimento material, através da utilização de componentes mais comuns, ou seja, de baixo valor agregado. Esta premissa é mais um fator desafiante visto que geralmente produtos de automação possuem um altíssimo custo.

Os resultados apresentados foram satisfatórios e estão de acordo com o esperado, dado que o principal objetivo era o da captação de diferentes sinais que refletem os movimentos das articulações. Neste quesito a qualidade e a resolução do sinal captado foi um ponto surpreendente, devido a baixa frequência do sinal captado era de se esperar que o sinal captado tivesse muito ruído o que não ocorreu e com isso consegue-se uma resolução de 3°, o que é suficiente para os objetivos do trabalho.

O trabalho aqui apresentado ainda pode ser amplamente expandido, como próximos passos sugere-se a ampliação do número de juntas e do número de movimentos captados o que traria mais realismo ao movimento captado e a simulação, o desenvolvimento de um sistema para integração automática entre os dados capturados e o modelo virtual que pouparia tempo dos desenvolvedores de animação e minimizaria o conhecimento necessário para a utilização do sistema e por fim a simulação em tempo real que ampliaria a gama de utilizações do sistema podendo ser utilizado em sistemas interativos de diversão.

6 ANEXOS

6.1 – Código dos PIC's Secundários

```
//*****//  
//*****Trabalho de Conclusao de Curso*****//  
//*****Aquisição de Sinais e Manipulacao de Avatar*****//  
//André Dinis Gouvinnhas NUSP 5178492 //  
//Jonatas Franchi Fantasia NUSP 5174226 //  
//Programa: Conversor AD -> serial PIC Versão:2.0 //  
//O programa visa implementar em um PIC 16F870 um programa//  
//que capte um sinal analógico através de uma das portas, //  
//faça a conversão do sinal para digital e envie como //  
//saída os dados em formato serial RS 232 //  
  
#INCLUDE <16f870.h> //Inclui as configuracoes do PIC utilizado  
#DEVICE adc=8 // Configura o compilador para conversor A/D de 10 bits  
#USE delay(clock=4000000) //Configura o clock interno  
#FUSES NOWDT, PUT //WachDog desligado e com PowerUP  
#USE rs232 (BAUD = 9600, XMIT = pin_C6, RCV = pin_C7, BITS = 8 )  
//funcao para definir o protocolo de transmissão serial RS 232  
  
main()  
{  
    unsigned long int valor;  
    setup_ADC_ports (RA0_analog); //Configuracao da porta de entrada  
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL ); //Configuração do conversor AD  
    set_adc_channel(0); //Configuração do conversor AD
```

```

while (true)                //Loop infinito
{
    valor = read_adc();      // efetua a conversão A/D e armazena na variavel valor

    printf("%Lu,", valor);   //"Imprime" o valor da variavel na saída serial
    delay_ms(250);          // aguarda 250 ms Tempo para nova captura
}
}

```

6.2 – Código do PIC Primário

```

//*****//
//*****Trabalho de Conclusao de Curso*****//
//****Aquisição de Sinais e Manipulacao de Avatar*****//
//André Dinis Gouvinhas NUSP 5178492          //
//Jonatas Franchi Fantasia NUSP 5174226        //
//Programa: Seletor e postador de sinais  Versão:1.8  //
//O programa visa implementar em um PIC 16F870 um    //
//programa que capte um sinal serial proveniente de    //
//outros PICs e envia-los para um emissor RF. Para isto  //
//faz a seleção do sinal através de um multiplexador    //
//externo e concatena a informação com o endereço do sinal//
//*****//

#include <16f870.h>          //Inclui as configuracoes do PIC utilizado
#define delay(clock=4000000) //Frequencia do clock interno
#define FUSES NOWDT, PUT    //WachDog desligado e com PowerUP

```

```
#USE rs232 (BAUD = 9600, XMIT = pin_C6, RCV = pin_C7, BITS = 8 )
```

```
//funcao para definir o protocolo de transmissão serial RS 232
```

```
#define ENDERA PIN_A0 //
```

```
#define ENDERB PIN_A1 //
```

```
#define ENDERC PIN_A2 //
```

```
#define ENDERD PIN_A3 //
```

```
//-----
```

```
// CONFIGURAÇÃO DOS REGISTRADORES DE CONTROLE
```

```
//-----
```

```
#use fixed_io(a_outputs=ENDERA, ENDERB, ENDERC, ENDERD)
```

```
main()
```

```
{
```

```
    unsigned long int recebe;
```

```
    unsigned long int envia;
```

```
    while (true)                //Loop infinito (fica lendo os sensores)
```

```
    {
```

```
        Output_low(ENDERA);      //Envia Endereço do sensor 1
```

```
        Output_low(ENDERB);
```

```
        Output_low(ENDERC);
```

```
        Output_low(ENDERD);
```

```
        recebe = getc();          //capta valor da porta serial
```

```
envia = 0F & recebw;          //Concatena a "palavra" 0f com a info do sensor 1
```

```
Output_low(ENDERA);           //Envia Endereço do sensor 2
```

```
Output_low(ENDERB);
```

```
Output_low(ENDERC);
```

```
Output_high(ENDERD);
```

```
recebe = getc();              //capta valor da porta serial
```

```
envia = envia & recebe;       //Concatena anterior com a info do sensor 2
```

```
Output_low(ENDERA);           //Envia Endereço do sensor 3
```

```
Output_low(ENDERB);
```

```
Output_high(ENDERC);
```

```
Output_low(ENDERD);
```

```
recebe = getc();              //capta valor da porta serial
```

```
envia = envia & recebe;       //Concatena anterior com a info do sensor 3
```

```
Output_low(ENDERA);           //Envia Endereço do sensor 4
```

```
Output_low(ENDERB);
```

```
Output_high(ENDERC);
```

```
Output_high(ENDERD);
```

```
recebe = getc();              //capta valor da porta serial
```

```
envia = envia & recebe;       //Concatena anterior com a info do sensor 4
```

```
Output_low(ENDERA);           //Envia Endereço do sensor 5
```

```
Output_high(ENDERB);
```

```
Output_low(ENDERC);
```

```
Output_low(ENDERD);
```

```
recebe = getc();              //capta valor da porta serial
```

```
envia = envia & recebe;      //Concatena anterior com a info do sensor 5
```

```
Output_low(ENDERA);          //Envia Endereço do sensor 6
```

```
Output_high(ENDERB);
```

```
Output_low(ENDERC);
```

```
Output_high(ENDERD);
```

```
recebe = getc();             //capta valor da porta serial
```

```
envia = envia & recebe;      //Concatena anterior com a info do sensor 6
```

```
Output_low(ENDERA);          //Envia Endereço do sensor 7
```

```
Output_high(ENDERB);
```

```
Output_high(ENDERC);
```

```
Output_low(ENDERD);
```

```
recebe = getc();             //capta valor da porta serial
```

```
envia = envia & recebe;      //Concatena anterior com a info do sensor 7
```

```
Output_low(ENDERA);          //Envia Endereço do sensor 8
```

```
Output_high(ENDERB);
```

```
Output_high(ENDERC);
```

```
Output_high(ENDERD);
```

```
recebe = getc();             //capta valor da porta serial
```

```
envia = envia & recebe;      //Concatena anterior com a info do sensor 8
```

```
Output_high(ENDERA);          //Envia Endereço do sensor 9
```

```
Output_low(ENDERB);
```

```
Output_low(ENDERC);
```

```
Output_low(ENDERD);
```

```
recebe = getc();             //capta valor da porta serial
```

```

envia = envia & recebe;      //Concatena anterior com a info do sensor 9

Output_high(ENDERA);        //Envia Endereço do sensor 10
Output_low(ENDERB);
Output_low(ENDERC);
Output_high(ENDERD);
recebe = getc();             //capta valor da porta serial
envia = envia & recebe;      //Concatena anterior com a info do sensor 10

Output_high(ENDERA);        //Envia Endereço do sensor 11
Output_low(ENDERB);
Output_high(ENDERC);
Output_low(ENDERD);
recebe = getc();             //capta valor da porta serial
envia = envia & recebe;      //Concatena anterior com a info do sensor 11

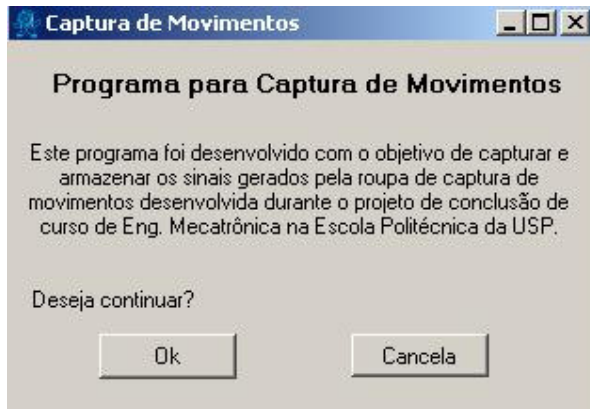
Output_high(ENDERA);        //Envia Endereço do sensor 12
Output_low(ENDERB);
Output_high(ENDERC);
Output_high(ENDERD);
recebe = getc();             //capta valor da porta serial
envia = envia & recebe;      //Concatena anterior com a info do sensor 12
printf("%Lu,", envia);       //"Imprime" o valor da variavel na saída serial
delay_ms(10);                // aguarda 10 ms, tempo para nova captura

}

}

```

6.3 - Programa em Visual BASIC



```
Public Class Form1

    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Button1.Click
        Dim abc As Form2
        abc = New Form2()
        Hide()
        abc.Show()
    End Sub

    Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Button2.Click
        Close()
    End Sub
End Class
```

```

Public Class Form2
    Dim cancela As Integer = 1
    Dim comuni As String
    Dim com As String

    Private Sub Form2_Load(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Me.Load
        With Me.ComboBox1.Items
            .Add("COM1")
            .Add("COM2")
            .Add("COM3")
            .Add("COM4")
            .Add("COM5")
        End With
    End Sub

    Private Function captura()
        Dim Path As String
        Dim Ender As String
        Dim info As String
        Dim buf(30) As Char
        Dim escreve As String
        Dim meshes As Integer = 0
        Dim aux As String
        Dim aux2 As Integer
        Dim aux3 As Double
        Dim aux4 As String
        Dim escreve2 As String
    
```

```

SerialPort1.BaudRate = 9600
SerialPort1.DataBits = 8
SerialPort1.Parity = IO.Ports.Parity.None
SerialPort1.StopBits = IO.Ports.StopBits.One
SerialPort1.PortName = com
SerialPort1.Open()

While cancela = 0

    Path = "C:\users\gouvinhas\desktop\captura.txt"
    Ender = TextBox1.Text

    info = SerialPort1.ReadExisting()
    System.Threading.Thread.Sleep(50)
    aux = Mid(info, 1, 4)
    'aux2 = Mid(info, 2, 1)
    'aux3 = Mid(info, 3, 1)
    'aux4 = Mid(info, 4, 1)
    'IsNumeric(aux)

    If IsNumeric(aux) = True Then
        aux2 = CInt(aux)
        aux2 = 180 - aux2
        aux3 = -(10 + 3.66 * (aux2 - 88))

        escreve = "8 100 -11 0 0 0 0 14 0 0 0 0 0 29 6 0 0 0 0
7 0 0 0 0 6 27 3 0 0 0 10 2 -1 0 0 0 3 -24 -1 0 0 0 1 -21 1 0 0 0 -6
27 4 0 0 0 -10 2 0 0 0 0 -3 -25 -1 0 " & aux3 & " 0 -1 -20 1 0 0 0 9 0
0 0 0 0 0 -51 3 0 0 0 0 -43 -3 0 0 0 -9 0 0 0 0 0 0 -51 3 0 0 0 0 -43
-3 0 0 0 " & vbCrLf

        If Ender <> "" Then
            My.Computer.FileSystem.WriteAllText(Ender, escreve,
True)
        Else
            My.Computer.FileSystem.WriteAllText(Path, escreve,
True)
        End If
    End If

End While
SerialPort1.Close()
End Function

Private Sub background(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.ComponentModel.DoWorkEventArgs) Handles
BackgroundWorker1.DoWork
    captura()
End Sub

Private Sub Button2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Button2.Click
    Form1.Close()
End Sub

```

```

Private Sub Button3_Click() Handles Button3.Click
    BackgroundWorker1.CancelAsync()
    cancela = 1
End Sub

Private Sub Iniciar_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Iniciar.Click
    cancela = 0
    comuni = CStr(ComboBox1.SelectedItem)
    If comuni = "COM1" Then
        com = "COM1"
    ElseIf comuni = "COM2" Then
        com = "COM2"
    ElseIf comuni = "COM3" Then
        com = "COM3"
    ElseIf comuni = "COM4" Then
        com = "COM4"
    ElseIf comuni = "COM5" Then
        com = "COM5"
    End If
    BackgroundWorker1.WorkerSupportsCancellation = True

    BackgroundWorker1.RunWorkerAsync()

End Sub

Private Sub Button5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Button5.Click
    Dim abc As Form3
    abc = New Form3()
    Hide()
    abc.Show()
End Sub

Private Sub Button4_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles Button4.Click

    Dim Nome As String = "C:\Users\Gouvinhas\Desktop\captura.txt"
    Dim MyReader As Microsoft.VisualBasic.FileIO.TextFieldParser
    Dim Ender As String = TextBox1.Text

    ListBox1.Items.Clear()

    If Ender <> "" Then
        MyReader =
My.Computer.FileSystem.OpenTextFieldParser(Ender)
        MyReader.SetDelimiters(";")
        Dim textFields As String() = MyReader.ReadFields()
        For Each currentField As String In textFields
            Me.ListBox1.Items.Add(currentField & vbCrLf)
        Next
        MyReader.Close()
    Else
        MyReader =
My.Computer.FileSystem.OpenTextFieldParser(Nome)
        MyReader.SetDelimiters(";")

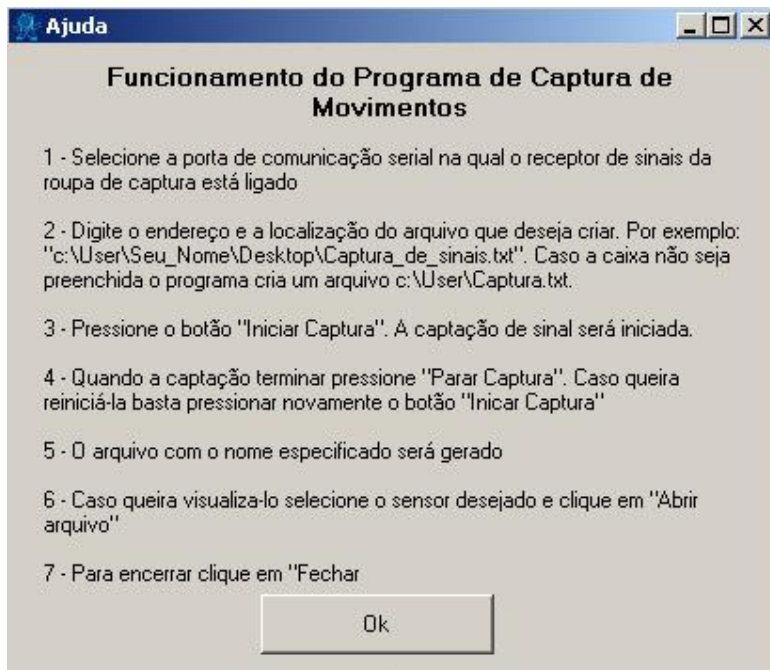
        Dim textFields As String() = MyReader.ReadFields()
        For Each currentField As String In textFields
            Me.ListBox1.Items.Add(currentField & vbCrLf)
        Next
    End If
End Sub

```

```
        Next
        MyReader.Close()
    End If

End Sub

Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs)
    MsgBox("Vc apertou")
End Sub
End Class
```



```
Public Class Form3
```

```
    Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e  
As System.EventArgs) Handles Button1.Click  
        Dim abc As Form2  
        abc = New Form2()  
        Hide()  
        abc.Show()  
    End Sub  
End Class
```

6.4 - Esquema Elétrico

6.4.1 - Aquisição do Sinal

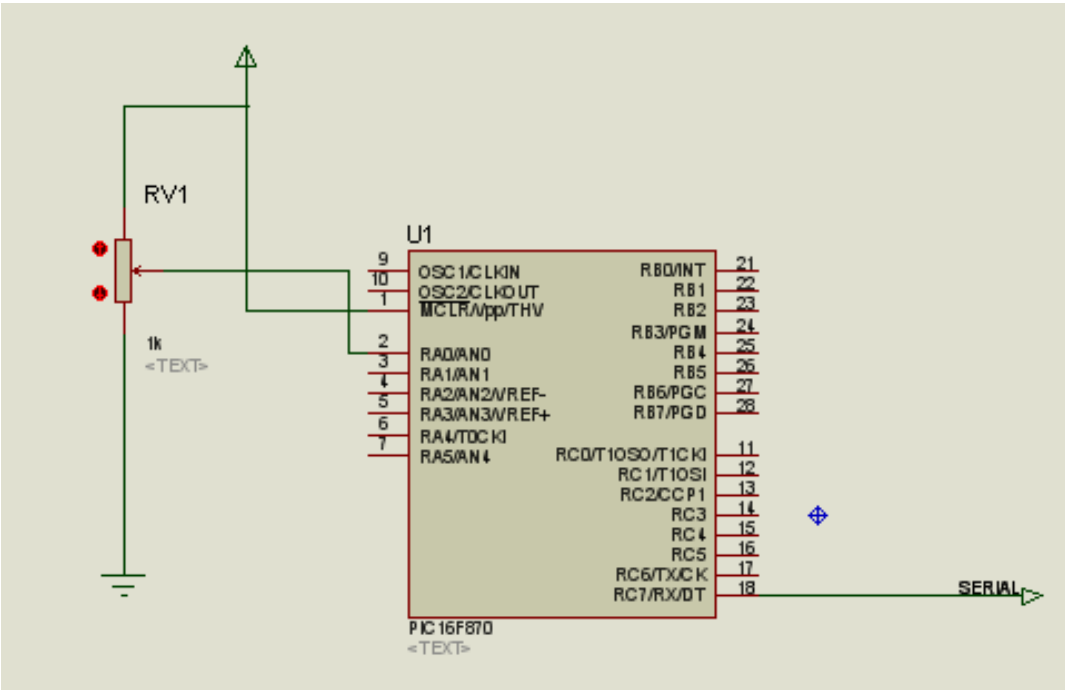


Figura 6.1 – Circuito de Aquisição de Sinais

6.4.2 – Processamento dos diversos sinais

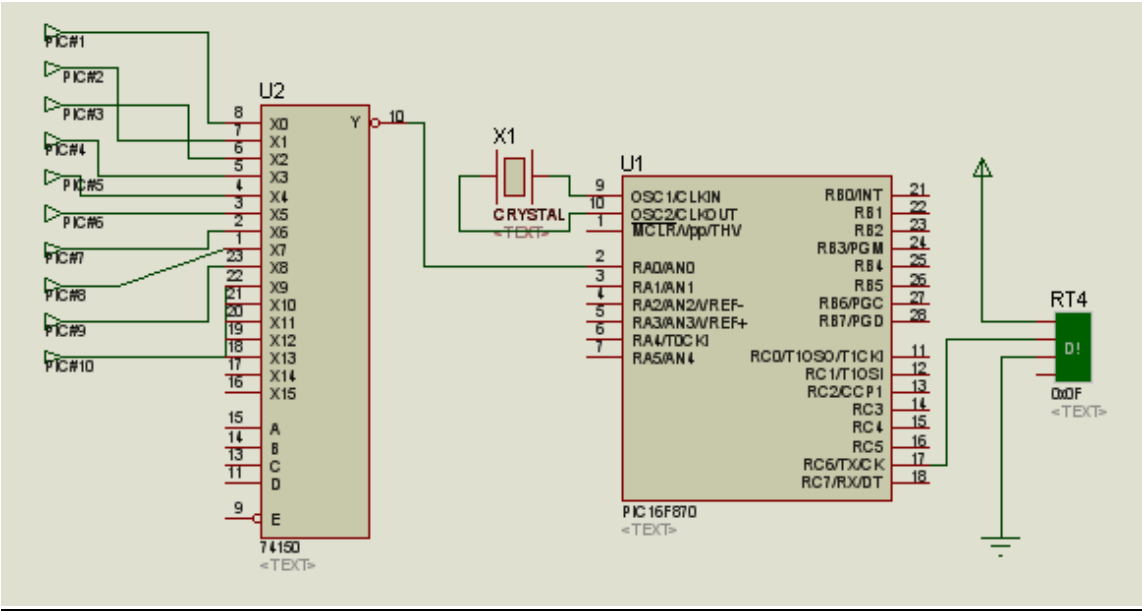


Figura 6.2 – Circuito de Processamento dos sinais

6.4.3 – Recepção do sinal Processado

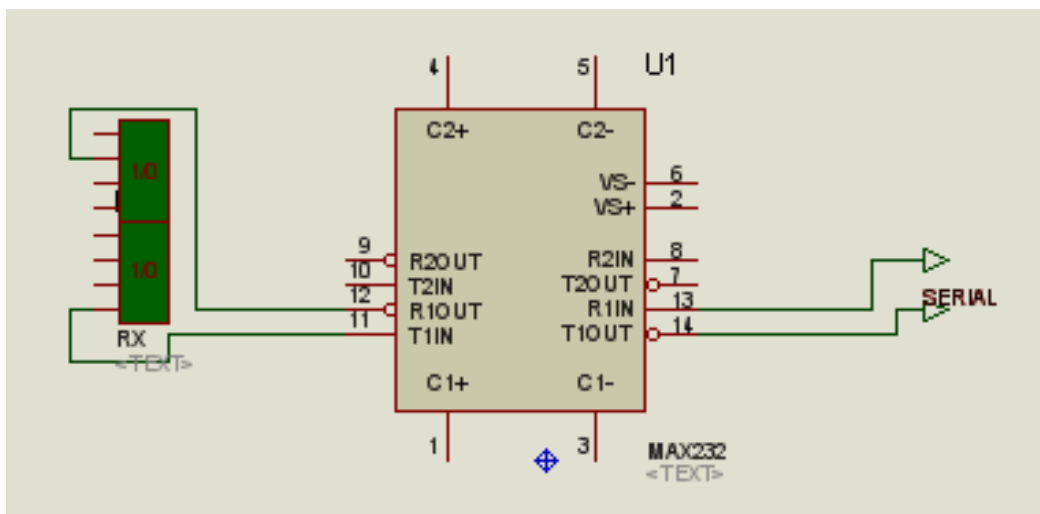


Figura 6.3 – Circuito de Recepção do sinal processado

6.5 – Fotos dos mecanismos acoplados



Figura 6.4 – Visão lateral da roupa sensorial



Figura 6.5 – Visão frontal da roupa sensorial



Figura 6.6 – Visão traseira da roupa sensorial

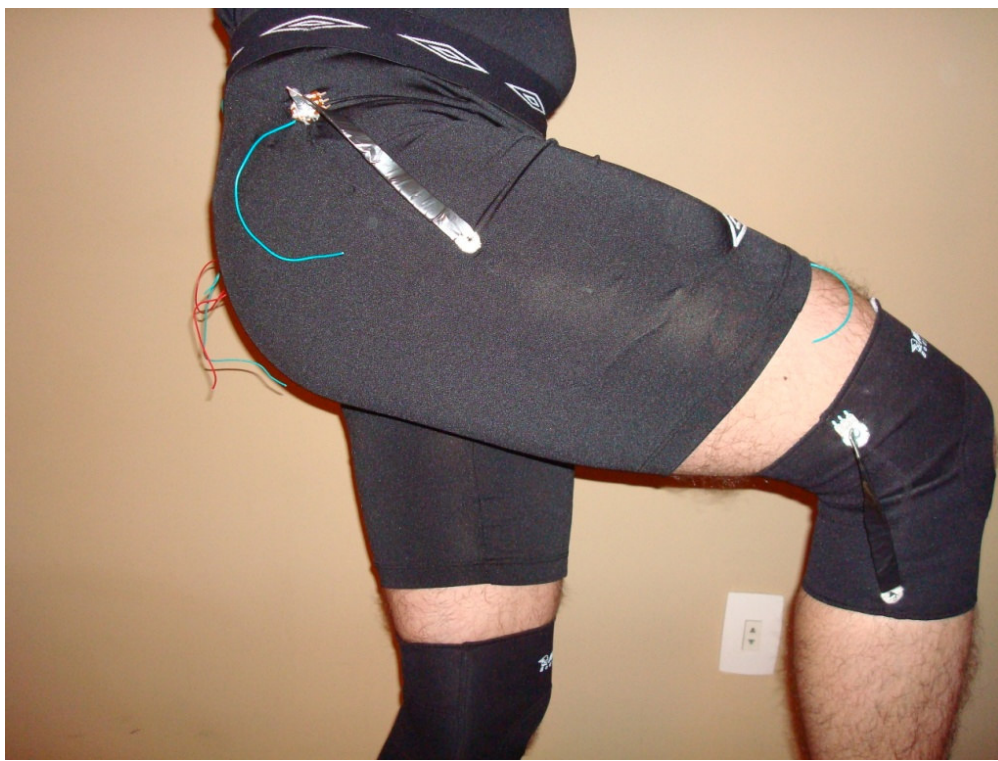


Figura 6.7 – Detalhe sensor quadril e perna



Figura 6.8 – Detalhe sensor punho

6.6 PLANO DE NEGÓCIOS PRELIMINAR

Durante o desenvolvimento do projeto constatou-se o interesse de diversas pessoas pelo sistema em desenvolvimento. Como um dos objetivos do projeto é criar um sistema de captura a custo acessível e que possa ser utilizado nas mais diferentes aplicações como animação, estudos de linguagem corporal e até mesmo sistemas de entretenimento, percebeu-se que existe um vasto mercado que sente falta de um sistema de captura de baixo custo. Pela escassez de concorrentes no mercado nacional, é possível enxergar no projeto desenvolvido a possibilidade de criação de um produto efetivo e até mesmo de uma empresa nacional que possa desenvolver e comercializar o produto a preço competitivo, propagando a tecnologia e ampliando a utilização de sistemas desse tipo no mercado nacional, podendo gerar a um custo sustentável um produto de qualidade que proporcione saltos qualitativos na produção nacional.

O projeto aqui especificado ainda não é um produto completo, mas já atende boa parte das aplicações para as quais pode ser utilizado. Estima-se que com mais seis meses de dedicação parcial seja possível ter um produto que atenda a requisitos mínimos para ser comercializado. Para a comercialização do produto seria necessária a ampliação do número de sensores utilizados para possibilitar a ampliação dos movimentos captados, como o da cabeça e o de rotação de algumas juntas. Seria interessante ainda, porém não essencial, a ampliação do escopo do projeto para captação e simulação em tempo real, bem como a captura de movimentos de locomoção, ou seja, a captação de movimentos em relação a coordenadas absolutas e não apenas rotativas. Analisando as possibilidades, é provável que seja possível fazer isto via software através de combinações estatísticas do movimento conjunto de diversos sensores, para isso seria necessário de aproximadamente um ano adicional de desenvolvimento.

Levando em conta todas as questões citadas, bem como a preocupação para que o projeto não seja apenas um artigo, mas que possa difundir a tecnologia ao mesmo tempo que seja viável economicamente desenvolveu-se um plano de negócios preliminar com o objetivo de verificar a viabilidade econômica do projeto como um produto propriamente dito.

Mercado e Demanda

O ponto inicial para a viabilidade do projeto como um produto é a análise do mercado e da demanda pelo produto criado. Com base nisso procurou-se desenvolver uma análise detalhada das características do mercado e de um comparativo entre o produto criado e os competidores existentes.

Caracterização do Mercado

Como o objetivo do trabalho é criar uma tecnologia que possa ser aproveitada no mercado nacional não pretende-se expandir a análise para fora do mercado nacional, mas a mesma escassez encontrada no mercado nacional deve ser percebida em outros países da América Latina, podendo o produto ser exportado no médio e longo prazo caso seja bem aceito no mercado nacional.

Baseados em pesquisas e na própria demanda das pessoas que nos procuraram durante a execução do projeto enxerga-se como potenciais consumidores do produto: estúdios de animação digital, profissionais de educação física ligados a esporte de alto desempenho, médicos veterinários especializados em eqüinos para equitação, pesquisadores sobre comportamento humano, mais especificamente sobre a linguagem corporal, pesquisadores de biomecânica, fisioterapeutas e desenvolvedores de equipamentos de entretenimento interativo. Nem todos os segmentos citados podem ser atendidos na fase inicial do projeto mas com pequenas alterações no produto podem ser atendidos facilmente dentro de pouco tempo. Um exemplo claro disso é um equipamento para ser utilizado em eqüinos, a única alteração a ser feita é mudança da posição dos sensores e a adaptação das roupas.

Competidores

Realizando uma análise detalhada do mercado interno pode-se perceber que não existem fornecedores locais para equipamentos de captura de movimentos, o fornecedor encontrado que fornece o produto mais próximo do desenvolvido neste trabalho fornece armaduras de metal para utilização na

técnica de stop motion já citada anteriormente, ou seja, uma técnica relativamente atrasada em relação as novas tendências mundiais em animação.

Pela escassez de produtos no mercado nacional, a única forma de conseguir equipamentos para captura e análise de movimentos é no mercado internacional, especialmente em países europeus e nos Estados Unidos, grande pólo mundial do setor de animação, movido principalmente pela indústria cinematográfica. Analisando-se as opções pode-se notar que existem produtos para todas as utilizações, desde aparelhos simples para pequenas animações, até aparelhos para animações cinematográficas. Segue abaixo um comparativo dos principais equipamentos encontrados.

Produto	Tipo	Preço	Cams	Points	Soft	Desvantagens
Foundation Motion 8	Óptico	U\$\$ 6.900	8	-	S	Baixa Resolução
Foundation Motion 12	Óptico	U\$\$ 12.440	12	-	S	Baixa Resolução
Gypsys Torso Wire	Mecânico (potenc)	U\$\$ 15.000	-	8	S	Captação de poucos pontos
Gypsys Full Body	Mecânico (potenc)	U\$\$ 32.000	-	17	S	Exoesqueleto
Gypsys Giro 18	Mecânico (inercial)	U\$\$ 79.000	-	18	S	Custo elevado
ReActor 2	Óptico	U\$\$ 88.000	18	-	S	Necessidade de espaço elevado
IMPULSE 4 cameras	Óptico	U\$\$ 29.950	4	-	N	Ofuscamento de pontos
IMPULSE 24 Cameras	Óptico	U\$\$ 123.950	24	-	S	Custo elevado e alta complexidade
Patriot Wireless	Magnético	U\$\$ 13.000	-	4	N	Poucos Pontos Captados

Tabela 6.1 – Comparativo equipamentos de captação

Baseado nos dados captados da tabela acima, pode-se verificar que os preços são extremamente elevados, isto sem contar os custos de importação e de transporte, além disso poucos produtos possuem a funcionalidade e o poder de captação que o sistema desenvolvido possuem. Outro ponto importante é que os produtos que possuem integração com software possuem um software próprio para animação o que faz com que seja necessário um treinamento adicional do animador, além disso, muitos destes programas não trazem ferramentas elaboradas de animação e não podem ser personalizados como o Blender. O Blender por ser um programa gratuito é bem difundido e muitos tutoriais de animação podem ser encontrados inclusive na internet. Pelos preços encontrados e por estimativas de custos logísticos é de se esperar que um produto similar ao desenvolvido custe entre R\$ 30.000 e R\$ 50.000.

Estimativa da Demanda

Segundo dados da ABCA (Associação Brasileira de Cinema de Animação) existem atualmente cerca de 300 profissionais ou estúdios que trabalham diretamente com animação digital no Brasil, levando em consideração que a maior parte dos estúdios não são registrados na associação, considera-se que devem haver cerca de 3000 estúdios e profissionais de animação atuando no Brasil, dentre os quais 10% podem ter interesse no produto.

Outro mercado potencial do produto são os profissionais da saúde ligados ao estudo de movimentos, dentre os quais pode-se citar os fisioterapeutas e ortopedistas. Em entrevistas com alguns destes profissionais constatou-se que a análise de movimentos corporais, principalmente de locomoção, possui um alto valor agregado para ser oferecido como serviço em clínicas e laboratórios de análise, especialmente junto a um público interessado em atividades físicas. Segundo dados da AFB (Associação de Fisioterapeutas do Brasil) existem hoje cerca 400 mil profissionais e segundo dados do Conselho Federal de Medicina existem cerca de 350 mil médicos ortopedistas, o que nos leva a um total de 750 mil profissionais que poderiam oferecer este serviço como um diferencial. Sabendo que a percepção de valor de um produto como este ocorre apenas em classes mais elevadas e que mesmo assim nem

todos os profissionais estariam dispostos a oferecer este serviço, considera-se razoável que apenas 0,25% dos profissionais tenham interesse pelo produto, o que gera um mercado adicional de aproximadamente 1900 equipamentos.

Além disso, existem os profissionais de educação física ligados a esportes de alto desempenho que poderiam utilizar este equipamento para desenvolvimento de treinos. Segundo dados do Comitê Olímpico Brasileiro existem hoje no Brasil cerca de 5000 atletas de alto desempenho com potencial olímpico, estimando uma penetração de apenas 10% devido a fatores técnicos e ao número de treinadores, se obtêm aproximadamente mais 500 potenciais compradores.

Para uma fase posterior do produto, com o desenvolvimento da utilização em esportes de eqüinos, estima-se que existam hoje no Brasil cerca de 4000 veterinários ligados a fisioterapia de eqüinos, o que representa cerca de 1% do total de veterinários existentes no Brasil segundo dados do Conselho Regional de Veterinária de São Paulo. Deste número estima-se uma penetração de 10% o que nos leva a mais 400 potenciais compradores.

Juntando todos os campos de atuação descritos estima-se que exista hoje no Brasil uma demanda potencial de cerca de 2700 equipamentos para captura de movimentos humanos, cerca de 400 para eqüinos e ainda um número de cerca de 500 pesquisadores que poderiam utilizar este equipamento em pesquisas.

Modelo de atuação

Como é possível notar pela caracterização do mercado, apesar da tecnologia empregada ser a mesma as utilizações são bem distintas o que exige certo grau de personalização do produto para as diferentes utilizações. Para atender corretamente as diferentes demandas optou-se pela segmentação da unidade de vendas em duas verticais, uma especializada em serviços de pesquisa e outra voltada para o mercado comercial. Como um dos objetivos do projeto é propagar a tecnologia e ampliar sua utilização, esta segmentação foi escolhida de forma que a vertical de pesquisa seja apenas auto-suficiente, ou seja, não necessariamente gere lucro com a operação mas

sim que apenas pague seus próprios custos, enquanto a vertical comercial seja a parte lucrativa da empresa, até porque esta será uma área que demandará um nível de personalização maior.

Como o público alvo está bem disperso, a melhor forma de divulgação seja um site na internet, atuando em conjunto com vendedores que ganhem comissão sobre os produtos vendidos, o que estimularia vendas no curto e médio prazo. Os vendedores precisarão de um nível de conhecimento técnico sobre o produto para que possam esclarecer dúvidas do cliente e ao mesmo tempo fazer a interação entre as necessidades do cliente e o próprio desenvolvimento de aplicações para o produto. Este modelo de vendas possui baixo custo direto o que torna a operação viável mesmo com escalas mais baixas, o que se acredita que seja a tendência no curto prazo, até que a aceitação do produto aumente.

Para a produção desenhou-se um modelo de produção puxado pelo nível de produtos, ou seja, não existirão estoques, o que faz sentido já que as aplicações são extremamente personalizadas e podem requerer algum nível de customização. Com isso consegue-se mais uma vez um custo fixo menor, já que não será necessária de mão de obra fixa, com exceção de um técnico para a montagem final do equipamento e um supervisor.

4.3 – Simulação Financeira

Baseado nos dados acima realizou-se uma simulação financeira do produto desenhado (pode ser vista em detalhes no anexo 6.6). Foi adotado como principais premissas a venda da totalidade dos produtos fabricados, sendo que são fabricados 4 kits por mês em uma estimativa conservadora. Além disso, estima-se um investimento inicial de cerca de R\$ 50 mil entre investimentos em equipamentos e capital de giro. Contabiliza-se que a partir do segundo semestre 10% das unidades vendidas são destinadas a equinos e que a partir do segundo ano dobra-se a produção com a contratação de um funcionário adicional. Além disso, foi estimado os custos mensais em aproximadamente R\$ 2 mil mais o custo de um gerente, uma secretária, um

segurança e um vendedor, totalizando mais R\$ 7304 mensais. Contabilizou-se ainda uma comissão de 5% do valor dos produtos vendidos.

Como o custo de material tem-se um total de R\$ 745, dentre os quais R\$ 260 são respectivos a parte mecânica (elementos de fixação como cotoveleiras, joelheiras, etc), R\$ 286 são relativos aos componentes elétricos, especialmente os PICs, e o restante equivale aos serviços prestados por terceiros e materiais adicionais do dia a dia.

Foi considerado como razoável comparativamente com os competidores um preço de venda com impostos de R\$ 6.500 para kits de captação de movimentos humanos, R\$ 9.000 para kits de captação de movimentos de eqüinos e de R\$ 3.000 para sistemas de captação para fins didáticos, sendo que 10% dos kits produzidos são destinados para este fim.

Baseado nas premissas citadas, foi obtido como resultado um pay back do investimento em apenas um ano e meio. A operação geraria um Ebitda (Earnings Before Interest Taxes, Depreciation and Amortization) positivo de quase R\$ 172 mil já no segundo ano, gerando um valor presente de R\$ 406 mil em cinco anos se considerarmos uma taxa de desconto de 12%, ou ainda, pode-se constatar uma TIR de quase 300%. Taxas tão altas de retorno tornam o negócio atraente e estão completamente dentro da demanda estimada o que torna o produto sustentável mesmo a um preço bem inferior ao praticado no mercado pelos concorrentes.

Nas condições citadas tem-se que o ponto de equilíbrio do Ebitda é por volta de R\$ 6.219 e o ponto de equilíbrio do lucro líquido é de R\$ 6.365. Isso nos mostra que os produtos vendidos para pesquisa possuem valor inferior ao custo de produção, o que é compensado pela venda de produtos de maior valor agregado como os equipamentos destinados a eqüinos.

SIMULATION VARIABLES

I REVENUES

Revenues	Half 1	Half 2	Year II	Year III	Year IV	Year V
Kits	20	18	78	78	78	78
Horses	0	2	10	10	10	10
Research Kits	4	4	8	8	8	8
Price (R\$)						
Kits	6.500,00	6.500,00	6.500,00	6.500,00	6.500,00	6.500,00
Horses	9.000,00	9.000,00	9.000,00	9.000,00	9.000,00	9.000,00
Research Kits	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00

II COSTS

Mechanical Part	R\$ 259,20	Others	R\$ 100,00	WACC	12%
Electrical Part	R\$ 285,70	Pieces	R\$ 30,00		
Interface	R\$ 20,00	Sewer	R\$ 50,00		

III CAPEX

Investment (R\$ 000)		Processing Capacity (Kits/day)				
Shed	3.000	0,20				
Equipaments	14.000					
Legal Requirements	4.000					
	Half 1	Half 2	Year II	Year III	Year IV	Year V
Plants (units)	1	1	2	2	2	2

IV OPERATIONS

Working days	240					
Horses/kits	0%	10%	10%	10%	10%	10%
Processing capacity	Half 1	Half 2	Year II	Year III	Year IV	Year V
Kits/day	0	0	0	0	0	0
Process Inefficiency	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Production						
Kits/day	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,4
Kits/month	4	4	4	4	4	4

Figura 6.9 – Simulação de Resultados 1

SIMULATION RESULTS

I P&L

.R\$000	Year I	Year II	Year III	Year IV	Year V
Gross Revenue	290.000	620.000	620.000	620.000	620.000
Kits	244.400	509.600	509.600	509.600	509.600
Horses	21.600	86.400	86.400	86.400	86.400
Taxes	21.170	45.260	45.260	45.260	45.260
Net Revenue	268.830	574.740	574.740	574.740	574.740
COGs	108.207	188.206	188.206	188.206	188.206
% Net Revenue	40%	33%	33%	33%	33%
Gross Margin	160.623	386.534	386.534	386.534	386.534
% Net Revenue	60%	67%	67%	67%	67%
OPEX	167.948	214.968	214.968	214.968	214.968
% Net Revenue	62%	37%	37%	37%	37%
Ebitda	(7.325)	171.566	171.566	171.566	171.566
% Net Revenue	(3%)	30%	30%	30%	30%
CAPEX	46.500	14.000	0	0	0
Net Profit	(59.858)	148.733	162.733	164.566	164.566
% Net Revenue	(22%)	26%	28%	29%	29%
Free Cash Flow	(53.825)	157.566	171.566	171.566	171.566
Accumulated Cash Flow	(53.825)	103.741	275.308	446.874	618.440
Accumulated DCF	(48.058)	77.553	199.670	308.704	406.055

II FINANCIAL INDICATORS

IRR	298%		
NPV	406.055	VIR	6,71
Pay Back	1,34		
Discounted Pay Back	1,38		

Figura 6.10 – Simulação de Resultados 2

I STAFF

Position	Income	Bonus	Taxes	Monthly Costs	Annual Costs
Machine Operator	R\$ 800,00	0	70%	R\$ 1.360,00	R\$ 16.320,00
External Seller	R\$ 2.000,00	2	70%	R\$ 3.400,00	R\$ 44.800,00
Secretary	R\$ 1.152,00	0	70%	R\$ 1.958,40	R\$ 23.500,80
Security	R\$ 1.152,00	0	70%	R\$ 1.958,40	R\$ 23.500,80
Production Supervisor	R\$ 1.200,00	0	70%	R\$ 2.040,00	R\$ 24.480,00
Manager	R\$ 3.000,00	2	70%	R\$ 5.100,00	R\$ 67.200,00

II Material

Type	Units	Unitary Value	Total Value
Segunda pele	1	54,9	54,9
Bermuda	1	34,9	34,9
Punho	2	24,9	49,8
Joelheira	2	17,9	35,8
Cotoveleira	2	29,9	59,8
Araldite e Durepox	1	24	24
MAX 232	1	4	4
Suporte Bateria	12	1,2	14,4
Bateria	14	1	14
Placa de cobre	14	2,3	32,2
PIC 16F870	14	10,8	151,2
Solda	1	4,4	4,4
Potenciometro	14	1,8	25,2
Outros	1	40,3	40,3

I CASH FLOW

	Year I	Year II	Year III	Year IV	Year V
1 EBIT	(59.858)	148.733	162.733	164.566	164.566
2 NOPLAT	(59.858)	148.733	162.733	164.566	164.566
3 DEPRECIACÃO E AMORTIZAÇÃO	6.033	8.833	8.833	7.000	7.000
4 CAPEX	(46.500)	(14.000)	0	0	0
Free Cash Flow	(53.825)	157.566	171.566	171.566	171.566
Present Value Cash Flow	(48.058)	125.611	122.117	109.033	97.351
Acumulated Cash Flow	(53.825)	103.741	275.308	446.874	618.440
Acum Present Value Cash Flow	(48.058)	77.553	199.670	308.704	406.055
Pay Back Year	0	1	0	0	0
Discounted Pay Back year	0	1	0	0	0
Pay Back months	0,00	0,34	0,00	0,00	0,00
Discounted Pay Back months	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00
Pay Back months	0,00	1,34	2,00	3,00	4,00
Discounted Pay Back months	0,00	1,38	2,00	3,00	4,00

II FINANCIAL INDICATORS

1 IRR	298%
2 NPV	406.055
3 Pay Back	1,34
4 Discounted Pay Back	1,38

Figura 6.11 – Simulação de Resultados 3

P&L		Year I	Year II	Year III	Year IV	Year V
1 Gross Revenue		290.000	620.000	620.000	620.000	620.000
Kits		244.400	509.600	509.600	509.600	509.600
Horses		21.600	86.400	86.400	86.400	86.400
Research Kits		24.000	24.000	24.000	24.000	24.000
2 Taxes		21.170	45.260	45.260	45.260	45.260
% Gross Revenue						
SIMPLES		21.170	45.260	45.260	45.260	45.260
IPI		0	0	0	0	0
PIS		0	0	0	0	0
COFINS		0	0	0	0	0
3 Net Revenue		268.830	574.740	574.740	574.740	574.740
4 COGS		108.207	188.206	188.206	188.206	188.206
% Net Revenue		40%	33%	33%	33%	33%
Costs of raw material		35.755	71.510	71.510	71.510	71.510
Comission	% net revenue	13.442	28.737	28.737	28.737	28.737
Freight	% net revenue	5.377	11.495	11.495	11.495	11.495
Consumption	Inicial Price	12.834	19.344	19.344	19.344	19.344
Power	300	3.240	6.480	6.480	6.480	6.480
Water	50	540	1.080	1.080	1.080	1.080
Cleaning	20	168	168	168	168	168
Maintenance	50	570	1.140	1.140	1.140	1.140
Securities	50	540	540	540	540	540
Rent	500	5.400	5.400	5.400	5.400	5.400
Others	200	2.160	4.320	4.320	4.320	4.320
IPTU	20	216	216	216	216	216
Staff	Annual Price	40.800	57.120	57.120	57.120	57.120
Machine Operator	16.320	16.320	32.640	32.640	32.640	32.640
Production Supervisor	24.480	24.480	24.480	24.480	24.480	24.480
Stock	% final price	0	0	0	0	0
5 Gross Margin		160.623	386.534	386.534	386.534	386.534
% Net Revenue		60%	67%	67%	67%	67%
6 OPEX		167.948	214.968	214.968	214.968	214.968
% Net Revenue		62%	37%	37%	37%	37%
Consumption	Inicial Price	2.946	5.166	5.166	5.166	5.166
Power	300	360	720	720	720	720
Water	50	60	120	120	120	120
Office Material	30	360	720	720	720	720
Cleaning	20	72	72	72	72	72
Maintance	50	30	30	30	30	30
Rent	500	600	600	600	600	600
Phone	100	1.200	2.400	2.400	2.400	2.400
Others	200	240	480	480	480	480
IPTU	20	24	24	24	24	24
Staff	Price	159.002	203.802	203.802	203.802	203.802
Seller	44.800	44.800	89.600	89.600	89.600	89.600
		1	2	2	2	2
Secretary	23.501	23.501	23.501	23.501	23.501	23.501
Security	23.501	23.501	23.501	23.501	23.501	23.501
Manager	67.200	67.200	67.200	67.200	67.200	67.200
Marketing	500	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Certifications		0	0	0	0	0
Consulting	0	0	0	0	0	0
Certification	0	0	0	0	0	0

Figura 6.12 – Demonstrativos Financeiros

7 EBITDA		(7.325)	171.566	171.566	171.566	171.566
% Net Revenue		(3%)	30%	30%	30%	30%
8 Capex		46.500	14.000	0	0	0
% Net Revenue		17%	2%	0%	0%	0%
Factory	Price (unit)	21.000	14.000	0	0	0
Shed	3.000	3.000	0	0	0	0
Equipaments	14.000	14.000	14.000	0	0	0
Legal Requirements	4.000	4.000	0	0	0	0
Vehicles acquisition		0	0	0	0	0
Car	20.000	0	0	0	0	0
Office structure	Price	5.500	0	0	0	0
Computers	1.500	1.500	0	0	0	0
Furniture	4.000	4.000	0	0	0	0
Working Capital	20.000	20.000	0	0	0	0
Others	0	0	0	0	0	0
9 Depreciation and Amortization		6.033	8.833	8.833	7.000	7.000
% Net Revenue		2%	2%	2%	1%	1%
Depreciation		6.033	8.833	8.833	7.000	7.000
Factory Structure		4.200	7.000	7.000	7.000	7.000
Office Structure		1.833	1.833	1.833	0	0
10 EBIT		(59.858)	148.733	162.733	164.566	164.566
% Net Revenue		(22%)	26%	28%	29%	29%
11 Financials		0	0	0	0	0
% Net Revenue		0	0	0	0	0
12 EBT		(59.858)	148.733	162.733	164.566	164.566
% Net Revenue		(22%)	26%	28%	29%	29%
13 Taxes		0	0	0	0	0
% Net Revenue		0%	0%	0%	0%	0%
Income Taxes	SIMPLES	0	0	0	0	0
CSSL		0	0	0	0	0
14 Net Profit		(59.858)	148.733	162.733	164.566	164.566
% Net Revenue		(22%)	26%	28%	29%	29%

Figura 6.13 – Demonstrativos Financeiros (cont.)

6.6 Desenhos de Construção

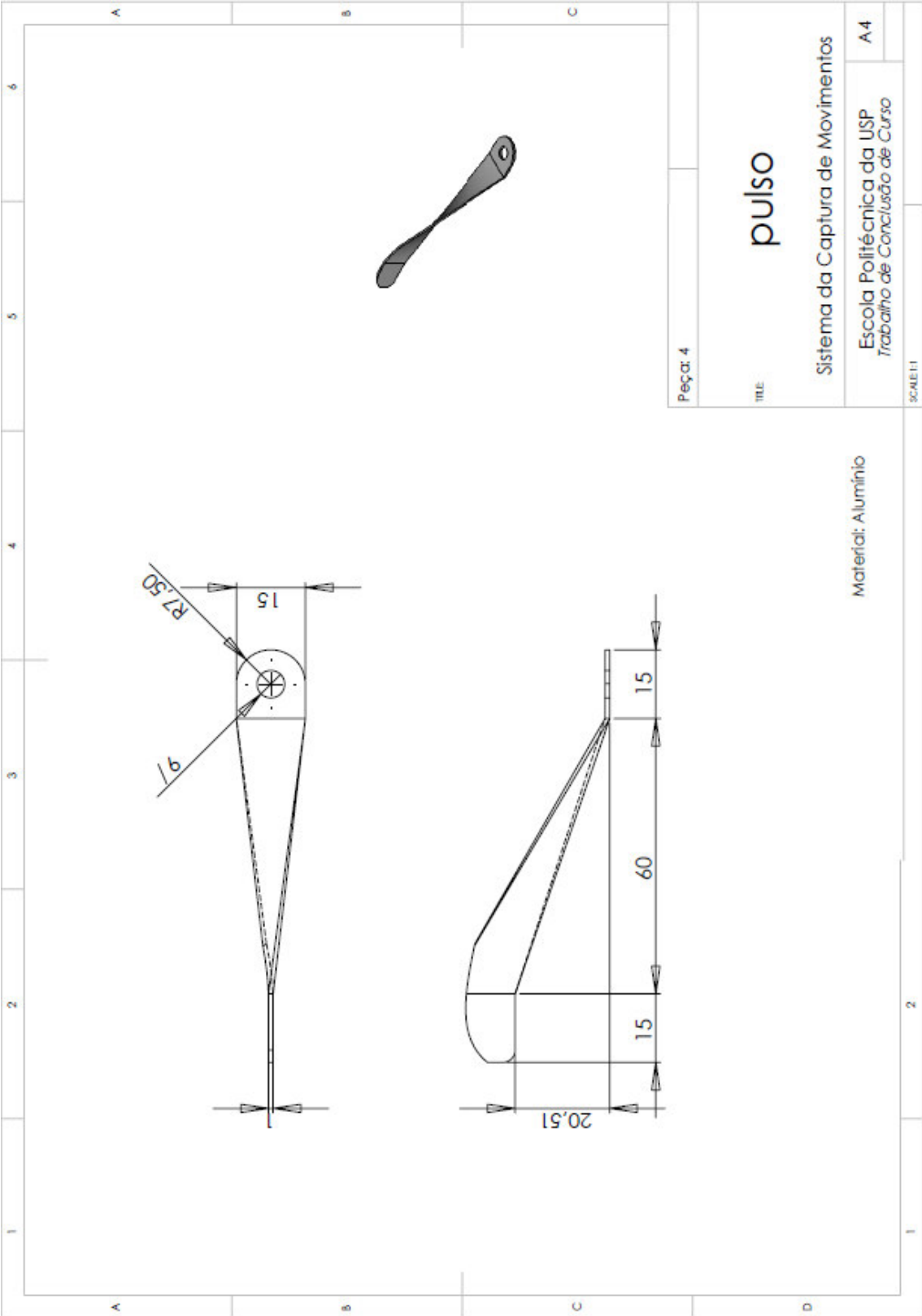


Figura 6.14 – Desenho Fabricação do Punho

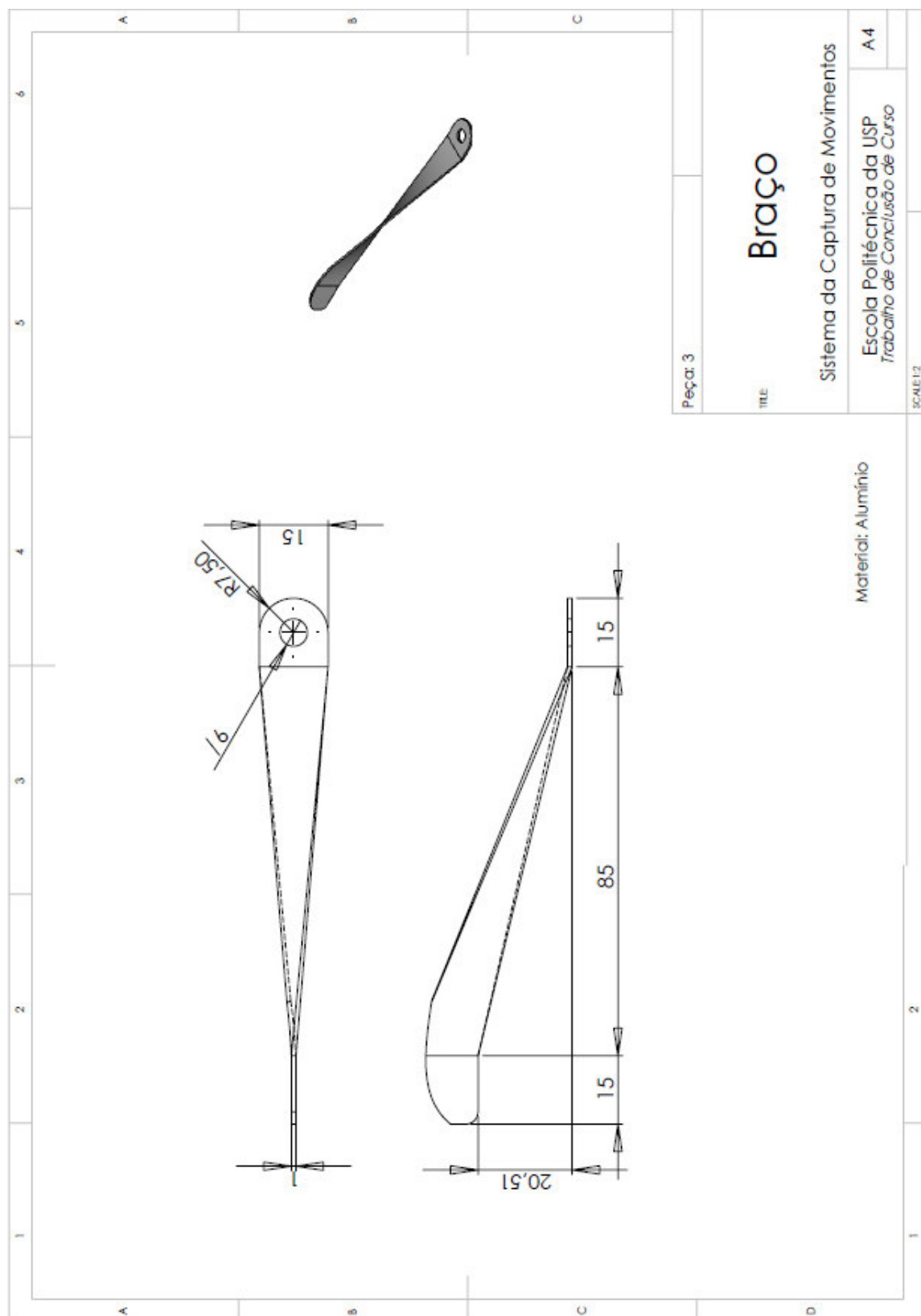


Figura 6.15 – Desenho Fabricação do Braço

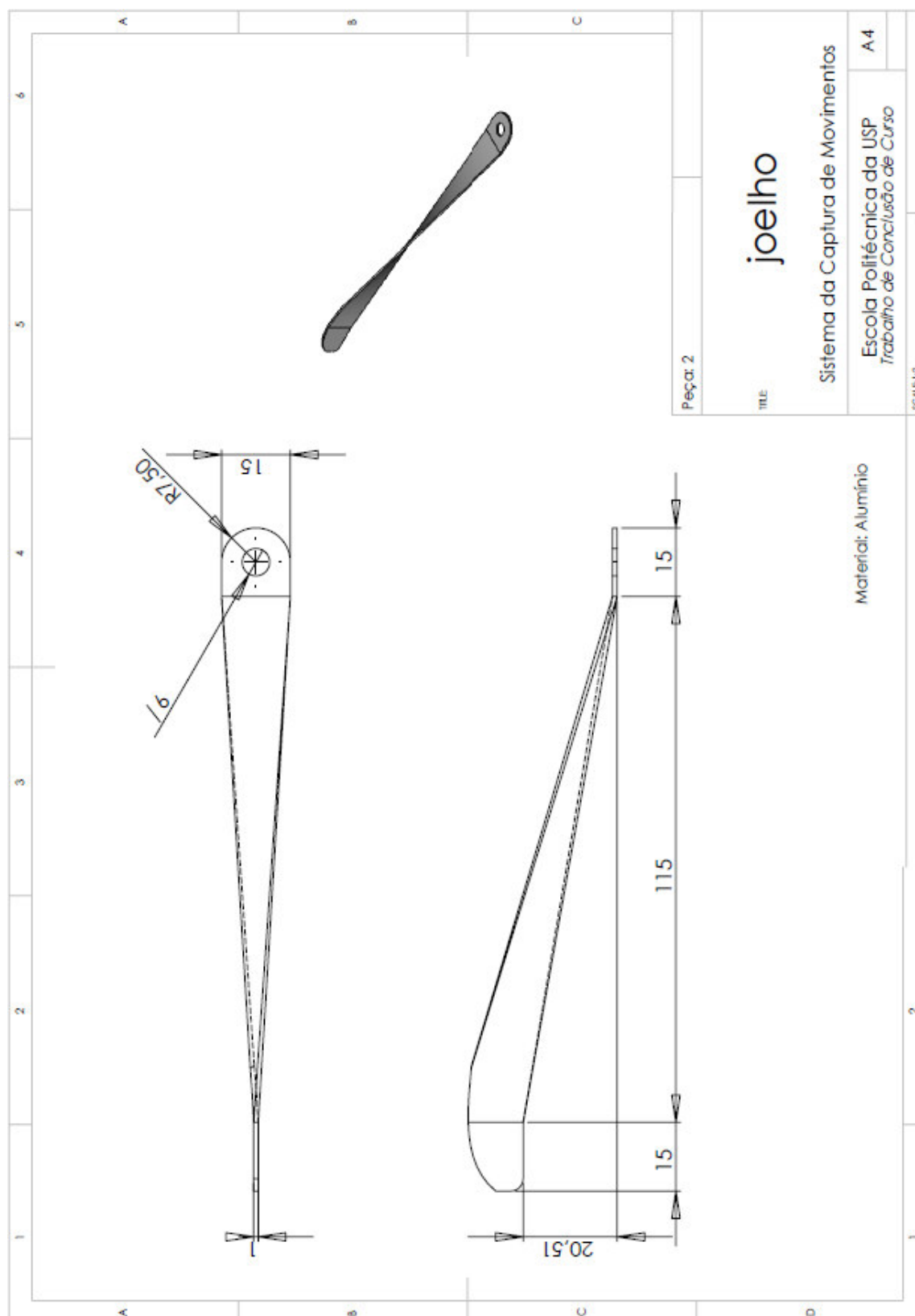


Figura 6.16 – Desenho Fabricação da Perna

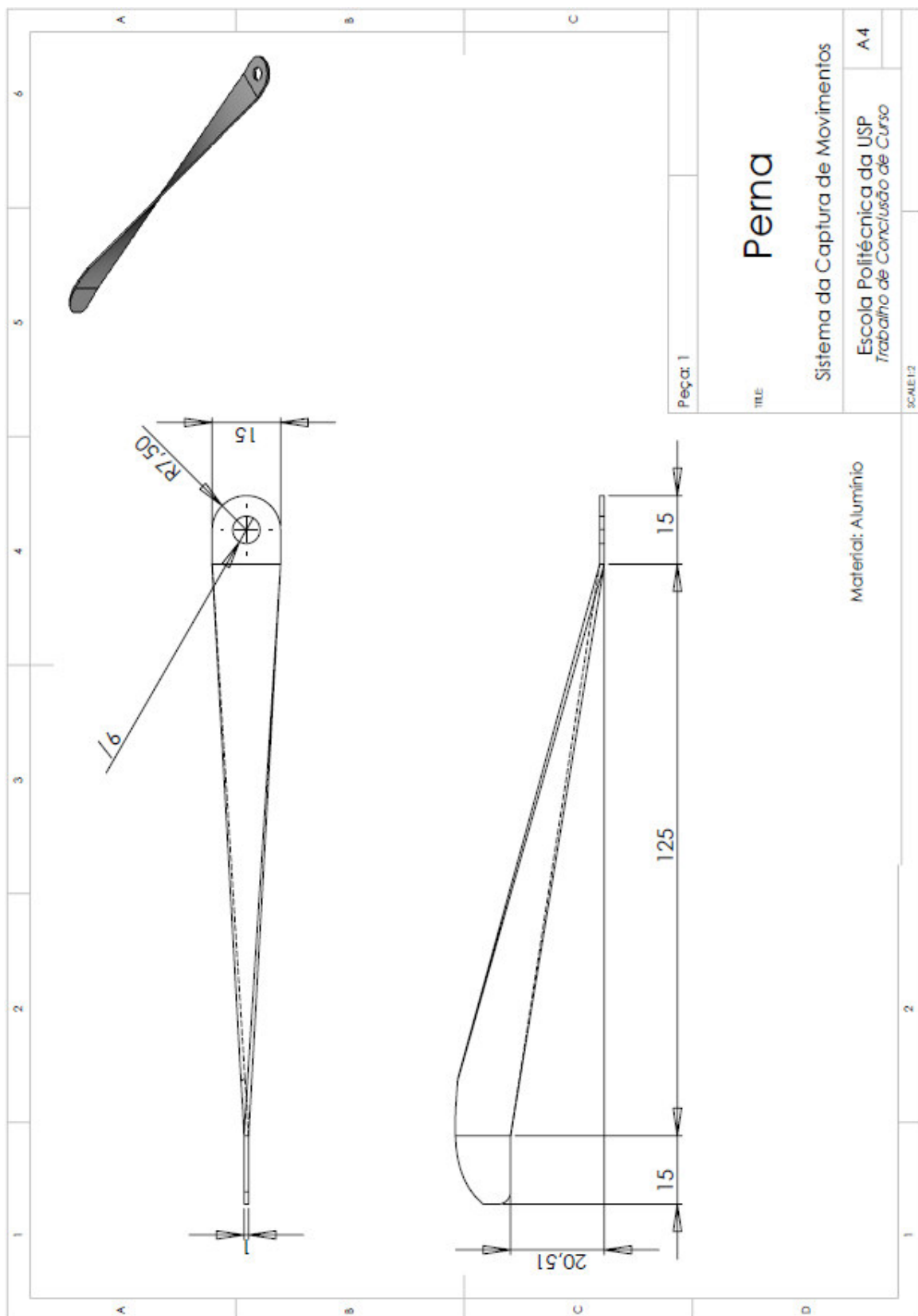


Figura 6.17 – Desenho Fabricação do Quadril

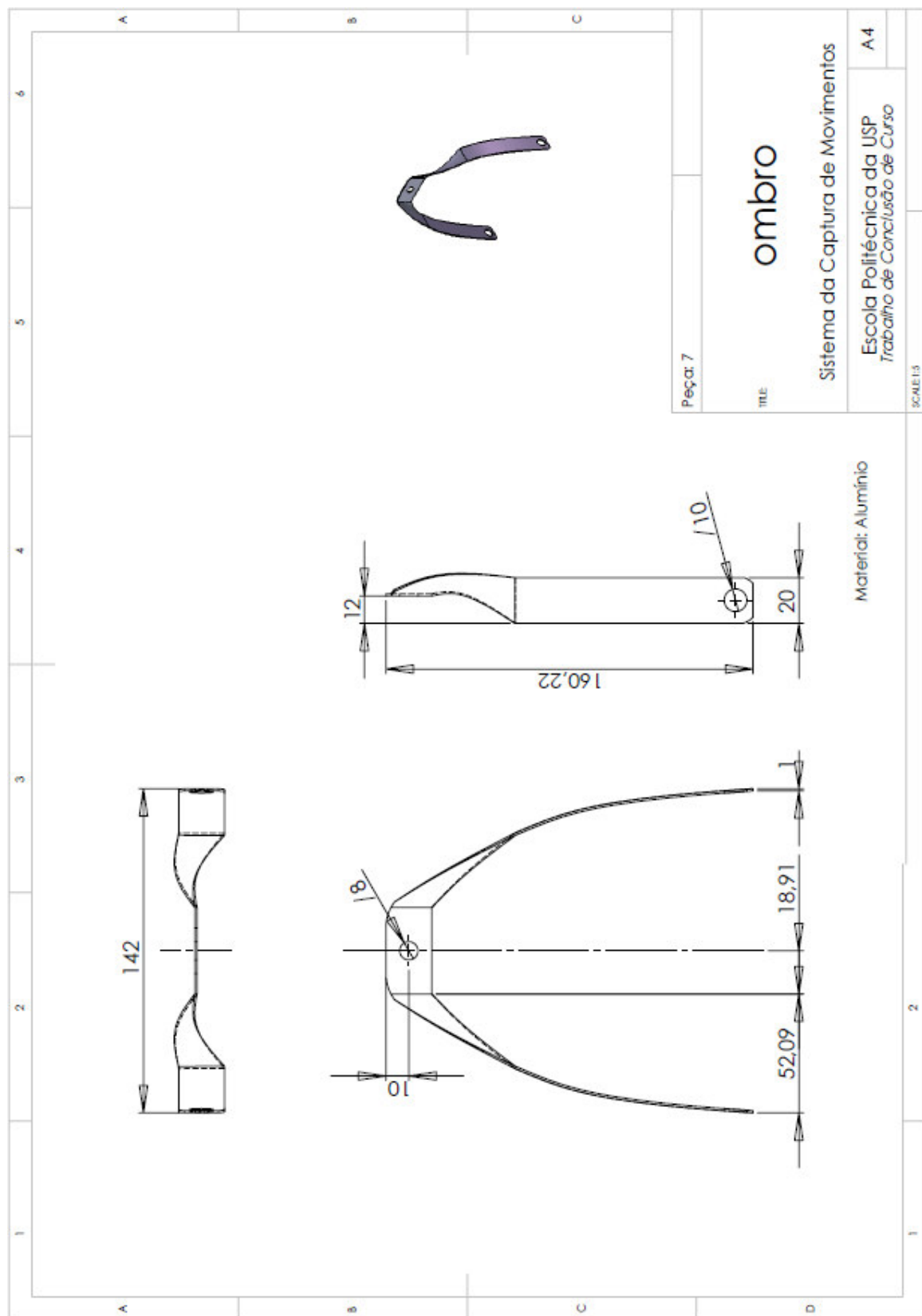


Figura 6.18 – Desenho Fabricação do Ombro Peça 1

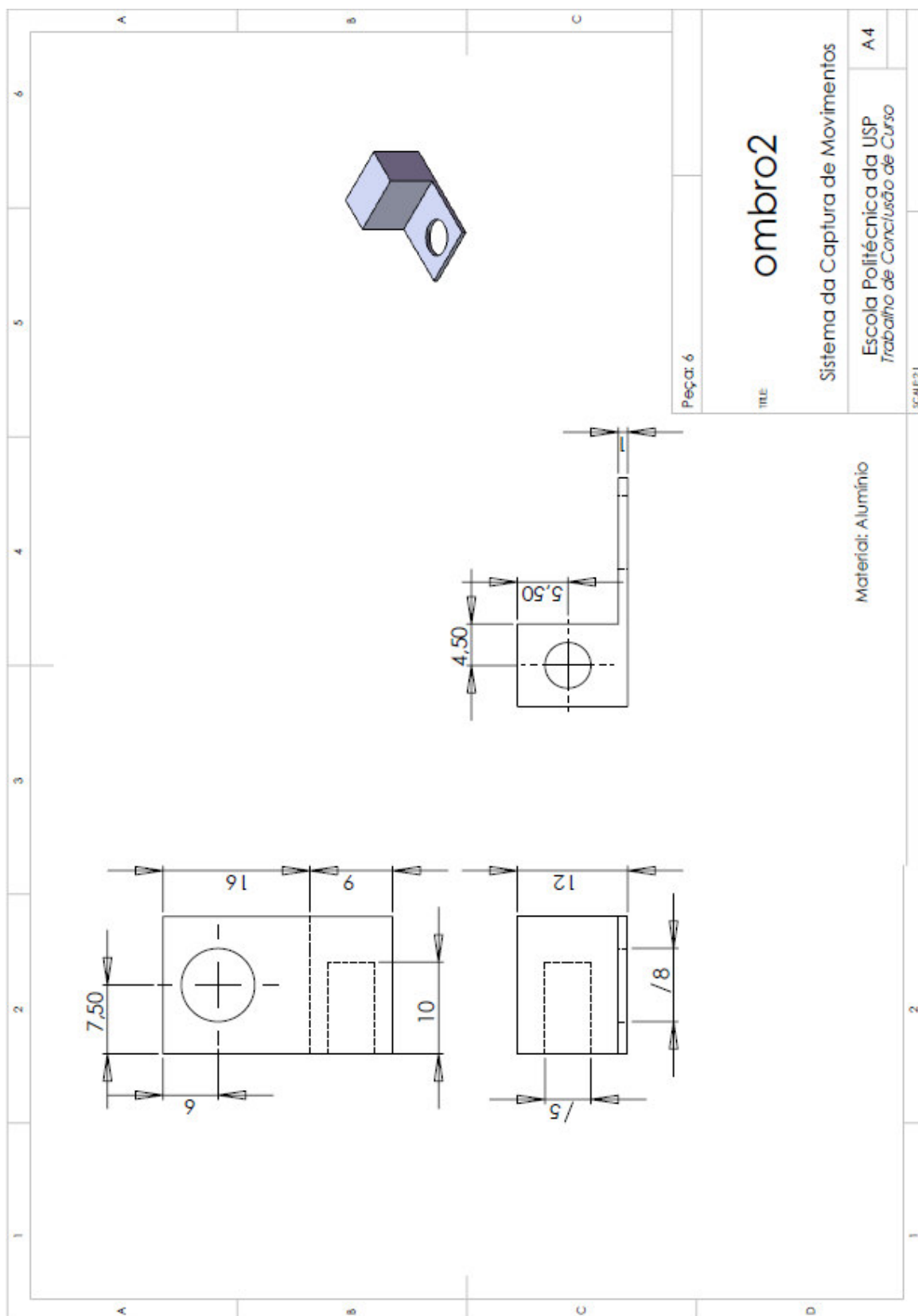


Figura 6.19 – Desenho Fabricação do Ombro Peça 2

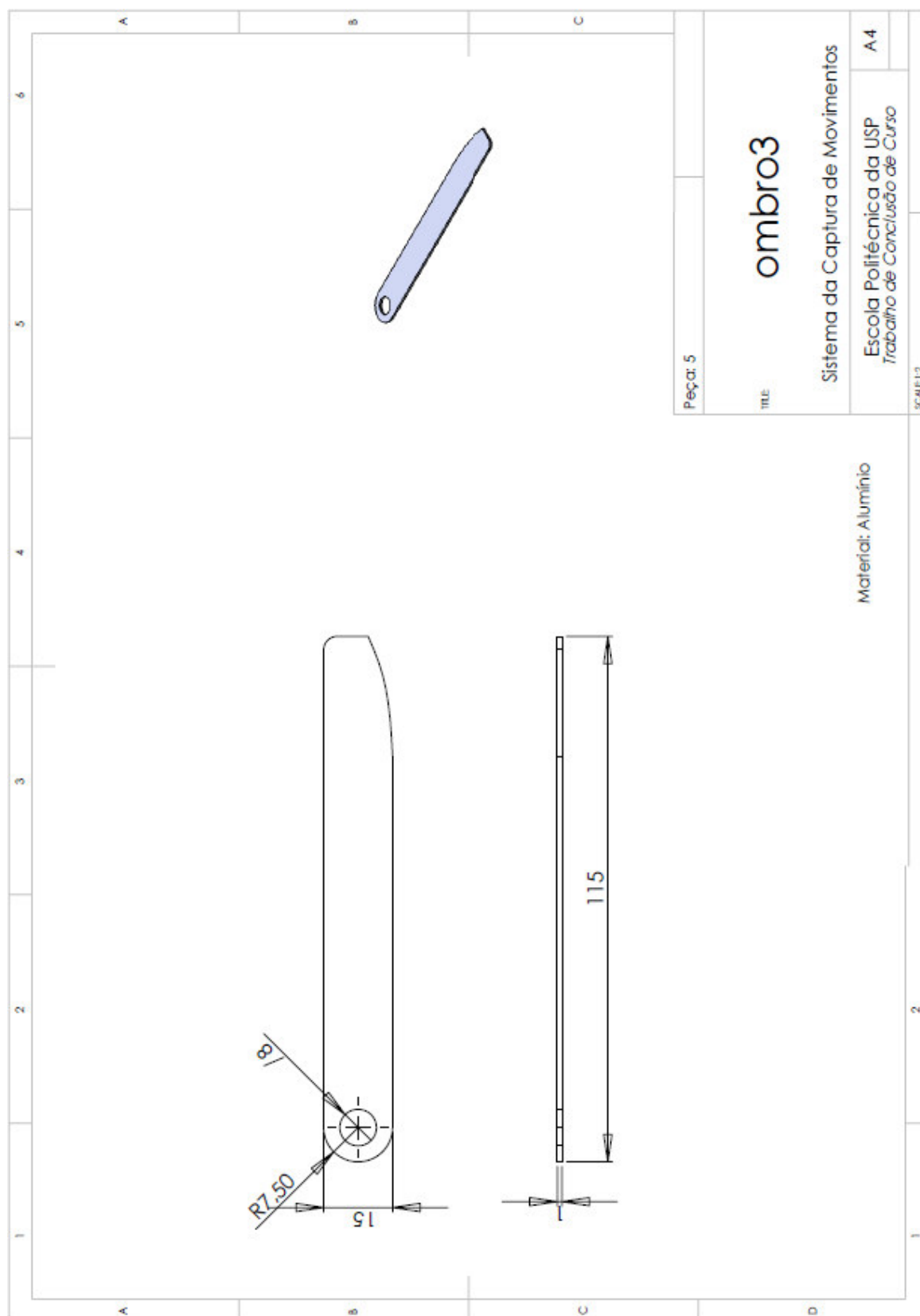


Figura 6.20 – Desenho Fabricação do Ombro Peça 3

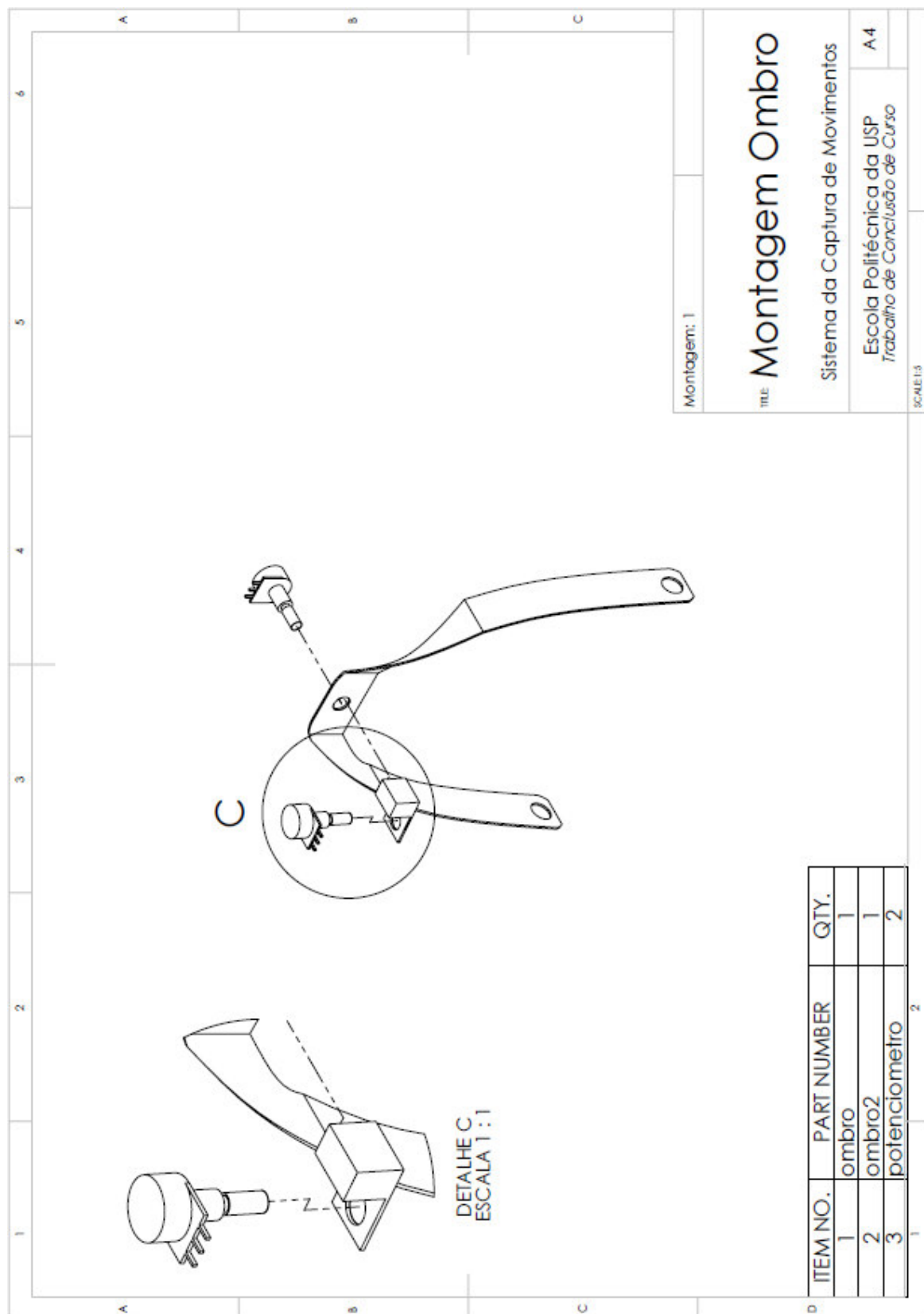


Figura 6.21 – Desenho Fabricação Montagem Ombro

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ZECCA, Massimiliano et al. **Emotional Expression Humanoid Robot WE-4RII**. 2004.
- [2] CHAMINADE, T. et al. **Evaluation of the perception of facial emotional expressions by using fMRIM**. 2004
- [3] KUHN, Giovane; GOMES, Paulo César Rodacki. **Animação de um Personagem Virtual Utilizando Captura Óptica de Movimento com Marcações Especiais – FURB**.
- [4] DA SILVA, Fernando Wagner. **Motion - Introdução à Tecnologia Laboratório de Computação Gráfica – LCG COPPE/UFRJ - Engenharia de Sistemas e Computação**. Rio de Janeiro.
- [5] FURNISS, Maureen. **Motion Capture – MIT**
- [6] KLETZ, William. **Digital and Microprocessor Fundamentals: Theory and Application**. Nova Iorque: Prentice Hall, 2003.
- [7] Andrey, João Michel. **Eletrônica Básica: teoria e prática**, São Paulo: Ridell, 1999,
- [8] SILVA, Junior Gabriel S. **Sistema de aquisição de dados embarcados em aeronave**. São Paulo, 2005. Dissertação (Bacharel em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

- [9] FINK, Donald g.; CHRISTIANSEN, Donald; **Electronics Engineers' Handbook**. Nova Yorque: McGraw-Hill, 1989.
- [10] SKARSKI, Boleslaw; **Síntese cinemática dos mecanismos**. Campinas: Editora da Unicamp, 1980.
- [11] SUH, Chung Há; **Kinematics and mechanisms design**. Nova lorque: John Wiley & Sons, 1978.
- [12] HOROWITZ, Paul. **The art of electronics**. Cambridge: Cambridge University, 1999.
- [13] DARLO, Paolo et al. **An Integrated Approach for design and Development ao a Grasping and Manipulation System in Humanoid Robotics**. Pisa: Scuela Superiori Sant'Anna.
- [14] FERNANDEZ, Gabriela A. M.; NETO, Hélio M.; IRITA, Ricardo T. **Método de avaliação de movimentos utilizando programa de processamento de imagens livres**, Instituto nacional de pesquisas Espaciais (INPE)
- [15] ZECCA, Massimiliano et al. **On the Development of the bioinstrumentation system WB-1R for the evaluation of human-robot interaction – Haed and Hans Motions Caputre Systems**, Tokyo: Waseda University.
- [16] GOMES Paulo C. R.; FERNANDES, Leandro A. F.; **Sistema Óptico de captura do movimento humano 2D sem utilização de marcações especiais**, Blumenau: Universidade Regional de Blumenau.

- [17] BLINN, J. **Nested Transformations and Blobby Man**, IEEE Transactions on Graphics, 59-65, October 1987.
- [18] DA SILVA Fernando W. S.; **Motion Capture: Introdução à Tecnologia**. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [19] ITOH, Kazuko et al. **Development of a Bioinstrumentation System in the Interaction between a Human and a Robot**; Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 2006.
- [20] ROCCELLA, S et al. **Design, fabrication and preliminary results of a novel anthropomorphic hand for humanoid robotics: RCH-1**; Waseda University, Tokio, Japan.
- [21] DA SILVA, Fernando W. S. V.; **Um sistema de animação baseado em movimento capturado**; LCG - COPPE/SISTEMAS – UFRJ; Rio de Janeiro.
- [22] ZECCA, Maximiliano et al. **Evolutionary Design of a Fuzzy Classifier for EMG-based Control – Control of a Multi-DoFs Underactuated Hand Prosthesis**. Waseda University, Tokyo, Japan.
- [23] CARROZA, M.C et al. **A two dof finger for a biomechatronic hand artificial hand**; Scuola Superiore Sant’Anna, Pisa, Italy.
- [24] OKAMOTO Jr, Jun; **Metodologia de Projeto**, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2004.
- [25] PARENT, Rick. **Computer animation: algorithms and techniques**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2002.

- [26] MATZER, Maria. **Animation's New 'Toon Advances Mean 'Motion Capture' is about to Make a Splash**, Los Angeles Times, 1997.
- [27] DYER, Scott; MARTIN, Jeff; ZULAUF, John. **Motion Capture White Paper**. Nova Iorque, 1995. Disponível em <http://reality.sgi.com/employees/jam_sb/mocap/MoCapWP_v2.0.html>. Acesso em: 18 mai. 2008.