

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Artur Andrade Machado

Pedro Henrique Sales Girotto

**VRVS: UM PRODUTO DE REALIDADE VIRTUAL USANDO
VIBRAÇÕES SOBRE A PELE APLICADO AO ENTRETENIMENTO**

Belém - Pará

2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO ESTADO DO PARÁ
ÁREA DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

Artur Andrade Machado

Pedro Henrique Sales Giroto

**VRVS: UM PRODUTO DE REALIDADE VIRTUAL USANDO
VIBRAÇÕES SOBRE A PELE APLICADO AO ENTRETENIMENTO**

Trabalho de Curso na modalidade Produto, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia de Computação do Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA, sob orientação da Professora MSc. Alessandra Natasha Baganha.

Belém - Pará

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

Biblioteca do Cesupa, Belém - PA

Machado, Artur Andrade.

VRVS: um produto de realidade virtual usando vibrações sobre a pele aplicado ao entretenimento / Artur Andrade Machado, Pedro Henrique Sales Giroto, 2017.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia da Computação) – Centro Universitário do Pará, Belém, 2017.

1. Realidade virtual. 2. Sistemas embarcados. I. Giroto, Pedro Henrique Sales. II. Título.

CDD. 23º ed. 006

Artur Andrade Machado

Pedro Henrique Sales Giroto

**VRVS: UM PRODUTO DE REALIDADE VIRTUAL USANDO
VIBRAÇÕES SOBRE A PELE APLICADO AO ENTRETENIMENTO**

Trabalho de Curso apresentado na modalidade Produto, apresentado como requisito parcial para obtenção do grau em Bacharelado em Engenharia de Computação do Centro Universitário do Estado do Pará – CESUPA.

Data da Defesa: 22 / 06 / 2017

Banca Examinadora:

Profa. Orientadora MSc. Alessandra Natasha Barganha - CESUPA

Prof. MSc. Ricardo Melo Casseb do Carmo - CESUPA

Prof. MSc. Elton Rafael Alves - UNIFESSPA

Belém - Pará

2017

Dedicamos esse trabalho aos nossos pais.

AGRADECIMENTOS

Nós, Artur e Pedro, agradecemos à nossa orientadora Alessandra Natasha pela confiança, pelos conselhos e por ter aceitado de bom grado a nossa proposta.

Ao coordenador do curso de Engenharia de Computação, Itamar Brito, pelo seu bom senso durante esses anos, suas decisões referentes ao curso que facilitaram o aprendizado.

Aos professores que durante o curso contribuíram de forma positiva à nossa formação pessoal e acadêmica.

Aos amigos do CTIC, que foram amigos e companheiros de trabalho por mais de anos.

Aos nossos amigos de turma, por esses 4 anos e meio de muita zueira, felicidade, sufoco e desespero e por momentos que sempre serão lembrados.

A todas às pessoas que se interessaram e acreditaram na ideia apresentada neste TCC.

Artur Andrade Machado

Pedro Henrique Sales Giroto

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao grande engenheiro do universo, que por meio de dados assertivos me conduziu a este momento no espaço-tempo.

Aos meus pais, Jorge e Irene, pelas suas incontáveis horas, pela paciência infinita, amor inimaginável e apoio emocional, financeiro e logístico.

À minha irmã, Francy, e sua família, por serem partes importantes e pessoas em que posso confiar.

Aos meus amigos de faculdade Pedro Giroto, Yuri Hernan e Wilson Macedo. Apenas nós sabemos as gambiarras, sufocos e trabalhos feitos em cima do prazo que aconteceram durante esta graduação.

Ao Pedro Giroto por ter embarcado nesta empreitada comigo.

Aos professores que durante o decorrer do curso fizeram parte da minha jornada. Em especial Elton Rafael, Johnny Marcus Gomes, Manoel Jacinto Lopes Alves, Itamar Vilhena Brito e Polyana Santos Fonseca.

A todas as pessoas que de forma direta ou indireta ajudaram para que o meu objetivo, de terminar esta graduação, fosse alcançado.

Artur Andrade Machado

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Vanderlei e Alcina, pelo grande amor que sempre me deram, pela paciência que sempre tiveram comigo, pela educação que me deram, os quais me fizeram ser a pessoa na qual sou hoje. Por serem uma fonte de inspiração para min, o que me dá força para seguir em frente, não importa o quão difícil seja o caminho.

Aos meus irmão, Afonso e Gustavo, que apesar das brigas, sempre me apoiaram nas horas de dificuldades.

Aos meus amigos de longa data, que me apoiaram ao longo dessa trajetória e sempre me ajudaram a manter a calma nos momentos difíceis.

Aos meus amigos de turma da faculdade, por sempre sermos uma turma unida companheira, sempre ajudando os outros nos momentos de dificuldade. Pelas piadas durante essa jornada de 4 anos e meio.

Ao meu amigo Israel Rabelo, pela grande ajuda que me deu para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao meu amigo Artur Machado, por ter confiado mim para desenvolver esse trabalho, pela paciência e força de vontade durante esses 1 ano e meio de desenvolvimento do produto.

Aos amigos do CTIC, pelo apoio que sempre nos deram para o desenvolvimento desse TC, pelos momentos de piadas e pela a experiência de trabalho.

Aos professores do curso que fizeram parte da dessa jornada de 4 anos e meio.

Pedro Henrique Sales Giroto

*“Importante não é ver o que ninguém nunca viu,
mas sim, pensar o que ninguém nunca pensou
sobre algo que todo mundo vê.”*

(Schopenhauer)

RESUMO

O uso da realidade virtual está cada vez mais presente no cotidiano. Diversas aplicações estão sendo desenvolvidas como em áreas de treinamento, de entretenimento e da saúde. Este trabalho de curso visa apresentar o VRVS (*Virtual Reality using Vibrations on Skin*), um sistema embarcado de realidade virtual controlado pelo PIC18F4550 e desenvolvido na *engine* Unity, cujo objetivo é o de transmitir vibrações sobre a pele com base na interação do usuário no ambiente virtual. Chegou-se ao resultado esperado, com um produto acessível, compatível com os biotipos corporais e capaz de transmitir vibrações perceptíveis.

Palavras chaves: Realidade Virtual. Sistemas Embarcados. PIC18f4550. Vibrações sobre a Pele. Unity.

ABSTRACT

The use of virtual reality is increasingly present in daily life, several applications are being developed, such as in training, entertainment and health. This work aims to present VRVS (Virtual Reality using Vibrations on Skin), an embedded system, controlled by the PIC18F4550, for virtual reality system whose objective is to transmit vibrations on the skin based on the user interaction in the virtual environment developed in the Unity engine. The expected result was achieved with an accessible product, universally compatible with the most varied types of people and capable of transmitting perceptible vibrations.

Key words: Virtual Reality. Embedded Systems, PIC18f4550. Vibrations on the Skin. Unity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Sensorama Simulator</i>	20
Figura 2 – Lista dos principais produtos de realidade virtual	21
Figura 3 – Mercado atual da realidade virtual	23
Figura 4 – Busca sobre <i>Virtual Reality</i> no Google	24
Figura 5 – Valores de investimento AR/VR	24
Figura 6 – Modelo de negócio AR/VR	25
Figura 7 – Simulação de voo sobre São Francisco	27
Figura 8 – Pinagem PIC18F4550	28
Figura 9 – Resistores	30
Figura 10 – Simbologia usada para resistores	30
Figura 11 – Capacitores	31
Figura 12 – Simbologia usada para capacitores	31
Figura 13 – Oscilador de 20MHz	32
Figura 14 – Simbologia usada para osciladores	32
Figura 15 – Diodos	33
Figura 16 – Simbologia usada para diodos	33
Figura 17 – Transistores	34
Figura 18 – Simbologia dos transistores	34
Figura 19 – Encapsulamento TO92	35
Figura 20 – Encapsulamento TO66	35
Figura 21 – Transistor como chave	35
Figura 22 – BC337	36

Figura 23 – Pinagem do BC337	36
Figura 24 – Transistor como regulador de tensão	37
Figura 25 – LM7805	37
Figura 26 – LM78L33	38
Figura 27 – Pinagem do LM78L33	38
Figura 28 – Conjunto Macho-Fêmea JACK J4 utilizado	39
Figura 29 – Pinos do conector Jack	39
Figura 30 – Motor de corrente contínua	40
Figura 31 – Simbologia de Motores DC	40
Figura 32 – Motores DC vibracall	40
Figura 33 – Logo padrão USB	41
Figura 34 – Pinagem dos conectores USB A e USB B	41
Figura 35 – Logo Unity	43
Figura 36 – Porcentagem das ferramentas utilizadas para os jogos <i>mobile</i>	43
Figura 37 – Logo MicroChip	44
Figura 38 – Quota do mercado mundial de microcontroladores	45
Figura 39 – Tela de carregamento do MPLAB X IDE	45
Figura 40 – Tela de carregamento da instalação do MPLAB XC COMPILER	46
Figura 41 – Tela de instalação do pacote MLA v2016/08/08	46
Figura 42 – Tela de carregamento do Proteus 8	47
Figura 43 – Caso de Uso	49
Figura 44 – Infográfico	50

Figura 45 – Menu Principal	51
Figura 46 – Configuração	51
Figura 47 – Testar Dispositivo	52
Figura 48 – Tutorial	52
Figura 49 – Créditos	53
Figura 50 – Jogar	54
Figura 51 – Alvos	54
Figura 52 – Regiões do boneco LED	55
Figura 53 – Regiões do boneco motores	56
Figura 54 – Menu	56
Figura 55 – Fluxograma P. W	58
Figura 56 – Fluxograma P. Y	59
Figura 57 – Fluxograma P. X	61
Figura 58 – Fluxograma P. Z	62
Figura 59 – Ícone do hexadecimal gerado	63
Figura 60 – Fluxograma de estado do hardware VRVS	64
Figura 61 – Visão 3D do Módulo Geral	65
Figura 62 – Layout do Módulo Geral	66
Figura 63 – Esquema eletrônico Módulo Geral (Parte Controlador)	67
Figura 64 – Esquema eletrônico Módulo Geral (Parte Fonte Motores)	68
Figura 65 – Vista 3D do Módulo Motor	68
Figura 66 – Layout do Módulo Motor	69

Figura 67 – Esquema elétrico Módulo Motor	69
Figura 68 – Módulo Geral	72
Figura 69 – Módulo Motor	72
Figura 70 – Botton com Módulo Motor	73
Figura 71 – Camisa com LEDs	73
Figura 72 – Camisa com LEDs em uso (frontal), com LED apagado	74
Figura 73 – Camisa com LEDs em uso (frontal), com LED acesso	74
Figura 74 – Camisa com LEDs em uso (traseira), com LED apagado	74
Figura 75 – Camisa com LEDs em uso (traseira), com LED acesso	74
Figura 76 – Parte frontal da camisa com Motores	75
Figura 77 – Parte traseira da camisa com Motores	75
Figura 78 – Faixa etária dos voluntários	76
Figura 79 – Respostas do questionário	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Portas Fixas	29
Tabela 2 – Detalhamento dos pinos do USB	42
Tabela 3 – Materiais do módulo geral	65
Tabela 4 – Materiais do módulo motor	68
Tabela 5 – Custos de Produção	71

LISTA DE SIGLAS

3D	Três Dimensões
AR	<i>Augmented Reality</i>
CC	<i>Continuous Current</i>
CI	Circuito Integrado
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
DC	<i>Direct Current</i>
DRAM	<i>Dynamic Random Access Memory</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
GIF	<i>Graphics Interchange Format</i>
GND	<i>Ground</i>
ID	<i>Digital Identification</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MLA	<i>Microchip Libraries For Applications</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PhD	<i>Philosophiae Doctor</i>
PROM	<i>Programmable Read-Only Memory</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ROM	<i>Read-Only Memory</i>
SMD	<i>Surface-Mount Device</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
VCC	<i>IC Power-Supply Pin</i>
VDD	<i>Voltage Drain Drain</i>
VPP	<i>Peak-To-Peak Voltage</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>
VRVS	<i>Virtual Reality Using Vibration On Skin</i>
VSS	<i>Voltage Source Source</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 CONTEXTO	20
1.2 MOTIVAÇÃO	21
1.3 OBJETIVOS	22
1.3.1 Objetivo geral	22
1.3.2 Objetivos específicos	22
1.4 JUSTIFICATIVA	22
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS	25
1.6 DIVISÃO DO TRABALHO	26
2 BASE TEÓRICA	27
2.1 REALIDADE VIRTUAL	27
2.2 MICROCONTROLADOR	28
2.2.1 PIC18F4550	28
2.3 COMPONENTES DISCRETOS	29
2.3.1 Resistores	30
2.3.2 Capacitores	30
2.3.3 Osciladores	31
2.3.4 Diodos	32
2.3.4.1 LED	33
2.3.5 Transistores	33
2.3.5.1 Como chave	35
2.3.5.1.1 BC337	35
2.3.5.2 Reguladores de tensão	36
2.3.5.2.1 LM7805	37
2.3.5.2.2 LM78L33	37
2.3.6 Conectores Jack	38
2.3.7 Motor DC	39
2.4 PADRÃO USB	41
3 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO	43
3.1 UNITY	43
3.2 MICROCHIP	45

3.2.1 MPLAB X IDE v3.30	45
3.2.2 XC8	46
3.2.3 Microchip Libraries for Applications	46
3.3 PROTEUS	47
4 DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE E JOGABILIDADE	48
4.1 MODELAGEM DO SISTEMA	48
4.2 SOFTWARE	50
4.2.1 Unity	50
4.2.2 Fluxograma	57
4.2.3 PIC	63
4.3 HARDWARE	65
4.3.1 Modulo Geral	65
4.3.2 Modulo Motor	66
4.4 TRABALHOS CORRELATOS	70
5 CUSTO DE PRODUÇÃO	71
6 RESULTADOS OBTIDOS	72
7 CONCLUSÕES	78
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO	83
APÊNDICE B – VRVS: MANUAL DO USUÁRIO	86

1 INTRODUÇÃO

O capítulo 1 desse trabalho tem o objetivo de apresentar um contexto sobre Realidade Virtual, a motivação para o desenvolvimento deste trabalho, os objetivos a serem alcançados, a justificativa para o desenvolvimento, os procedimentos metodológicos adotados e a maneira que este trabalho foi dividido.

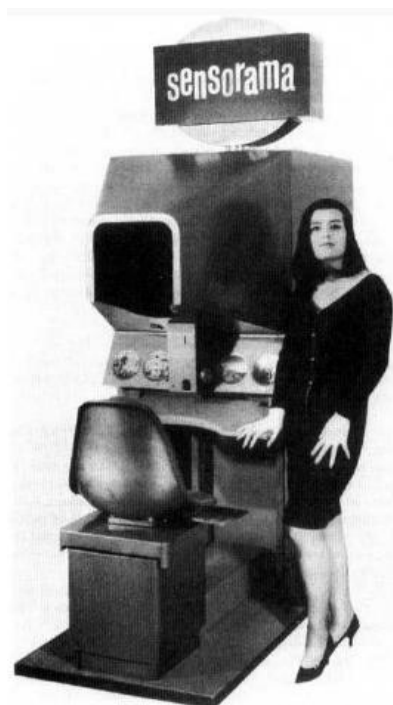
1.1 CONTEXTO

A realidade virtual, do inglês *Virtual Reality* (VR), é uma tecnologia que está reganhando destaque na atualidade, sendo perceptível pela quantidade de produtos presente no mercado. É utilizada em diversas áreas: saúde, como um exemplo na área de fisioterapia; entretenimento, como filmes e jogos eletrônicos; e na área de treinamentos, como a simulação do controle de um avião.

Segundo Burdea e Coiffet (2003) a realidade virtual começou a ganhar relevância a partir de 1962 com a patente de Morton Heiling. Tal invenção foi chamada de *Sensorama Simulator*, que está representado na Figura 1, sendo considerado o primeiro fliperama de realidade virtual.

De acordo com o site MortonHeiling (2017, online), *Sensorama Simulator* foi desenvolvido para estimular quatro dos cinco sentidos humanos: visão, audição, tato e olfato.

Figura 1 – *Sensorama Simulator*



Fonte: Burdea e Coiffet (2003, p.7)

Lavalle (2017) destaca que os principais motivos do recrescimento da realidade virtual são: elevado poder de processamento gráfico dos computadores atuais; barateamento da tecnologia; e compatibilidade dos *smartphones* com os capacetes de realidade virtual, como o Samsung Gear VR.

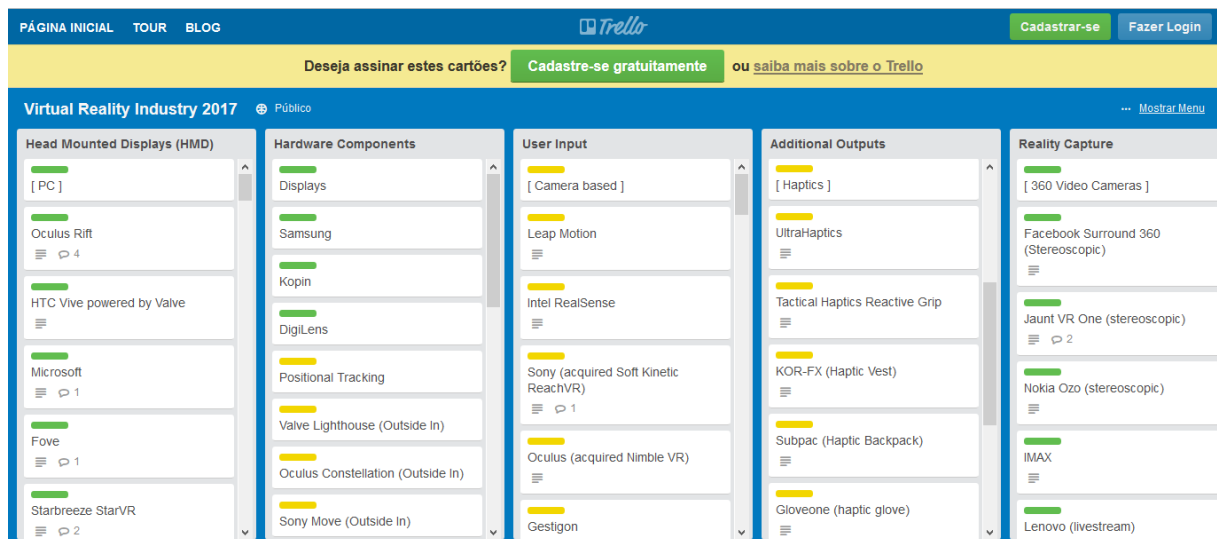
Maiores detalhes sobre a terminologia da realidade virtual será abordado adiante no subitem 2.1.

1.2 MOTIVAÇÃO

Os avanços da realidade virtual mostram-se perceptíveis através do aumento de produtos lançados no mercado, sobretudo, estimulando a visão, audição e captura de movimento do usuário.

Entretanto, o mesmo não fica evidenciado quando são procuradas propostas de produtos que trabalham com o estímulo tátil. O site The Venture Reality Fund (2017, online) possui uma página no Trello, onde mantém listado os principais produtos de realidade virtual. Nesta lista constam 60 capacetes de realidade virtual, os quais trabalham com a visão e a audição, e apenas 8 produtos que trabalham com o tato do usuário.

Figura 2 – Lista dos principais produtos de realidade virtual



Fonte: Trello (2017, online)

Com base no cenário exposto, a proposta do presente trabalho é desenvolver um produto de realidade virtual que explora o estímulo tátil de forma a tornar-se referência na comunidade *gamer* pela qualidade, excelência e inovação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um produto de realidade virtual composto de hardware e software capaz de interagir com o ambiente virtual em tempo real (*Soft Real Times Systems*), estimulando o sentido de tato do usuário.

1.3.2 Objetivos específicos

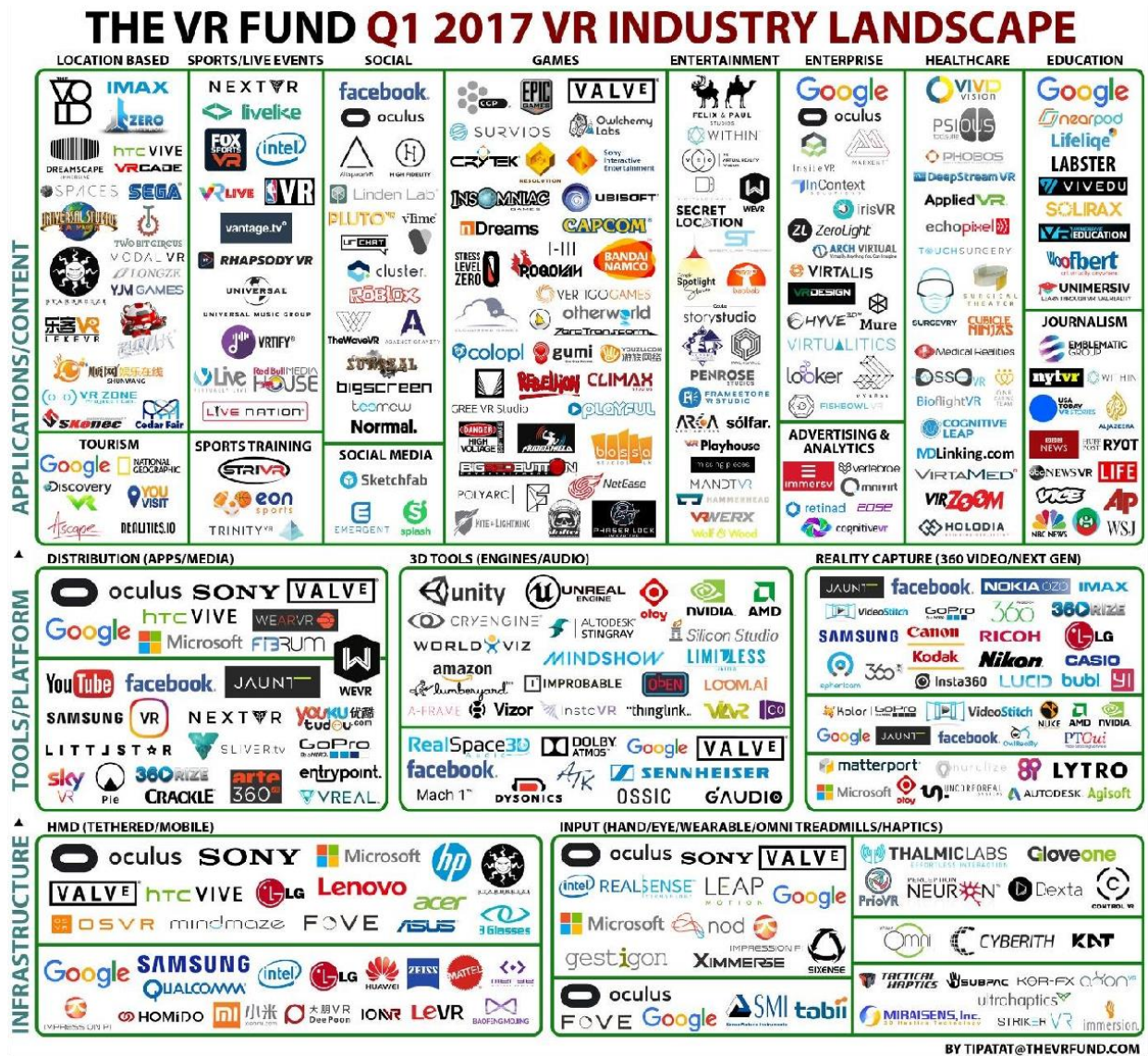
- Desenvolver um hardware capaz de estimular o sentido tátil;
- Desenvolver um método para que esse estímulo seja compatível com os mais variados biotipos;
- Desenvolver um hardware capaz de controlar o fluxo dos estímulos;
- Desenvolver um software que seja compatível com os sistemas operacionais Windows 7 e Windows 10;
- Fazer a integração do hardware módulo geral com o módulo motor;
- Desenvolver um jogo para demonstrar o funcionamento do hardware;
- Fazer a integração entre o hardware e o jogo para que o objetivo seja atingido.

1.4 JUSTIFICATIVA

A justificativa é baseada em uma análise de mercado da realidade virtual.

O site The Venture Reality Fund (2017, online), que tem como objetivo ajudar pequenas empresas na área de VR visando o incentivo da área, tem dados das principais empresas que apoiam o VR e seus ramos de atuação, que é o assunto da Figura 3.

Figura 3 – Mercado atual da Realidade Virtual

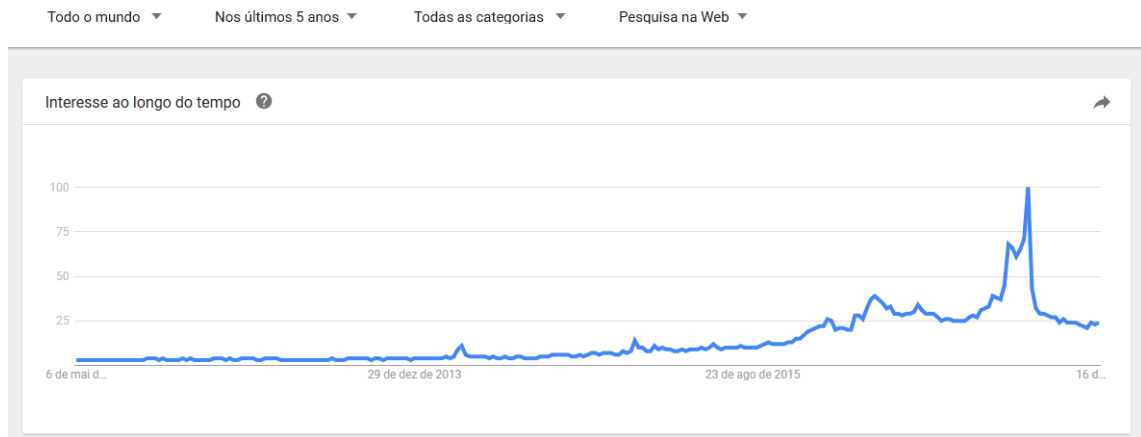


Fonte: The Venture Reality Fund (2017, online)

A partir da figura citada, pode ser constatada a diversidade e o potencial de crescimento deste mercado que, não obstante, sofreu incremento como é mostrado no Google Trends.

A ferramenta de pesquisa Google Trends (2017, online) é utilizada por cientistas e investidores e mostra os termos mais procurados no Google, desta forma avaliando tendências de mercado. Esta ferramenta revela que no início do ano de 2016 houve um aumento de 25% na busca sobre o tema ‘virtual reality’, e no decorrer do ano essa busca chegou a atingir 120%, como mostra a Figura 4. O aumento dessa busca foi ocasionado pela promessa de lançamento de 3 óculos de realidade virtual: o Oculus Rift; HTC Vive; e o Playstation VR. Tais dados constataam o interesse e a orientação de mercado consumidor acerca do seguimento de VR.

Figura 4– Busca sobre Virtual Reality no Google

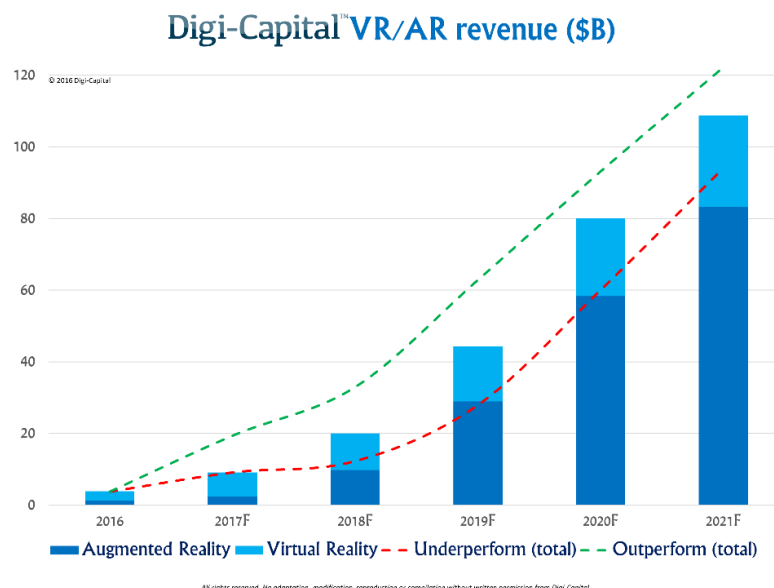


Fonte: Google Trends (2017, online)

A Forrester (2016, online), uma das mais influentes empresas de pesquisa e consultoria do mundo - que trabalha com líderes de negócios e tecnologia visando desenvolver estratégias obcecadas pelo cliente - prevê que as empresas continuarão a experimentar o VR/AR, ampliando a base para maiores implementações em 2018 e 2019.

Já a Digi-Capital (2017, online), empresa suíça que gerencia investimentos no setor de entretenimento digital - que objetiva conectar investidores com talentos para desenvolvimento de software - prevê que a realidade virtual e a aumentada, do inglês *Augmented Reality* (AR), terão um investimento médio de 108 bilhões de dólares até 2021, podendo chegar a 122 bilhões, caso a performance seja acima do esperado, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Valor de investimento VR/AR

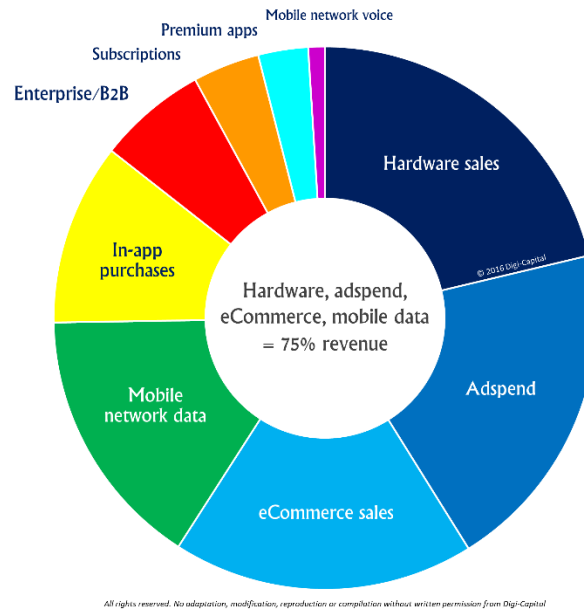


Fonte: Digi-Capital (2017, online)

A Figura 6 apresenta o modelo de negócio a longo prazo proposto pela Digi-Capital.

Figura 6 – Modelo de negócio VR/AR

Digi-Capital™ VR/AR long-term business models



Fonte: Digi-Capital (2017, online)

Até aqui, por outro lado, notou-se que muitos dos projetos nessa área têm como foco trabalhar com a visão, a audição e a movimentação do usuário, mas poucos trabalham o tato, como anteriormente mencionado no subitem 1.2.

Assim, foi decidido desenvolver o VRVS, nome que vem do inglês *Virtual Reality using Vibration on Skin*, um produto para entretenimento, no qual motores de vibração estarão sobre o corpo do usuário. Tais motores serão ativados no ambiente real dependendo da interação dos jogadores no ambiente virtual. Como exemplo: se durante o jogo o usuário for baleado na região do peito no ambiente virtual, os motores localizados fisicamente nesta região do jogador vibrarão, assim passando a ideia de que tal região foi atingida.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para implementar e disponibilizar o produto aqui proposto, a seguinte metodologia foi utilizada:

- Levantamento bibliográfico acerca do tema abordado;
- Pesquisa dos componentes eletrônicos disponíveis no mercado nacional;
- Comparação de preço dos componentes eletrônicos no mercado nacional com o mercado internacional;

- Estudo aprofundado sobre eletrônica;
- Estudo aprofundado da programação para microcontrolador PIC;
- Estudo aprofundado da *engine* Unity;
- Criação do protótipo do jogo;
- Teste do protótipo para correção de *bugs* e aperfeiçoamento;
- Criação do protótipo do código para o PIC;
- Teste do protótipo para correção de *bugs* e aperfeiçoamento;
- Validação dos protótipos;
- Definição do *design* das placas PCB do Módulo Motor e do Módulo Geral;
- Montagem das placas PCB dos Módulos Motores e do Módulo Geral;
- Teste do produto.

A avaliação final foi feita através do uso do produto por voluntários que se propuseram a testar e a responder um questionário sobre a qualidade e a facilidade de uso, tal questionário está presente no Apêndice A.

1.6 DIVISÃO DO TRABALHO

O trabalho está dividido em 8 capítulos. Após este capítulo introdutório segue o capítulo 2 onde é apresentada a base teórica para o desenvolvimento do projeto. Esta leitura facilitará a compreensão do capítulo 3 que mostra as ferramentas utilizadas para tal desenvolvimento. O capítulo 4 aborda a implementação do ambiente, demonstrando a funcionalidade da proposta de hardware e software, diagramas, telas e jogabilidade. No capítulo 5 constam os custos de produção, ficando para o capítulo 6 os resultados obtidos com o projeto. O capítulo 7 expõe a conclusão com suas dificuldades e propostas futuras e no capítulo 8 as referências bibliográficas são descritas.

2 BASE TEÓRICA

O capítulo 2 desse trabalho tem como objetivo apresentar uma base teórica, tais como terminologias da realidade virtual, dos microcontroladores e componentes discretos adotados para a implementação do produto proposto, como será visto a seguir.

2.1 REALIDADE VIRTUAL

O conceito de realidade virtual segundo Burdea e Coiffet (2003), funcionalmente se estabelece como um ambiente virtual simulado por computador que sofre alterações em tempo real através da interação do usuário.

Complementando o conceito de Burdea e Coiffet, há a definição de LaValle (2017, p.1):

“Inducing targeted behavior in an organism by using artificial sensory stimulation, while the organism has little or no awareness of the interference.”

No conceito de LaValle (2017) destacam-se quatro palavras: *targeted behaviour*, *organism*, *artificial sensory stimulation* e *awareness*. *Targeted behavior* é a experiência que o desenvolvedor deseja passar ao usuário. *Organism* é o usuário que está interagindo com o ambiente virtual. *Artificial sensory stimulation* seria o “roubo” dos sentidos do usuário, onde os inputs gerados pelo usuário são substituídos por estímulos artificiais. *Awareness* abrange a inconsciência da interferência do mundo real ao mundo virtual, sendo assim, o usuário acredita que o mundo virtual é real.

A Figura 7 é um exemplo de aplicação de VR, utilizada por LaValle (2017) cujo objetivo é proporcionar a experiência de ser um pássaro voando sobre São Francisco, onde uma plataforma faz a captura dos movimentos do usuário e um ventilador é usado para simular o vento.

Figura 7 – Simulação de voo sobre São Francisco



Fonte: LaValle (2017, p.2)

2.2 MICROCONTROLADOR

Segundo Gimenez (2002, p4.):

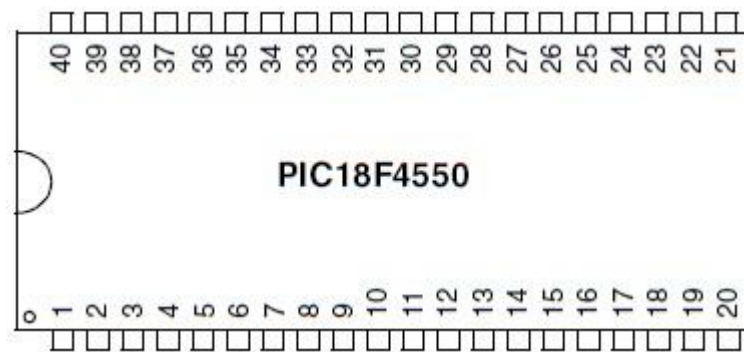
O microcontrolador é um dispositivo semicondutor em forma de CI (Circuito Integrado), que integra todas as partes básicas de um microcomputador – microprocessador (CPU), memórias não-voláteis (ROM/PROM/EPROM/EEPROM), memórias voláteis (RAM, SRAM, DRAM, Flash RAM), portas de entrada e saída (portas de comunicação paralela, portas de comunicação serial, conversores analógicos/digitais, conversores digitais/ analógicos etc.).

Geralmente, é limitado em termos de quantidade de memória, principalmente no que diz respeito à memória de dados, e é utilizado em aplicações específicas, ou seja, naquelas que não necessitam armazenar grandes quantidades de dados.

2.2.1 PIC18F4550

A Figura 8 mostra a pinagem do PIC18F4550, destacado neste trabalho por ter sido o adotado para a implementação do produto, objeto desta proposta como explorado melhor a seguir.

Figura 8 - Pinagem PIC18F4550



Fonte: Microchip (2006, p.2)

O PIC18F4550 apresenta as seguintes especificações:

- Pinos: 40.
- Memória de Programa (*Flash*): 32Kb.
- Memória de Dados (RAM): 2Kb.
- Memória EEPROM: 256 bytes.
- Velocidade de Operação: até 48Mhz.
- Portas I/O: 35.
- Portas A/D: 13 (10-bit).
- Comparadores: 2.
- Ampla faixa de tensão de Operação: 2,0V à 5,5V.
- 20 tipos de interrupções.

- Arquitetura RISC (set de instruções reduzidas).
- 31 níveis de STACK - Módulo CCP (*Capture/Compare/PWM*).
- Porta Paralela: 8 bits.
- Timers: 1 (8-bit), 3 (16-bit).
- WDT (*WatchDogTimer*).
- Porta de Comunicação USB 2.0 (*Full Speed*).
- Comunicação UART, USART, SPI, I2C.

Este microcontrolador foi escolhido devido ao seu caráter mais profissional, com relação a outros que são destinados para o aprendizado. Devido possuir comunicação USB já implementada internamente, evita-se a utilização de um conversor Serial-USB, como o MAX232, que acarretaria mais custos; além disso, possui extensa documentação; apresenta um bom custo-benefício; é razoavelmente fácil de ser encontrado e a empresa fabricante tem expertise e reconhecimento no mercado.

Do PIC18F4550, para a implementação desse produto, todos os pinos estão sendo utilizadas, sendo 10 portas fixas e 30 portas de output configuradas para a aplicação. A Tabela 1 mostra quais são os pinos fixos.

Tabela 1 – Portas Fixas

Porta	ID	Porta	ID
1	VPP	18	VUSB
11	VDD	23	D-
12	VSS	24	D+
13	OSC1	31	VSS
14	OSC2	32	VDD

Fonte: Autores (2017)

Após a descrição do microcontrolador, serão abordados os componentes discretos utilizados para o produto.

2.3 COMPONENTES DISCRETOS

Dos componentes discretos utilizados, serão apresentados a seguir os resistores, capacitores, diodos, transistores, osciladores e o motor DC.

2.3.1 Resistores

Segundo Capuano (1998), os resistores são componentes que criam uma oposição à passagem de corrente elétrica por meio do seu material. Normalmente resistores são construídos à base de carvão ou então à base de um fio enrolado em volta de um núcleo cerâmico.

Os resistores são classificados em dois tipos: fixos e variáveis. Os resistores fixos são aqueles cuja resistência não pode ser alterada, já os variáveis possuem uma faixa de valores.

A Figura 9 mostra alguns resistores fixos. Estes resistores foram utilizados neste projeto.

Figura 9 - Resistores



Fonte: Autores (2017).

A Figura 10 mostra a simbologia utilizada nos circuitos elétricos e eletrônicos para representar resistores.

Figura 10 - Simbologia usada para resistores.



Fonte: Proteus v8.4 SP0 (2017, Captura de tela adaptada)

2.3.2 Capacitores

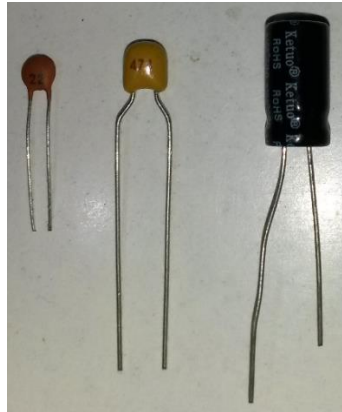
De acordo com BRAGA (2012a), os capacitores são componentes eletrônicos formados por conjuntos de placas de metal entre as quais existe um material isolante que define o seu tipo. Duas placas, tendo um material isolante entre elas, manifestam a propriedade de armazenar cargas elétricas e com isso também energia elétrica.

Quando aplicada tensão elétrica sobre essas duas placas, uma fica carregada positivamente e a outra, negativamente. Ao remover a tensão, as cargas continuarão nas placas do capacitor. Quanto maior for a capacitância de um capacitor, mais tempo demorará para se descarregar.

Os capacitores são classificados de acordo com o material usado em sua fabricação. Os tipos mais comuns são: eletrolíticos; de tântalo; de poliéster; os cerâmicos.

A Figura 11 os tipos de capacitores utilizados neste projeto.

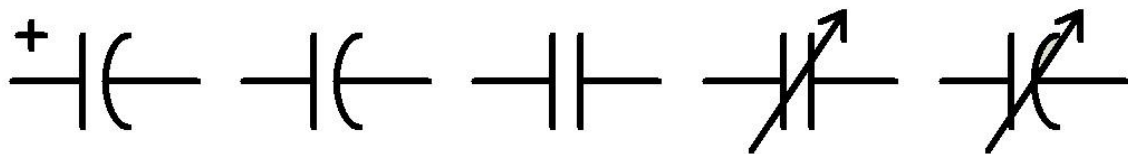
Figura 11 - Capacitores



Fonte: Autores (2017)

A Figura 12 mostra a simbologia utilizada nos circuitos elétricos e eletrônicos para representar capacitores.

Figura 12 - Simbologia usada para capacitores



Fonte: Proteus v8.4 SP0 (2017, Captura de tela adaptada)

Todo capacitor possui uma tensão máxima de carga. Se ultrapassado esse limite, o capacitor explodirá.

2.3.3 Osciladores

Segundo Braga (2012b) os cristais de quartzo, que também são abreviados por XTAL, são dispositivos que mantêm a frequência de oscilação de um circuito dentro de valores muito estreitos, com grande precisão.

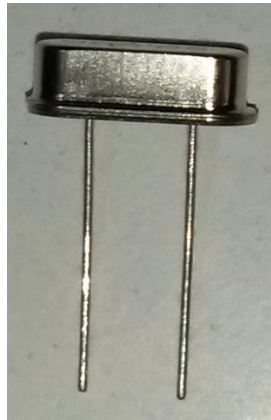
O quartzo é um material piezoelétrico que gera uma tensão elétrica quando submetido a tensões mecânicas, sofrendo deformações mecânicas quando submetido a tensões elétricas.

Ao colocar-se um cristal num circuito de realimentação de um oscilador, verifica-se que tende a vibrar numa frequência única que depende de seu formato e de suas dimensões.

Os cristais têm uma importância especial nos computadores e diversos circuitos digitais. São eles que determinam a velocidade de operação dos circuitos, pelos chamados osciladores de *clock* ou relógios.

A Figura 13 mostra um oscilador de 20Mhz. Este oscilador foi utilizado neste projeto.

Figura 13 - Oscilador de 20MHz



Fonte: Autores (2017)

A Figura 14 mostra a simbologia utilizada nos circuitos elétricos e eletrônicos para representar osciladores.

Figura 14 - Simbologia usada para osciladores



Fonte: Proteus v8.4 SP0 (2017, Captura de tela adaptada)

2.3.4 Diodos

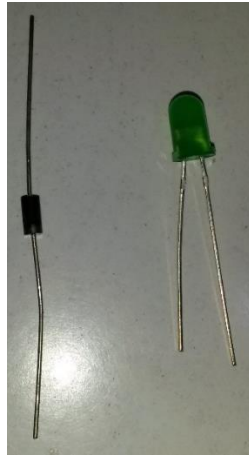
Os diodos são componentes eletrônicos que permitem a passagem da corrente elétrica em um só sentido, bloqueando correntes vindas em sentido oposto.

De acordo com Capuano (1998), o lado P da junção PN é conhecido como anodo (A) do diodo e o lado N como catodo (K). Em polarização direta conduz corrente do anodo para o catodo e em polarização indireta, não conduz corrente.

Todo diodo tem polaridade. Descrevendo fisicamente, todo diodo possui uma marcação (uma faixa) próxima ao seu catodo (polo negativo).

A Figura 15 mostra alguns tipos de diodos. Apenas o diodo emissor de luz (*Light Emitting Diode, LED*) foi utilizado neste projeto, sendo o LED o diodo da direita.

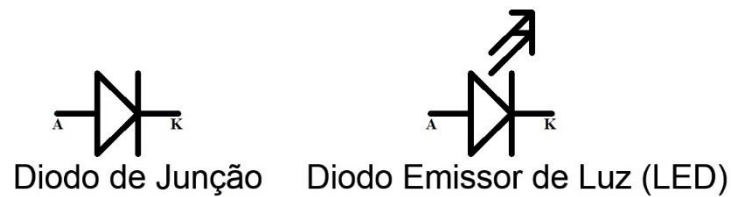
Figura 15 – Diodos



Fonte: Autores (2017)

A Figura 16 mostra a simbologia utilizada nos circuitos elétricos e eletrônicos para representar diodos.

Figura 16 - Simbologia usada para diodos.



Fonte: Proteus v8.4 SP0 (2017, Captura de tela adaptada)

O diodo pode funcionar como um condutor ou como um isolante, dependendo da maneira com que a tensão elétrica é aplicada sobre ele.

2.3.4.1 LED

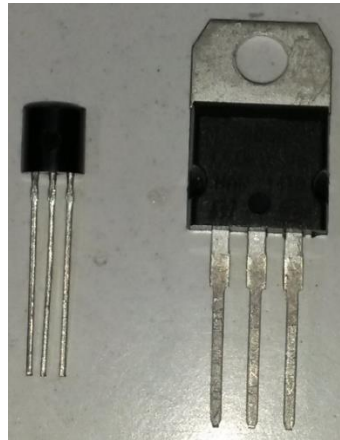
O LED é um diodo que emite luz quando passa corrente por ele. Sendo os LEDs diodos, eles possuem polaridade e se forem ligados diretamente na fonte de tensão, queimam. A maior perna do LED é o anodo, seu polo positivo.

2.3.5 Transistores

De acordo com Braga (2012b), os transistores são construídos com três partes de material semicondutor, ligados através de duas junções PN. Com isso, dois tipos de transistores podem ser construídos: NPN e PNP. Esses nomes refletem a ordem em que os pedaços de material semicondutor foram ligados internamente. Os transistores possuem três terminais, chamados emissor, coletor e base.

A Figura 17 mostra os tipos de transistores que foram utilizados neste projeto.

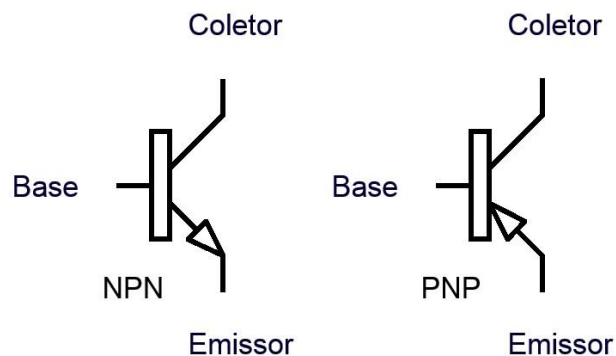
Figura 17 – Transistores



Fonte: Autores (2017)

A Figura 18 mostra a estrutura interna dos transistores e sua simbologia utilizada nos circuitos elétricos e eletrônicos para representar os transistores.

Figura 18 - Simbologia dos transistores



Fonte: Proteus v8.4 SP0 (2017, Captura de tela adaptada)

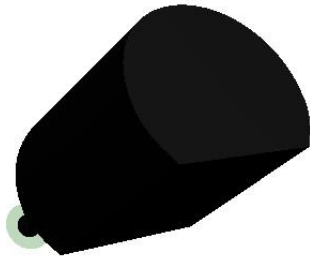
O tamanho do transistor varia de acordo com a sua potência máxima admissível, isto é, a corrente e a tensão máximas que o transistor suporta.

O Transistores são classificados de acordo com um código. Através desse código pode-se ver nos *data sheets* as características do transistor, como a disposição dos terminais.

Pelo encapsulamento pode-se dizer se o transistor é de baixa potência, de média potência ou de alta potência.

As Figuras 19 e 20 mostram alguns dos tipos de encapsulamento de transistores, esses encapsulamentos correspondem ao dos componentes utilizados neste projeto.

Figura 19 - Encapsulamento TO92



Fonte: Proteus v8.4 SP0 (2017, Captura de tela adaptada)

Figura 20 - Encapsulamento TOP66



Fonte: Proteus v8.4 SP0 (2017, Captura de tela adaptada)

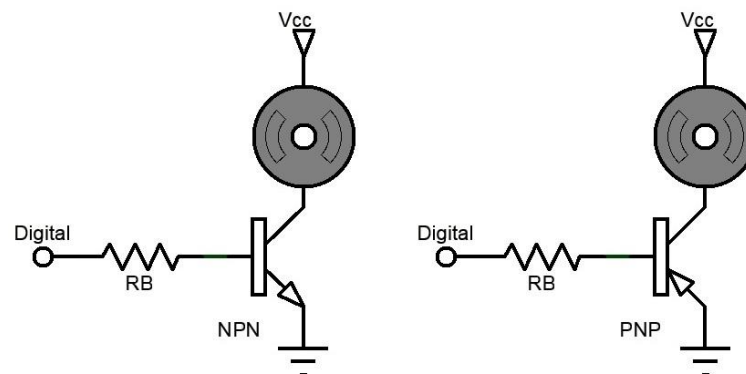
2.3.5.1 Como chave

O transistor pode ser usado como uma chave eletrônica. Nesse caso, operará somente ou no corte ou na saturação, controlando apenas circuitos de corrente contínua.

Quando houver corrente na base do transistor, o mesmo entrará em saturação, ligando assim o motor. Cortando-se a corrente na base do transistor, entrará em corte, e assim, desligando o motor.

A Figura 21 mostra o esquema de montagem para transistor atuando como chave, tanto para NPN como para PNP.

Figura 21 - Transistor como chave



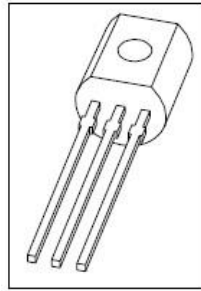
Fonte: Proteus v8.4 SP0 (2017, Captura de tela adaptada)

2.3.5.1.1 BC337

O transistor BC337 é um transistor NPN de propósito geral utilizado para o acionamento dos motores. Possui um encapsulamento TO92.

A Figura 22 é uma ilustração do BC337.

Figura 22 - BC337



Fonte: Philips Semiconductors (1999, p.1)

A Figura 23 mostra a pinagem do BC337.

Figura 23 - Pinagem do BC337

Pino	Descrição
1	Emissor
2	Base
3	Coletor

Fonte: Adaptado de Philips Semiconductors (1999, p.2)

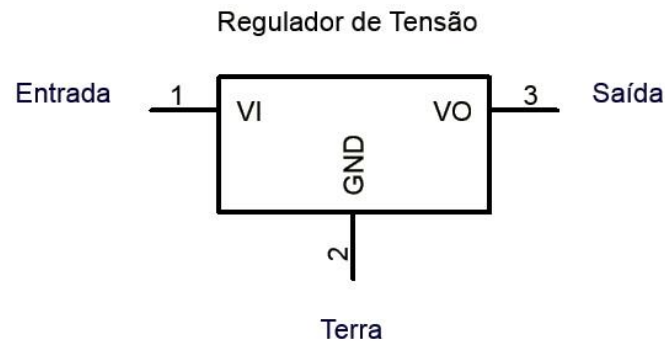
Sua grande vantagem é que além de barato, é facilmente encontrado em lojas de eletrônica.

2.3.5.2 Reguladores de tensão

Os reguladores de tensão funcionam na amplificação da corrente máxima que um diodo zener pode suportar. O diodo zener é semelhante a um diodo regular, porém é projetado para trabalhar sob o regime de condução inversa. A corrente não é limitada pela capacidade do zener, mas sim pela corrente máxima que o coletor pode suportar.

A Figura 24 mostra, de forma geral, como funciona o regulador de tensão, sendo *Input Voltage* (VI), *Voltage Output* (VO) e Terra (GND).

Figura 24 - Transistor como regulador de tensão

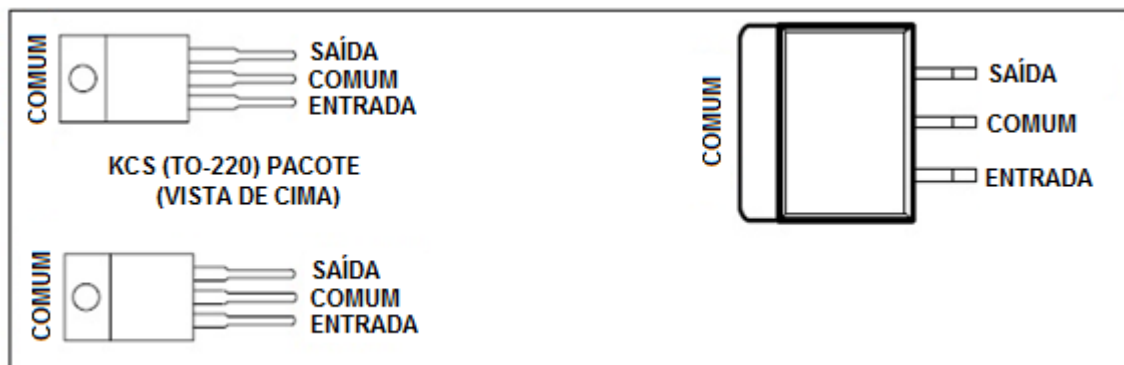


Fonte: Proteus v8.4 SP0 (2017, Captura de tela adaptada)

2.3.5.2.1 LM7805

A Figura 25 mostra a pinagem do regulador de tensão LM7805.

Figura 25 - LM7805



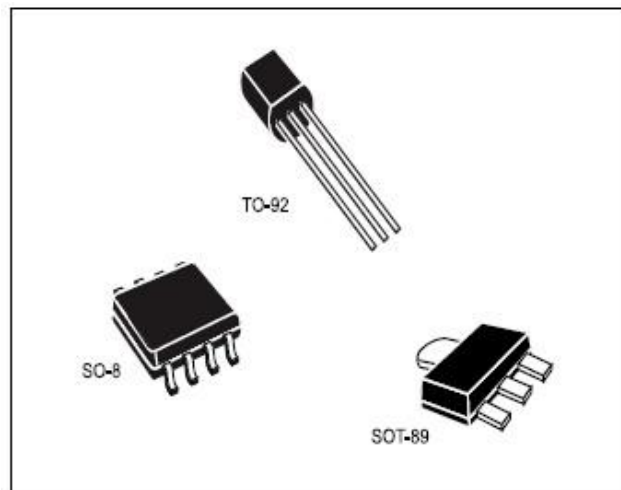
Fonte: Adaptado de Texas Instruments (2003, p.1)

O LM7805 é um regulador de tensão com saída de 5V. Possui um encapsulamento TOP66. Ele é utilizado como limitador primário da fonte que alimenta os motores. É um dos reguladores de tensão mais utilizados.

2.3.5.2.2 LM78L33

A Figura 26 mostra as diferentes formas que o regulador de tensão LM78L33 se encontra disponível no mercado. Neste projeto utilizados o encapsulamento T0-92.

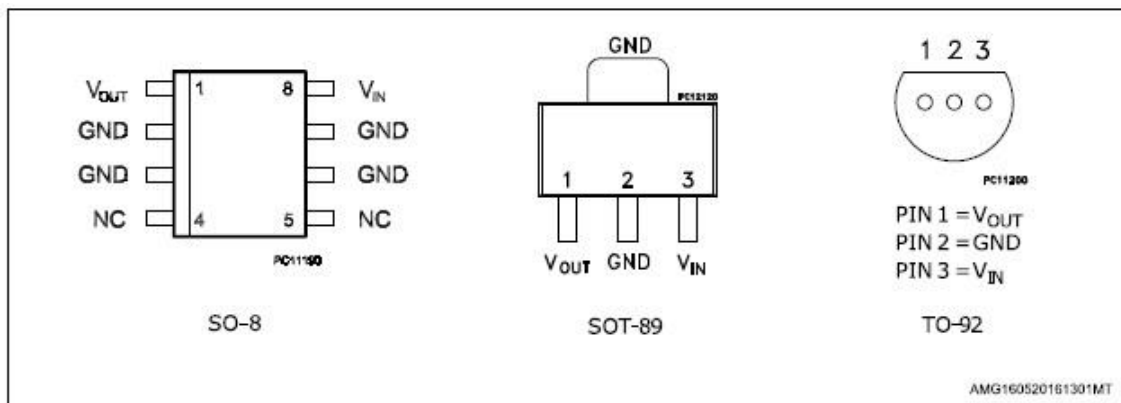
Figura 26 - LM78L33



Fonte: STMicroelectronics (2016, p.1)

A Figura 27 mostra a pinagem do LM78L33.

Figura 27 - Pinagem do LM78L33



Fonte: STMicroelectronics (2016, p.4)

É um regulador de tensão difícil de se encontrar (dada a região) e caro, mas a sua principal vantagem é a facilidade na hora da soldagem, uma vez que a maioria dos reguladores de 3.3V mais comuns no mercado são SMD.

2.3.6 Conectores Jack

O conector Jack J4 utilizado é bastante simples, possuindo terra e entrada de tensão (VCC). Este foi utilizado como conector para a fonte dos motores.

A Figura 28 mostra os conectores Jack utilizados neste projeto.

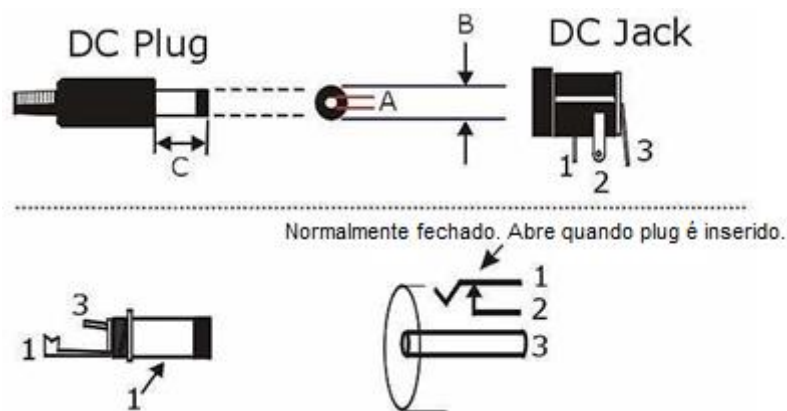
Figura 28 - Conjunto Macho-Fêmea JACK J4 utilizado



Fonte: Autores (2017)

A Figura 29 mostra o esquema de pinos do conector Jack.

Figura 29 - Pinos do conector Jack



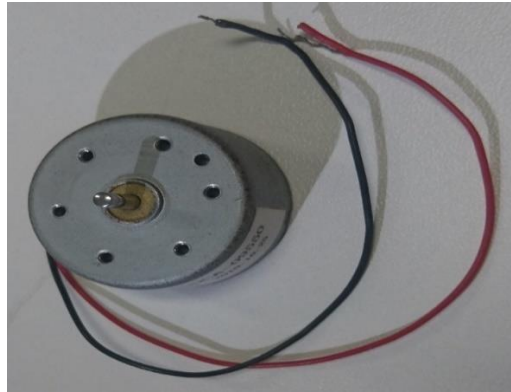
Fonte: Adaptado de Philippine Electronics Forum (2012, online)

No conector macho o pino 1 é o terra e o pino 3 é o VCC. No conector fêmea o pino 3 é o VCC e o pino 1 é o terra, neste projeto não foi utilizado o pino 2.

2.3.7 Motor DC

Segundo Braga (2012a) os motores elétricos convertem energia elétrica em energia mecânica (movimento). Os motores de corrente contínua (CC) ou motores DC (*Direct Current*), como também são chamados, são dispositivos que operam aproveitando as forças de atração e repulsão geradas por eletroímãs e ímãs permanentes. Ao passarem-se correntes elétricas por duas bobinas próximas, os campos magnéticos criados poderão fazer com que surjam forças de atração ou repulsão. A Figura 30 mostra um motor de corrente contínua.

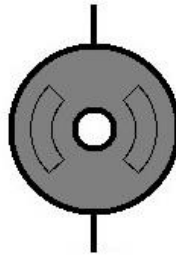
Figura 30 - Motor de corrente contínua



Fonte: Autores (2017)

A Figura 31 mostra a simbologia utilizada nos circuitos elétricos e eletrônicos para representar os motores.

Figura 31 - Simbologia de Motores DC



Fonte: Proteus v8.4 SP0 (2017, Captura de tela adaptada)

Os motores de *vibracall* seguem os mesmos princípios de um motor DC, apenas apresentando um eixo de metal em formato de meia-lua em uma das pontas. A Figura 32 mostra motores *vibracall* de corrente contínua.

Figura 32 - Motores DC Vibracall



Fonte: Autores (2017)

2.4 PADRÃO USB

Segundo Oliveira (2010), o surgimento das portas USB (*Universal Serial Bus*) veio para suprir a necessidade de ligar em um mesmo computador vários periféricos com as características de conectar e acionar imediatamente, sem configurações adicionais, que é o chamado de *plug and play*. A Figura 33 mostra o logo do padrão USB.

Figura 33 - Logo padrão USB



Fonte: USB ORG (2017, online)

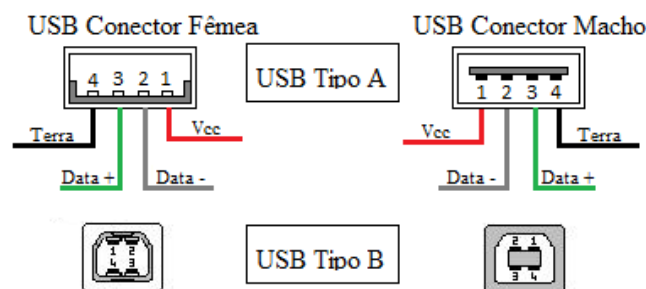
Desde sua invenção, as portas USB vêm evoluindo e já passaram por algumas versões. A versão atual é a 3.0; a mais utilizada, porém, ainda é a 2.0, também chamada de *High-Speed*. Possui uma velocidade de transferência bem superior às versões anteriores, mas ainda é compatível com estas. A velocidade sempre fica limitada à menor versão. A versão 1.1 (*Low-Speed*) possui uma taxa de transferência máxima de 10Mbps, enquanto a versão 2.0 atinge 2.0 os 480Mbps e a versão 3.0 chega aos 5 Gbps.

A comunicação USB acontece sempre entre dois dispositivos: o *Host* e a Aplicação. O primeiro é responsável por detectar a inserção ou remoção de algum dispositivo (Aplicação). O *Host* gerencia o fluxo de dados e a interface elétrica com a Aplicação. Na versão 2.0, cada *Host* suporta até 127 dispositivos.

Fisicamente, os dispositivos USB são ligados por meio de um cabo, que em cada extremidade possui conectores chamados de tipo A e tipo B. Pelo padrão USB, o tipo A é conectado na Aplicação e o tipo B no Host.

A Figura 34 mostra a sequência dos pinos nos conectores USB A e USB B.

Figura 34 - Pinagem dos conectores USB A e USB B



Fonte: Adaptado de Electro Schematics (2014, online)

Os cabos e conectores USB até a versão 2.0 possuem quatro fios condutores, dois para alimentação e dois para a transmissão de dados. Os fios de alimentação (Vbus e Gnd) são utilizados para alimentar a aplicação em +5v, quando for necessário. Para cada porta USB, o Vbus possui uma corrente de 5mA. Já nos fios de dados (D+ e D-) acontece a comunicação entre os dispositivos, que se dá pela diferença de tensão entre eles. A pinagem dos conectores pode ser visualizada na Tabela 2.

Tabela 2 – Detalhamento dos pinos do USB

	Pino	Sinal	Nome	Cores	Descrição
Tipo A e B	1	Vbus	Vbus	Vermelho	Alimentação para a aplicação (+5V).
	2	D-	Data	Branco	Os dados são transmitidos através dos fios D+ e D-, pela diferença de tensão.
	3	D+		Verde	
	4	Gnd	Ground	Preto	Terra.
	Shell	Shell	Shield	Blindagem	Blindagem de proteção

Fonte: Adaptado de Oliveira (2010, p.60)

Neste projeto foram utilizadas as portas 24 e 23 do PIC18F4550, com base no *datasheet*, como D+ e D-, respectivamente.

A tecnologia USB não é de domínio público. Cada fabricante de equipamentos eletrônicos que a utiliza compra uma licença.

Para este projeto utilizou-se o VENDOR ID e o PRODUCT ID que são disponibilizados pela Microchip, ver capítulo 4.2 SOFTWARE. Desta forma foi possível utilizar a tecnologia USB de forma legal.

3 FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo serão descritas as ferramentas usadas para o desenvolvimento da solução. Sem intenção de detalhar de forma específica cada ferramenta, serão apresentadas, mais diretamente, as funcionalidades empregadas para o propósito do jogo.

3.1 UNITY

Unity, também conhecido como Unity 3D, é uma *engine* para desenvolvimento de jogos e uma IDE criada pela Unity Technologies. Foi utilizada para o desenvolvimento do software de demonstração da funcionalidade do hardware. Foi utilizada a versão 5.5.2f1 neste projeto.

A Figura 35 mostra o logo da *engine* Unity.

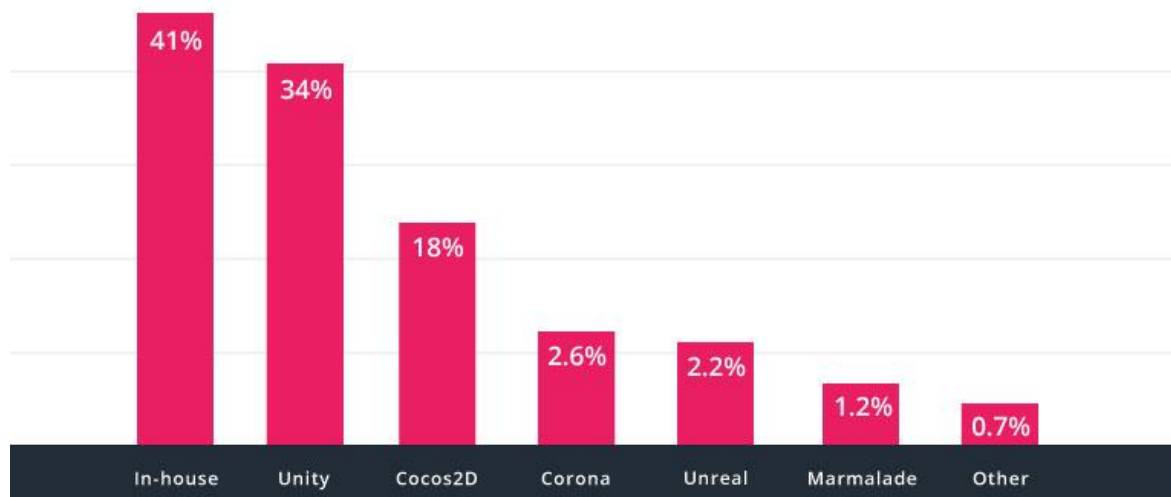
Figura 35 - Logo Unity



Fonte: Unity (2017, online)

De acordo com a análise que o Unity efetuou (2016, online), a ferramenta é uma das mais populares entre os desenvolvedores. A Figura 36 mostra que 34% dos 1000 maiores jogos grátis para dispositivos móveis são feitos com o Unity.

Figura 36 – Porcentagem das ferramentas utilizadas para os jogos *mobile*



Fonte: Unity – Company Facts (2016, online)

O Unity foi escolhido como a ferramenta de desenvolvimento do ambiente virtual por motivos de possuir uma versão gratuita, além de ter materiais e vídeos aulas ensinando como utiliza-lo. O Unity apresenta uma interface amigável, facilitando a sua utilização para aqueles que não são experientes, além disto, possui uma grande comunidade, isso acarreta facilidade em encontrar pessoas dispostas a tirar dúvidas sobre a ferramenta.

3.2 MICROCHIP

Microchip Technology Inc. é uma empresa norte americana de semicondutores. É uma das líderes de mercado na solução de microcontroladores, seus produtos são bastante utilizados e bem documentados.

Além disso a Microchip disponibiliza todas as ferramentas necessárias, a maioria de forma gratuita, para que o hardware desenvolvido por ela tenha o melhor firmware possível.

Devido a utilização do PIC18F4550, microcontrolador da Microchip, foi adotada algumas destas ferramentas de desenvolvimento de firmware.

A Figura 37 mostra o logo da empresa Microchip.

Figura 37 - Logo Microchip

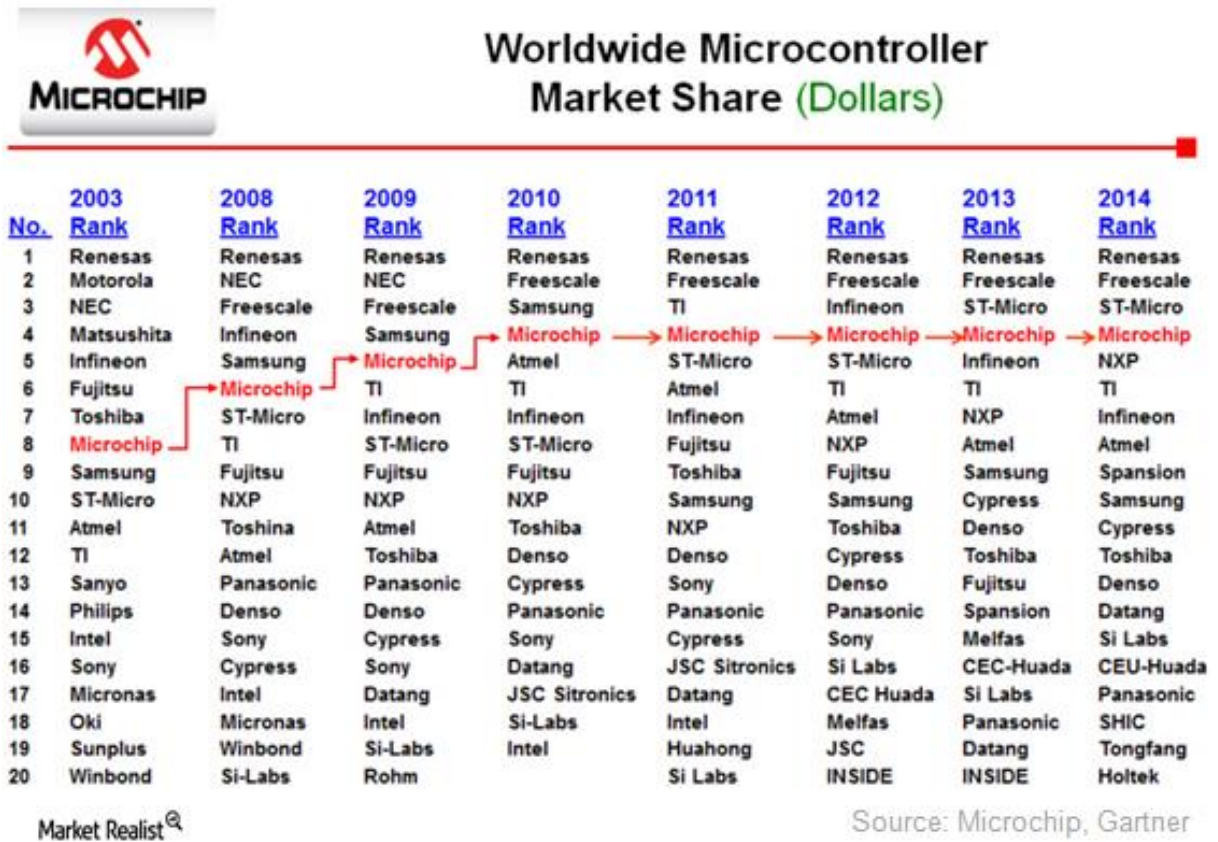


Fonte: Microchip (2017, online)

De acordo com Market Realist (2016, online), no ano de 2003 a Microchip era a 8ª maior companhia de microcontroladores do mercado e em 2014 era 4ª maior. Devido a essa grande participação no mercado, buscou-se utilizar produtos e tecnologias da Microchip para uma maior segurança e confiabilidade do microcontrolador escolhido.

A Figura 38 apresenta a lista dos principais fabricantes de microcontroladores do mundo e suas respectivas posições no cenário mundial, assim como o ano da análise.

Figura 38 - Quota do mercado mundial de microcontroladores



Fonte: Market Realist (2016, online)

3.2.1 MPLAB X IDE v3.30

O MPLAB X é um aplicativo com a função de ambiente de desenvolvimento integrado, disponibilizado gratuitamente pela Microchip. Neste aplicativo foi feita a criação, organização e compilação do hexadecimal gravado no PIC18F4550. Foi utilizada a versão 3.30 para o projeto proposto.

A Figura 39 mostra a tela de carregamento do MPLAB X IDE.

Figura 39 - Tela de carregamento do MPLAB X IDE



Fonte: Microchip (2017, captura de tela)

3.2.2 XC8

O XC8 é um compilador de C compatível com o MPLAB X, que também é distribuído gratuitamente pela Microchip. Foi utilizada a versão 1.41 neste projeto.

A Figura 40 mostra a tela de carregamento da instalação do MPLAB XC COMPILER.

Figura 40 - Tela de carregamento da instalação do MPLAB XC COMPILER



Fonte: Microchip (2017, captura de tela)

3.2.3 Microchip Libraries for Applications

Microchip Libraries for Applications, ou MLA, é um conjunto de bibliotecas, projetos e soluções distribuídas gratuitamente pela Microchip. Foram utilizadas algumas dessas bibliotecas como código base para o código gerado para o PIC18F4550. Foi utilizada a versão de 2016/08/08 neste projeto.

A Figura 41 mostra a tela de instalação do pacote MLA v2016/08/08.

Figura 41 - Tela de instalação do pacote MLA v2016/08/08



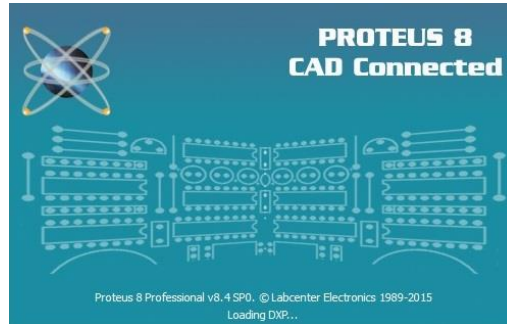
Fonte: Microchip (2017, captura de tela)

3.3 PROTEUS

O Proteus é um programa CAD, do inglês *Computer Aided Design*, utilizado para a criação do layout das placas de circuito impresso. Foi utilizada a versão 8.4 SP0 neste projeto.

A Figura 42 mostra a tela de carregamento do Proteus 8.

Figura 42 - Tela de carregamento do Proteus 8



Fonte: Labcenter Electronics (2017, captura de tela)

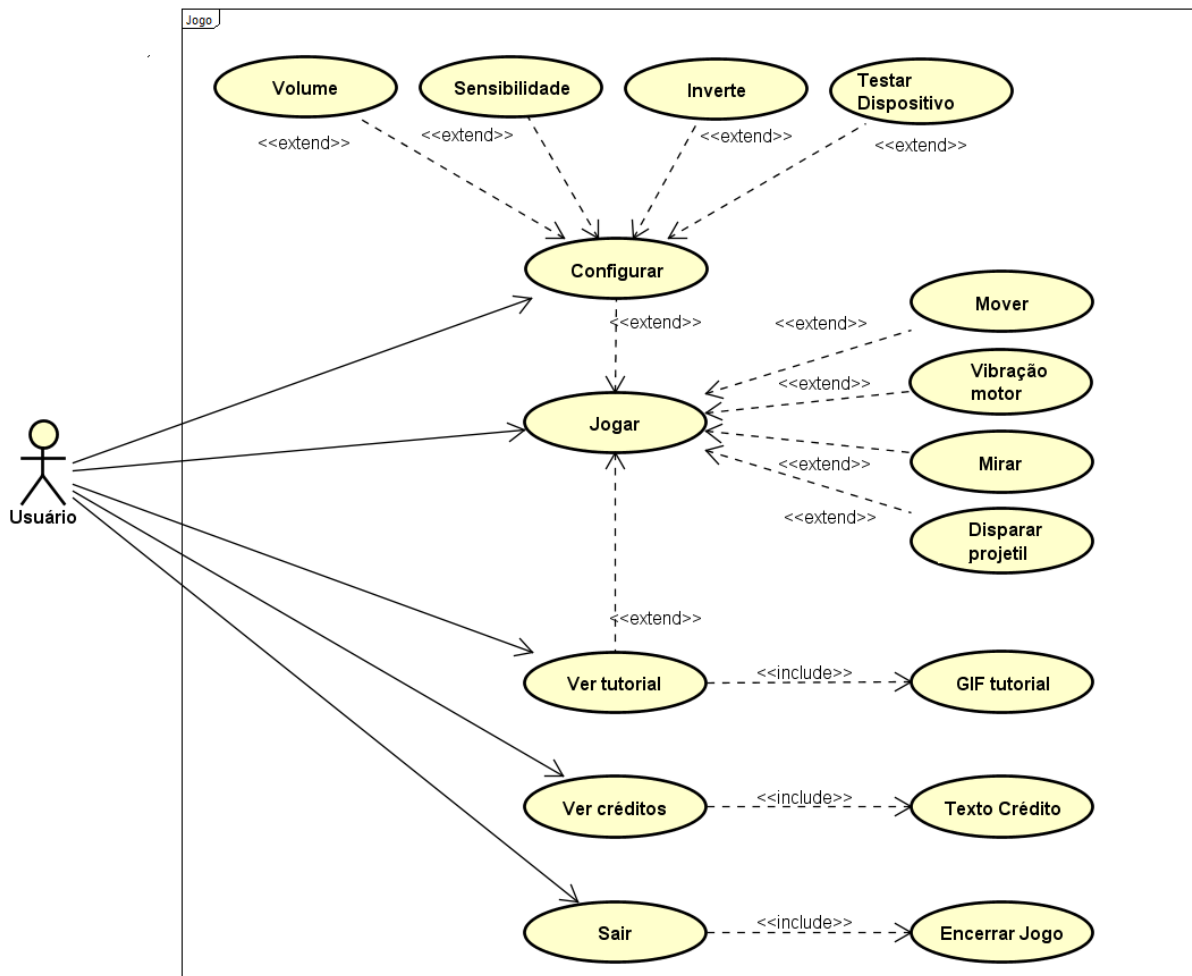
4 DESENVOLVIMENTO DO AMBIENTE E JOGABILIDADE

Neste capítulo será descrito o desenvolvimento do software da solução, bem como a modelagem do sistema, objetivando explicar o funcionamento do produto através de um diagrama de caso de uso e de um infográfico. Além de mostrar uma sequência das telas para a demonstração da jogabilidade e a apresentação do fluxograma. No final será explicado a questão de hardware desenvolvido.

4.1 MODELAGEM DO SISTEMA

O caso de uso da Figura 43 ilustra que o ator usuário pode jogar, configurar, ver tutorial, ver créditos e sair. Ao escolher configurar, o usuário tem as opções (extend): ajustar o volume; ajustar a sensibilidade do mouse; inverter o movimento do mouse; testar o dispositivo. Escolhendo tutorial, um GIF (*Graphics Interchange Format*) será apresentado. Selecionando Jogar, o usuário poderá escolher as opções: de mover; mirar; disparar projétil; vibrar o motor, sendo explicado no subitem 4.2; configurar, já mencionado anteriormente; ver tutorial. Ao selecionar crédito, um texto com os créditos será apresentado. A opção sair encerrará o software.

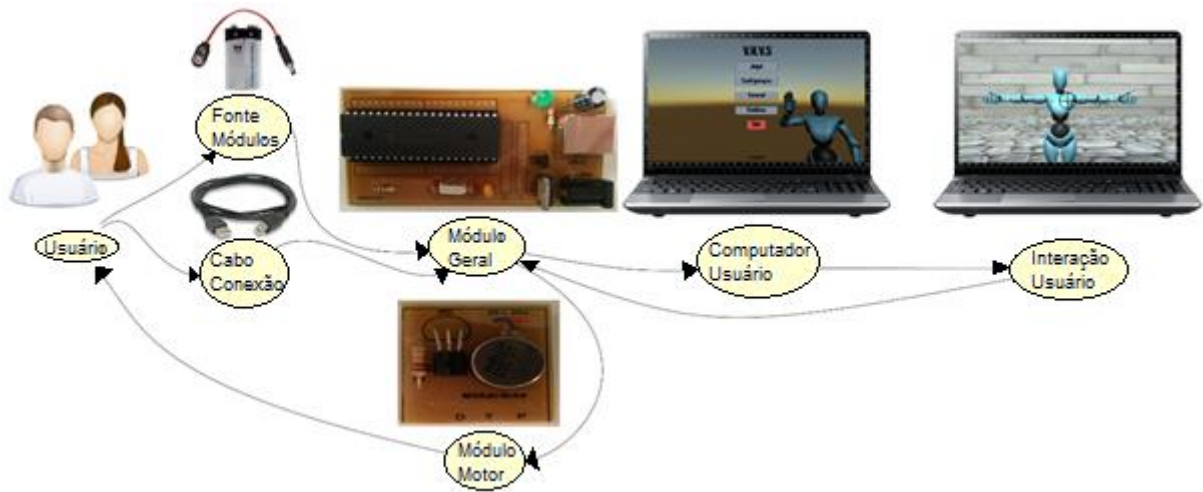
Figura 43 – Caso de uso



Fonte: Autores (2017)

A Figura 44 demonstra o infográfico de como o usuário pode interagir com o VRVS. O jogador terá uma interação com o cabo USB e a bateria, que se conectarão com o Módulo Geral. O usuário ao interagir com o jogo, o jogo enviará informações para o Módulo Geral, no qual mandará ativar o Módulo Motor, passando a vibração para o usuário.

Figura 44 - Infográfico



Fonte: Autores (2017)

4.2 SOFTWARE

4.2.1 Unity

O software desenvolvido é um jogo na qual foi utilizado a *engine* Unity para o seu desenvolvimento. O jogo é simples com o objetivo de demonstrar o funcionamento do hardware. Sendo da categoria *shooter*, o usuário poderá escolher disparar entre dois bonecos, cada boneco possui 10 regiões-alvo, caso a região-alvo seja atingida, o motor de vibração localizado nessa mesma região na camisa do usuário vibrará. Conforme apresentado no capítulo 1, introdução deste trabalho.

A Figura 45 é a cena inicial do jogo, onde tem-se 5 opções: “Jogar”, “Configuração”, “Tutorial”, “Créditos” e “Sair”. A opção “Sair” encerra o jogo.

Figura 45 – Menu Principal



Fonte: Autores (2017)

A Figura 46 mostra a tela que surge quando é acionada a opção “Configuração”. Nesta tela é possível ajustar o volume do jogo, a sensibilidade do mouse, a inversão do movimento no eixo Y do mouse e a opção “Voltar” é a opção na qual voltará para a cena do menu principal.

Figura 46 – Configuração



Fonte: Autores (2017)

Através da Figura 47, é possível checar se o hardware está ou não conectado e o botão Testar Conexão testará se a conexão entre o hardware foi efetuado com sucesso.

Figura 47 – Testar Dispositivo



Fonte: Autores (2017)

A Figura 48 é a opção “Tutorial”, que consiste de um GIF que ensinará como jogar o jogo.

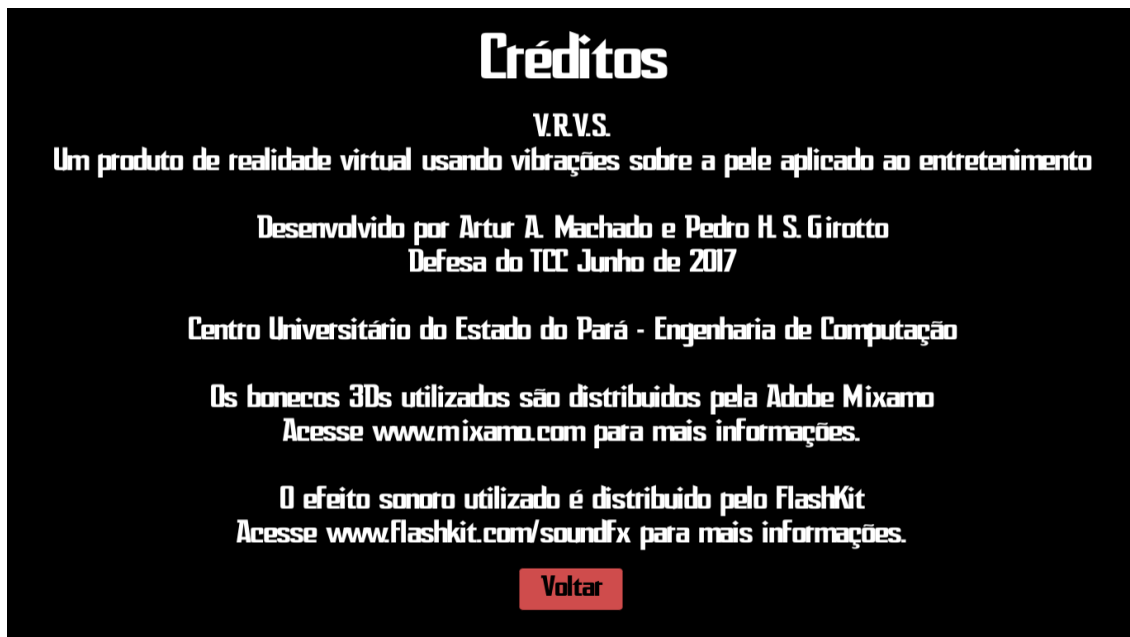
Figura 48 – Tutorial



Fonte: Autores (2017)

A Figura 49 é a opção “Créditos” que apresentam os créditos de quem desenvolveu o jogo e o hardware, além de mostrar os sites de onde alguns dos materiais foram retirados.

Figura 49 – Créditos



Fonte: Autores (2017)

A Figura 50 mostra a tela de quando se escolhe a opção “Jogar”. O usuário pode mover o boneco através das teclas *W*, *A*, *S* e *D*, Assim, *W* é utilizado para movê-lo para frente, *A* para move-lo para esquerda, *S* para move-lo para trás e *D* para move-lo para direita. Para rotacionar a câmera e o boneco utiliza-se o mouse. O botão direito do mouse é utilizado para mirar com a arma e se o botão esquerdo do mouse for pressionado enquanto se mira, será efetuado o disparado da arma.

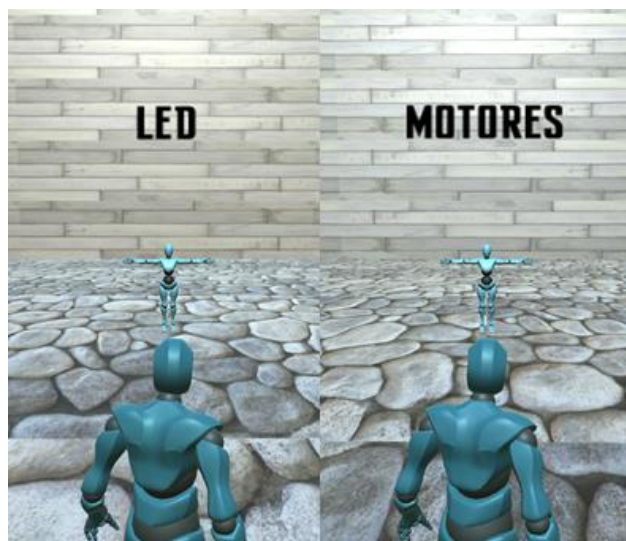
Figura 50 – Jogar



Fonte: Autores (2017).

Ao andar pelo ambiente, são encontrados dois bonecos em posição de T, como a Figura 51 mostra. Esses boneco são os alvos e é a partir deles que se fará utilizado a demonstração da camisa. O boneco com o texto LED é para a demonstração da camisa onde os LEDs estão instalados e o boneco com o texto MOTORES é para a demonstração da camisa que está montada com os motores. Deve ser ressaltado que a camisa com LEDs foi implementado com o propósito de demonstrar visualmente o funcionamento do projeto, conforme melhor descrito no capítulo 6 sobre resultados obtidos.

Figura 51 – Alvos



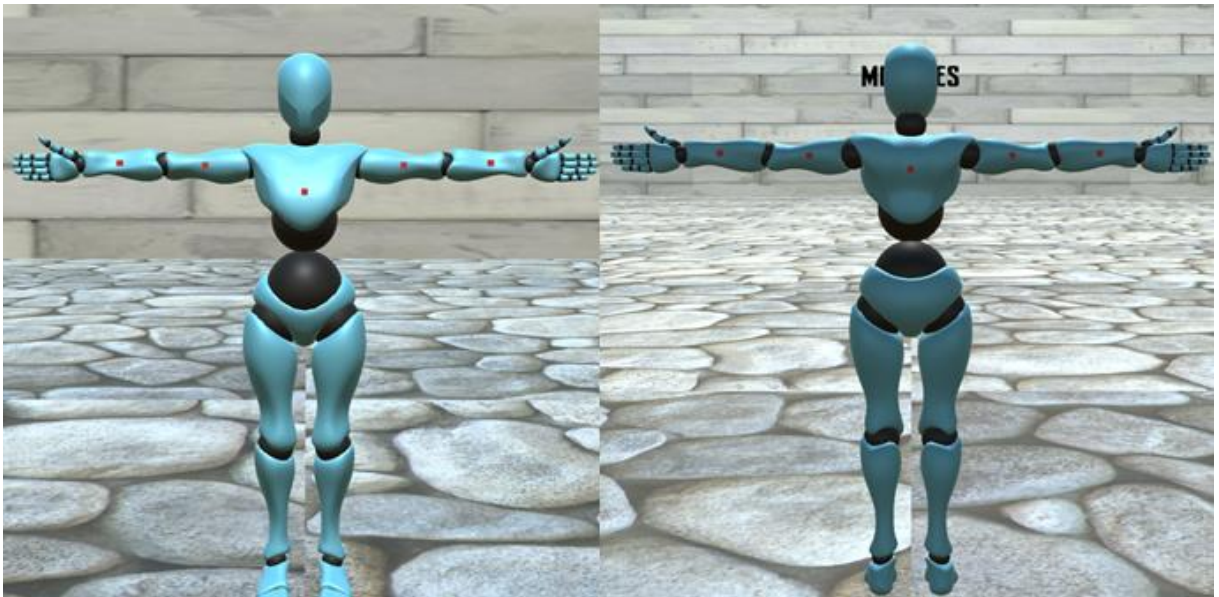
Fonte: Autores (2017)

Os bonecos em T possuem 10 regiões-alvo destacadas, conforme indicado na Figura 52 e na Figura 53.

Quando o usuário disparar o projétil em uma dessas 10 regiões, caso seja o boneco LED, o LED localizado naquela região piscará e caso seja o boneco MOTORES, o motor localizado naquela região vibrará.

A Figura 52 demonstra a vista frontal e traseira da implementação em LED, enquanto a Figura 53 demonstra a vista frontal e traseira da implementação em motores.

Figura 52 – Regiões do boneco LED



Fonte: Autores (2017).

Figura 53 – Regiões do boneco motores

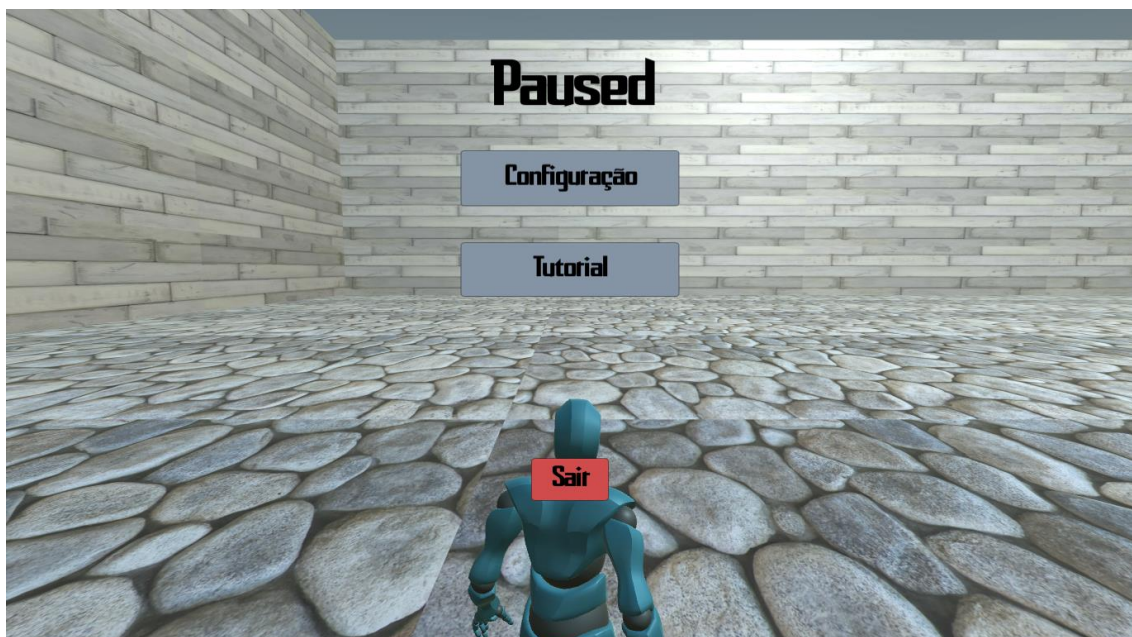


Fonte: Autores (2017)

A Figura 54 mostra um menu dentro da cena “Jogar”. Nesse menu o usuário terá acesso novamente à configuração, o mesmo da Figura 46 e da Figura 47, e ao tutorial, o mesmo da Figura 48.

A opção “Sair” é utilizada para fechar essa cena e voltar para o menu principal, mostrada na Figura 45.

Figura 54 – Menu



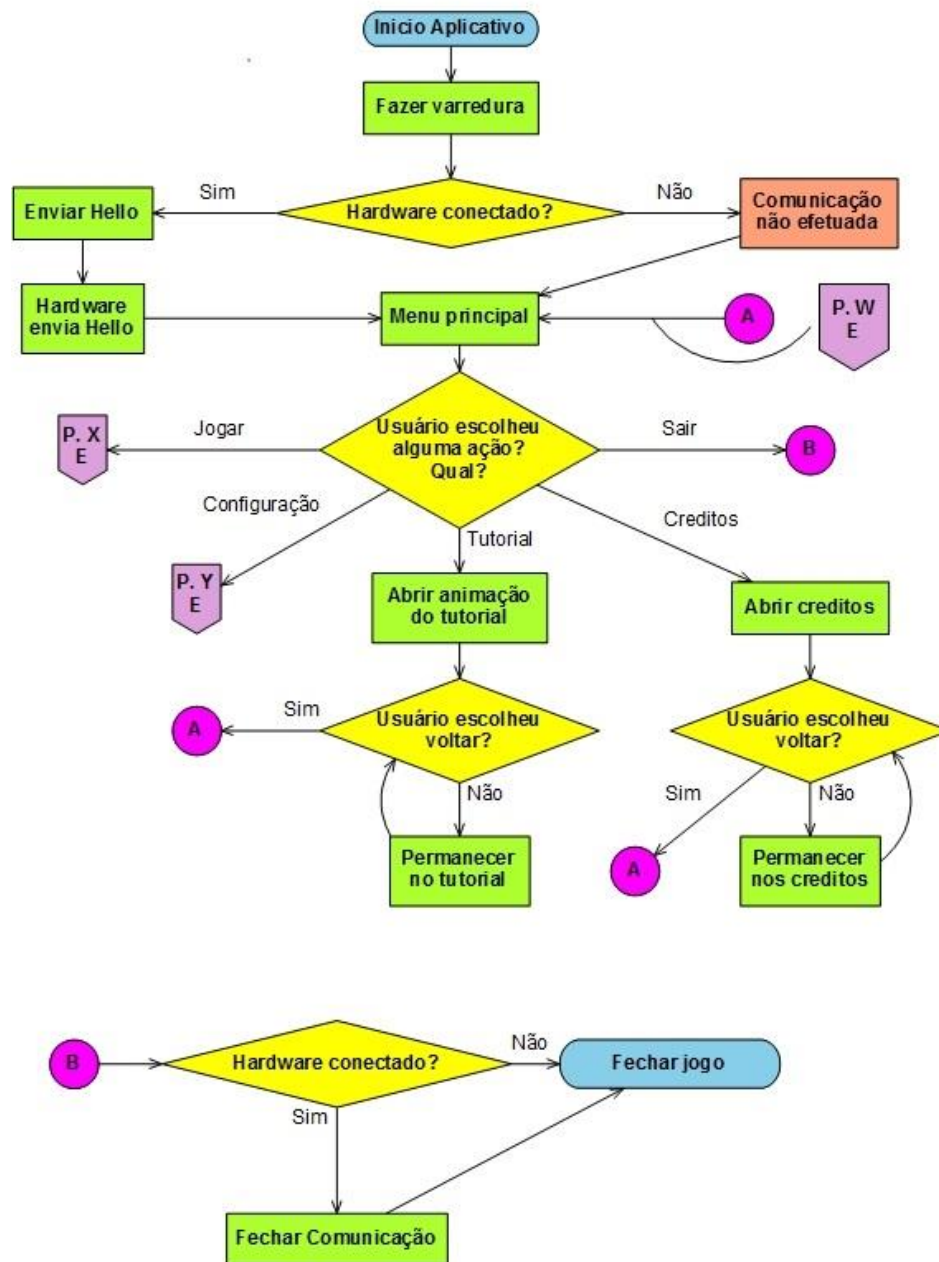
Fonte: Autores (2017)

4.2.2 Fluxograma

As Figuras 55, 56, 57 e 58 a seguir apresentam o fluxograma do jogo, dividido em 4 figuras, devido ao seu tamanho. A Figura 55 é o início do fluxograma, que inicia uma varredura à procura do hardware VRVS. Caso esteja conectado, estabelecerá a comunicação, caso não, a comunicação não será estabelecida.

Depois da etapa de varredura, o usuário terá à disposição 5 escolhas: jogar; configuração, tutorial; créditos e sair, conforme já exposto anteriormente no subtema 4.2.1. Caso seja escolhido a opção tutorial, abrirá um GIF ensinando como jogar e esse GIF ficará em um loop até que a opção voltar seja escolhida. Caso seja escolhida a opção créditos, um texto será plotado mostrando quem desenvolveu o jogo e os sites dos recursos utilizados para o desenvolvimento do jogo, o texto ficará exposto até a opção voltar seja escolhida. Caso a opção sair seja escolhida, o software verificará se o hardware está conectado, caso esteja, a comunicação será encerrada e o software encerrado.

Figura 55 – Fluxograma P. W

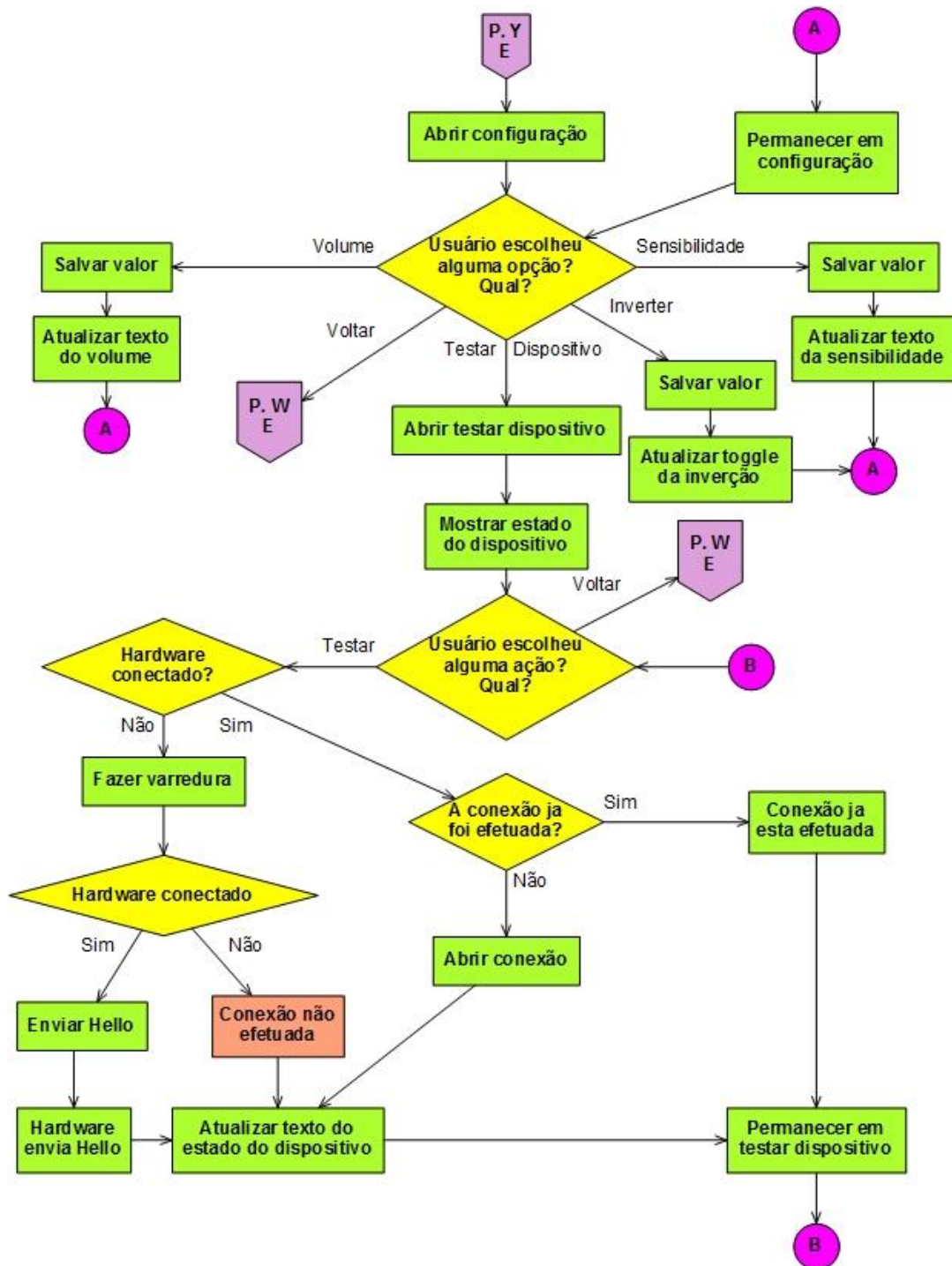


Fonte: Autores (2017)

O fluxograma da opção configuração está representado na Figura 56. Nesta tela o usuário terá 5 opções para escolher: volume, sensibilidade, inverter, testar dispositivo e voltar. Caso a opção volume seja escolhida, o valor alterado do volume será salvo e o texto mostrando o valor atual será atualizado. Caso a opção sensibilidade seja escolhida, o valor alterado da sensibilidade do mouse será salva e o texto mostrando o valor atual será atualizado. Caso a opção inverter seja selecionada, o movimento do eixo Y no jogo será invertido e a caixa será marcada. Caso a opção voltar seja escolhida, o usuário voltará para o fluxograma da Figura 55.

Já na opção testar dispositivo, uma nova tela será aberta, onde o usuário terá a opção de ver se o hardware está conectado e finalmente a opção de testar o hardware. Ao escolher a opção de “testar”, o jogo fará uma varredura, caso o hardware responda, o jogo estabelecerá a comunicação e atualizará o texto mostrando o estado atual do hardware e em qual porta serial está conectado.

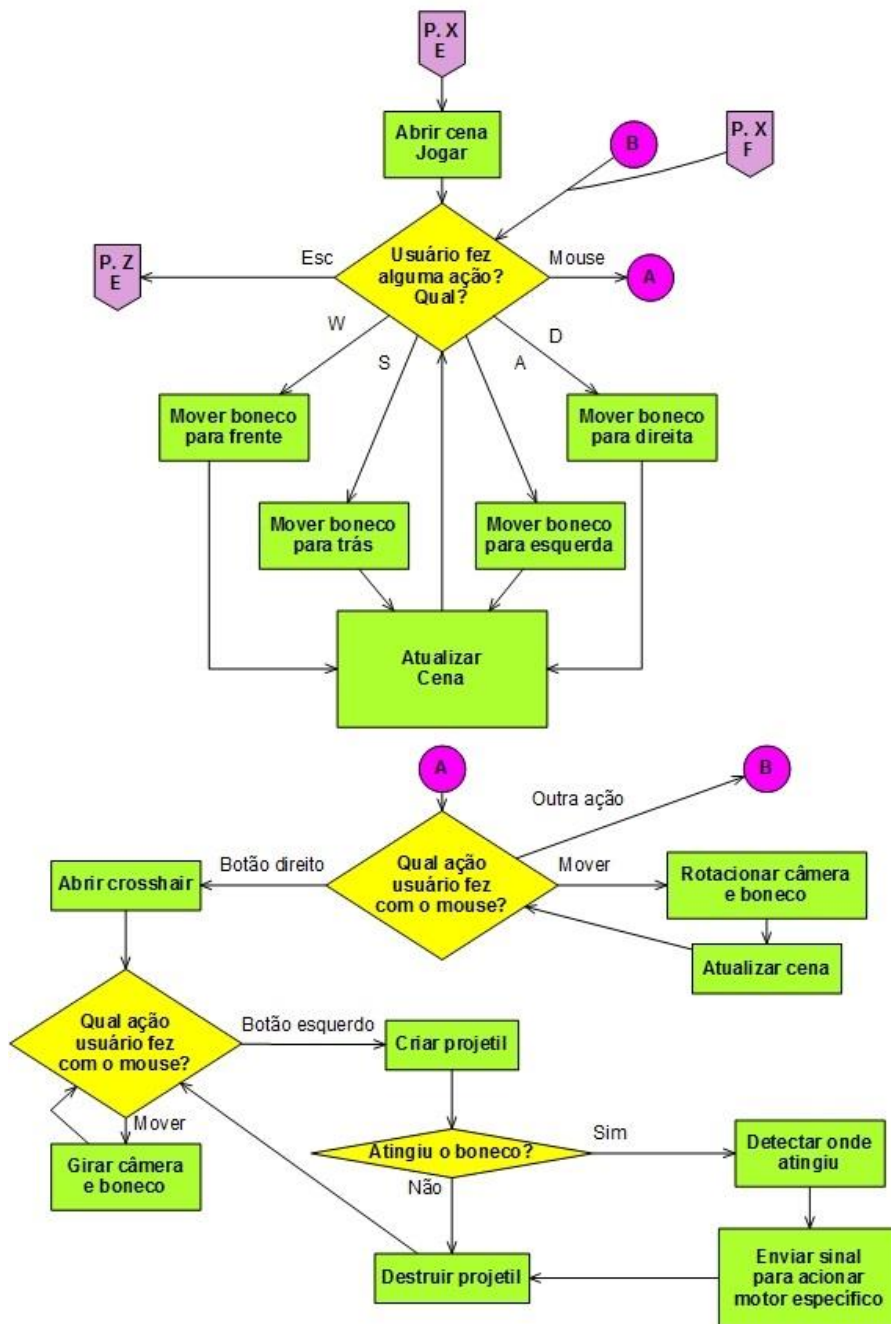
Figura 56 – Fluxograma P. Y



O fluxograma da opção “jogar” está representado na Figura 57. O fluxograma a seguir demonstra os comportamento do jogo em si, onde o usuário terá as opções de se mover usando as teclas *W*, *A*, *S*, *D*, como mostra pelo bloco de seleção (losango), conforme destacado anteriormente no subtema 4.2.1. A rotação do boneco é através da opção mouse, onde o botão direito fará que o boneco comece a mirar, *crosshair*, se o botão esquerdo for pressionado enquanto estiver nesse estado, o projétil será disparado. Caso o projétil atinja o boneco, a região atingida será detectada e o comando será enviado para o módulo geral para acionar o motor daquela região. Caso o projétil não atinja o boneco, o mesmo será destruído.

No fluxograma da Figura 57, o usuário terá a opção de apertar a tecla ESC, onde levará para o fluxograma da Figura 58.

Figura 57 – Fluxograma P. X

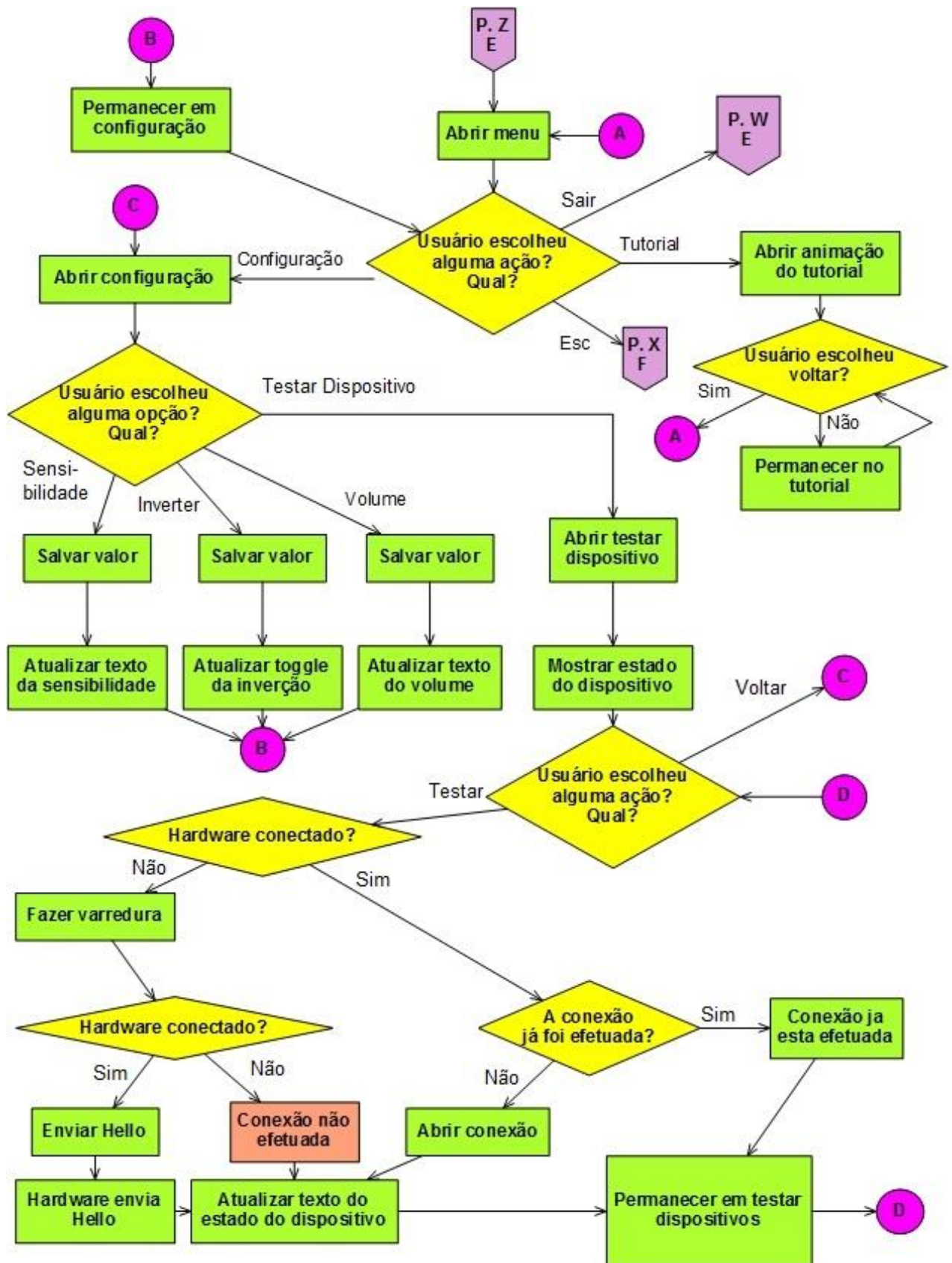


Fonte: Autores (2017)

No fluxograma da Figura 58, o usuário terá acesso a 3 opções: configuração, tutorial e sair. A opção “configuração” é a mesma apresentada anteriormente e apresenta a mesmas funções, o mesmo se equivale para a opção tutorial.

A opção “sair” fará que o usuário volte para o fluxograma da Figura 55 e assim recomeçando o ciclo.

Figura 58 – Fluxograma P. Z



Fonte: Autores (2017)

4.2.3 PIC

O software desenvolvido para o projeto teve como base o MLA v2016.08.08 e tem como finalidade a conexão com um computador e a possibilidade de troca de dados entre os dois dispositivos.

O código foi totalmente escrito em C, com aproximadamente 2000 linhas, que promovem a conexão, o recebimento e controle de dados trocados entre o dispositivo e o computador, no qual ocasionam o acionamento e desligamento dos motores.

Para a utilização do padrão USB é utilizado o VENDOR ID e PRODUCT ID disponibilizado pela Microchip dentro do pacote MLA.

A Figura 59 mostra a foto do ícone do hexadecimal gerado.

Figura 59 - Ícone do hexadecimal gerado



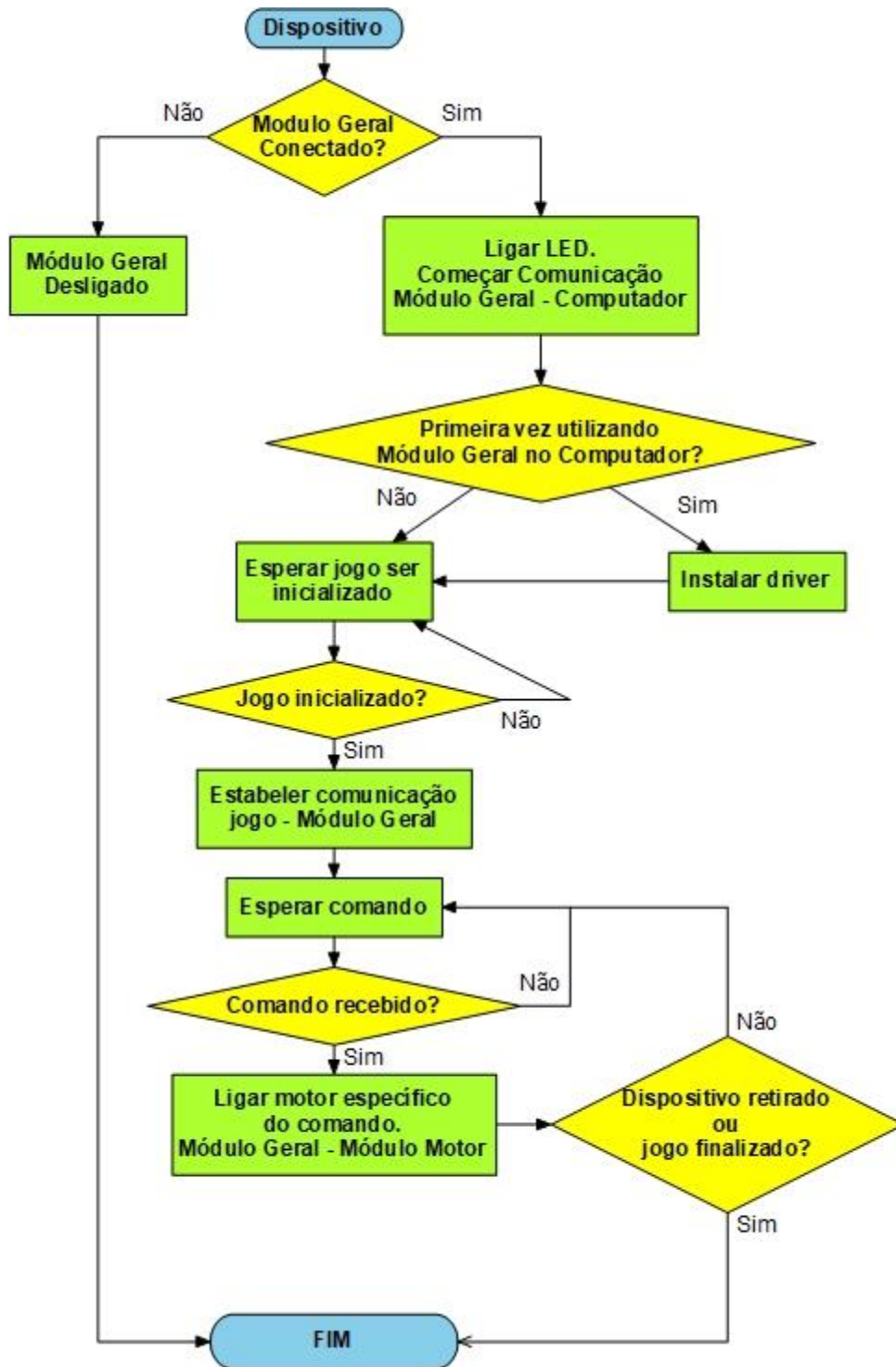
Fonte: Autores (2017)

A Figura 60 apresenta o fluxograma de estados e respostas do hardware VRVS. Considerando o estado inicial do dispositivo como desconectado. Caso o estado continue desconectado na entrada USB, o sistema não é alterado.

Caso o sistema seja conectado, o computador (*host*) executará uma verificação para saber se é a primeira vez que o dispositivo conecta-se nesta porta USB. Com base nessa verificação o sistema instalará o *driver*, caso seja a primeira vez, ou aguardará o jogo ser iniciado.

Com o jogo iniciado, o Módulo Geral estabelece conexão e aguarda os comandos para acionar os motores que se encontram nos Módulos Motores. Desde que a conexão permaneça estabelecida, o hardware VRVS fica nesse estado de aguardar e acionar motores até que o jogo seja finalizado ou o hardware seja desconectado.

Figura 60 - Fluxograma de estados do hardware VRVS



Fonte: Autores (2017)

4.3 HARDWARE

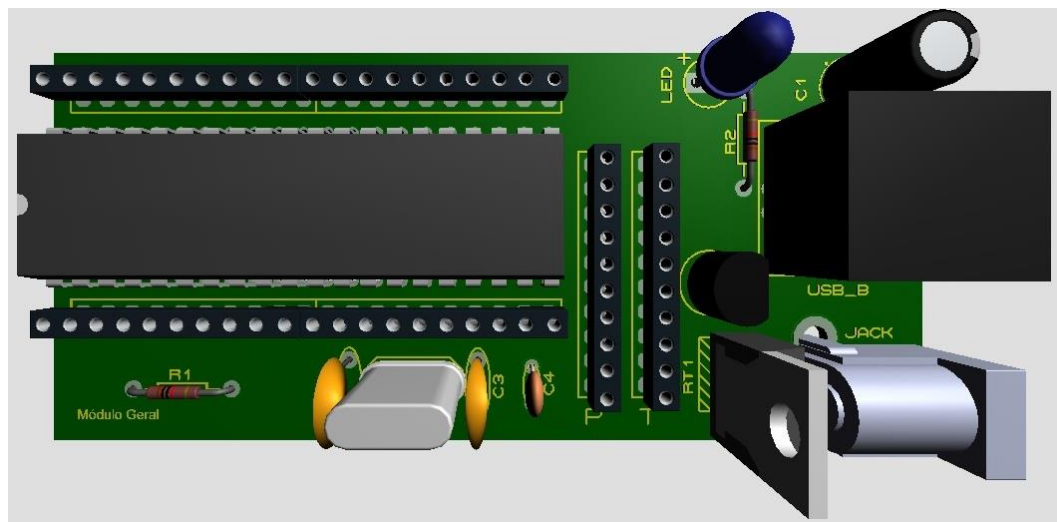
4.3.1 Módulo Geral

O Módulo Geral é o módulo mais importante do hardware desenvolvido, pois abriga o microcontrolador, seu circuito de suporte e o circuito de fonte para os motores que estão espalhados pelos Módulos Motores.

A Figura 61 mostra a visualização 3D da placa do Módulo Geral no ambiente CAD. A placa foi confeccionada na medida de 40x90mm.

A adoção desta medida está amparada na acomodação dos componentes discretos e do microcontrolador de forma confortável e prevê uma possibilidade de expansão sem que seja necessário a substituição do módulo, conservando o tamanho reduzido que favorece a portabilidade do produto.

Figura 61 - Vista 3D do Módulo Geral



Fonte: Autores (2017)

O Módulo Geral é constituído dos materiais presente nas Tabela 3.

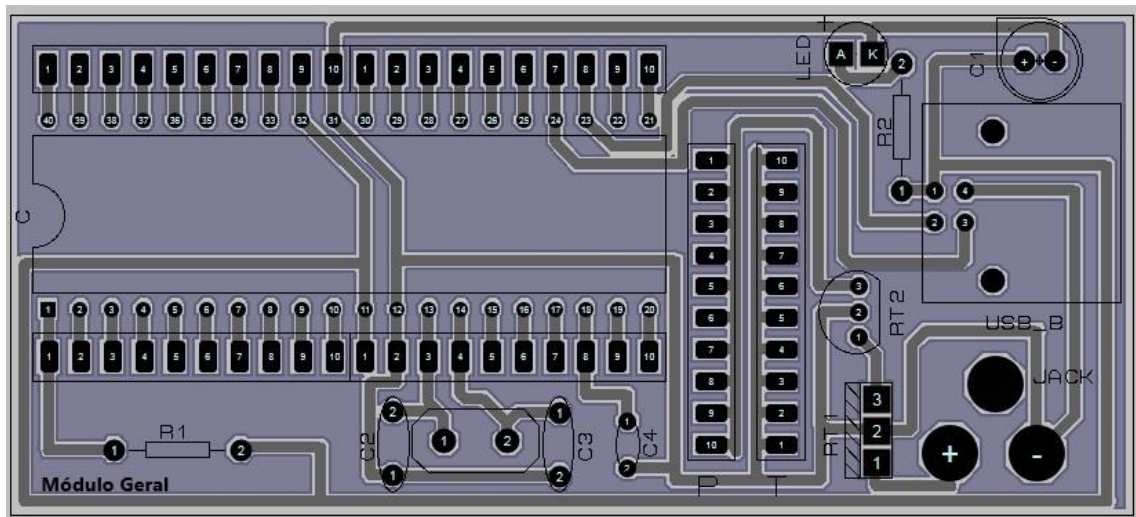
Tabela 3 – Materiais do Módulo Geral

Símbolo	Nome Componente	Símbolo	Nome Componente
C	PIC18F4550	R1	Resistor 1k Ω de 1/8w
C1	Capacitor Eletrolítico 100 μ F x 35v	R2	Resistor 330 Ω de 1/8w
C2	Capacitor Cerâmico 22pF x 50v	LED	LED verde de 3mm
C3	Capacitor Cerâmico 22pF x 50v	OSC	Cristal 20 MHz
C4	Capacitor Multicamada 470nF x50v	RT1	LM7805
USB_B	Conector USB_B Fêmea	RT2	LM78L33
JACK	Conector Jack P4 Fêmea		

Fonte: Autores (2017)

Na Figura 62 é possível ver o esquema de ligação dos componentes, suas posições e polaridades.

Figura 62 - Layout do Módulo Geral

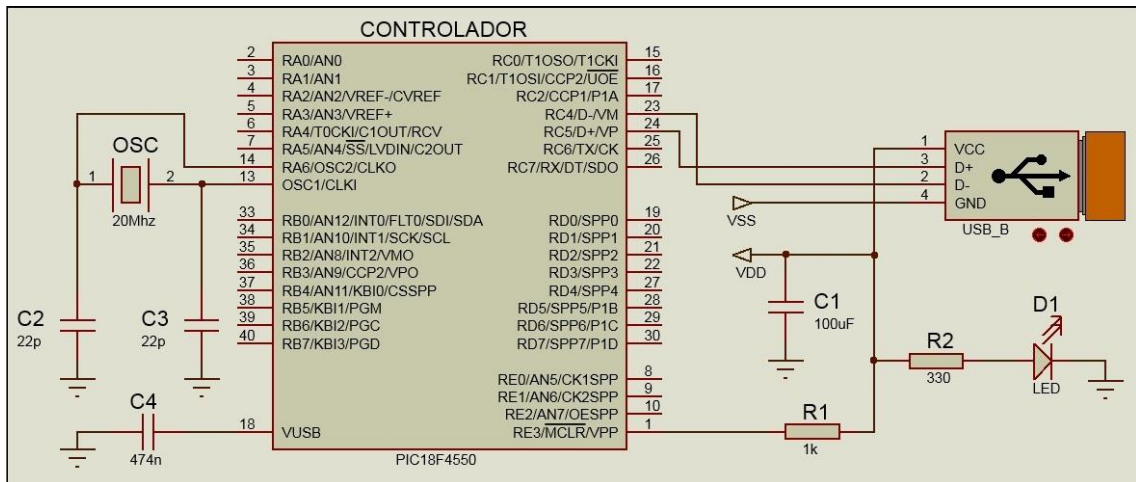


Fonte: Autores (2017)

A partir do esquema eletrônico (Figura 62) é mais fácil entender o funcionamento do circuito. A energia de alimentação vem do Host (Computador), com aproximadamente +5V e máximo de 400mA, sendo então direcionada para três pontos:

- R1, que é uma resistência de $1k\Omega$ ligada diretamente ao pino 1 do PIC18F4550, o VPP (que quando está recebendo energia permite a utilização de funções mais específicas, como a comunicação USB). É nesta porta que se implementa o reset, que devido não ter necessidade, não foi implementado;
- R2, que é um resistor de 330Ω para proteger o LED, este LED serve apenas para sinalizar de que o sistema está recebendo energia, não possuindo nenhuma conexão lógica com o PIC;
- C1, que é um capacitor eletrolítico de $100\mu F$ responsável pela filtragem das oscilações de energia que vem da porta USB. Este capacitor está ligado em paralelo com as portas (11 e 32) de alimentação (VDD) do PIC18F4550.

Figura 63 - Esquema eletrônico Módulo Geral (Parte Controlador)



Fonte: Autores (2017)

As portas de dados D+ e D- do USB estão ligadas diretamente nas portas de D+ e D- do PIC18f4550.

O oscilador de cristal de 20MHz é ligado diretamente nas portas (13 e 14) reservadas para o oscilador externo do microcontrolador. Cada perna do oscilador esta, por sua vez, ligada em paralelo com capacitor cerâmico de 22pF (C2 e C3) para manter a estabilidade do cristal.

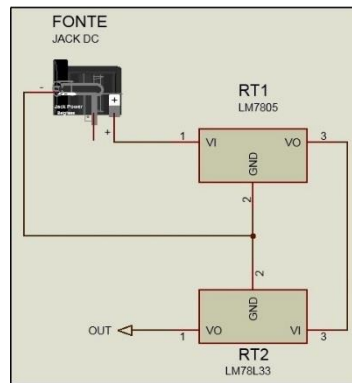
O C4 é um capacitor cerâmico de multicamadas de 470nF que é responsável pela estabilidade eletrônica interna responsável pela comunicação USB.

Todo o sistema divide a mesma malha de aterramento. O sistema possui duas saídas de terra (GND-ground), uma da porta USB e a outra do terra da fonte dos motores, conforme a Figura 64 a seguir, que representa o esquema eletrônico da fonte de motores.

Deste esquema pode-se perceber que uma bateria de 9V, ou uma fonte CC de 6V até 25V, pode ser conectada no JACK. Já a energia que passa por ele é direcionada para o LM7805 que separa 5V e direciona para o LM78L33. A saída deste é de 3V a 3.5V e é direcionada diretamente para os motores.

A tensão elétrica que não e utilizada é devolvida para a fonte geradora desta energia.

Figura 64 - Esquema eletrônico Módulo Geral (Parte Fonte Motores)



Fonte: Autores (2017)

4.3.2 Módulo Motor

O Módulo Motor é o segundo módulo do hardware desenvolvido. Este módulo abriga os motores que transmitem a vibração.

A Figura 65 mostra a visualização 3D da placa do Módulo Motor no ambiente CAD. As medidas da placa são 20x23mm.

Figura 65 - Vista 3D do Módulo Motor



Fonte: Autores (2017)

O Módulo Motor é constituído dos materiais presente na Tabela 4.

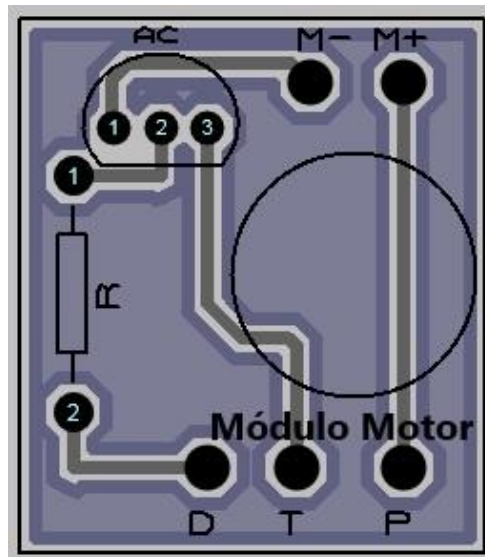
Tabela 4- Materiais do Módulo Motor.

Nome dos materiais		
Resistor 10kΩ de 1/8w	Transistor BC337	Motor DC Vibracall

Fonte: Autores (2017)

Na Figura 66 é possível ver o esquema de ligação dos componentes, suas posições e polaridades.

Figura 66 - Layout do Módulo Motor

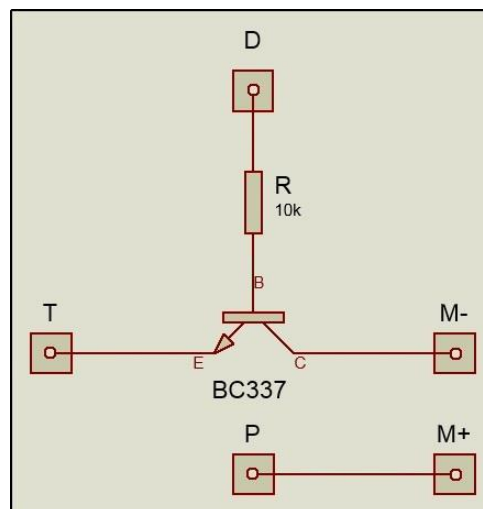


Fonte: Autores (2017)

A Figura 67 mostra o funcionamento do Módulo Motor, onde é possível perceber que o transistor BC337 está sendo utilizado como chave, desta forma o D representa o sinal digital, que é quando o Módulo Geral envia informação para o motor (“fecha conexão”) e faz com que o transistor entre em modo de saturação, ativando desta forma o motor.

O T representa o terra e P o positivo da tensão que vem do Módulo Geral.

Figura 67 - Esquema eletrônico Módulo Motor



Fonte: Autores (2017)

Após a exposição do hardware, software e fluxograma que apresentam o desenvolvimento do produto, o capítulo 5 expõe o custo levantado para a produção da solução. Este capítulo vai além da tecnologia e é especialmente importante como registro necessário para a memória de cálculo que subsidiará a precificação e o plano de negócio a ser elaborado para a comercialização pretendida do VRVS. Esta proposta será novamente abordado na conclusão deste trabalho de curso.

4.4 TRABALHOS CORRELATOS

Durante a execução deste projeto não foram encontrados produtos similares de origem brasileira, no entanto, conforme citado em 1.2 MOTIVAÇÃO existem 8 produtos cadastrados no Trello que possuem a mesma finalidade, de estimular o tato do usuário.

Dentre estes 8, dois são mais semelhantes: *KOR-FX gaming vest* e *ARAIG*.

O *KOR-FX* é um produto em formato de colete, que utiliza sinais sonoros para transmitir o feedback para o usuário.

O *ARAIG* é um produto, ainda não lançado oficialmente, também em formato de colete, ele utiliza vibrações, que são transmitidas por meio de eletrodos, e esquemas sonoros para uma maior imersão.

Tanto o *KOR-FOX* quanto o *ARAIG* já possuem compatibilidade com alguns jogos presentes no mercado, diferente do VRVS que no presente momento só é compatível com o jogo demonstrativo.

A diferença entre *KOR-FX* e o VRVS está no tipo de feedback, o primeiro utiliza sons e o segundo, motores de vibração; e entre o *ARAIG* e o VRVS é a mobilidade, no *ARAIG* as fontes de feedback estão fixas e são eletrodos, enquanto no VRVS elas são móveis e são motores de vibracall.

5 CUSTO DE PRODUÇÃO

O custo de produção apresentado é resultado dos gastos para a execução do projeto. Os preços são referentes a aquisições realizadas entre os anos de 2016 e 2017 e apresentados em reais (R\$), moeda brasileira.

Estes custos apresentados na Tabela 5 são para a construção de 1 Módulo Geral completo, 10 Módulos Motores completos, interligados por cabos e com o sistema de presilha implementado. Os custos não levam em consideração os fretes envolvidos.

Tabela 5 – Custos de Produção

Item	Quantidade	Custo Unitário	Custo Total
PIC18F4550	1	28	28
Capacitor Eletrolítico 100 μ F x 35v	1	0,3	0,3
Capacitor Cerâmico 22pF x 50v	2	0,2	0,4
Capacitor Multicamada 470nF x50v	1	0,22	0,22
Conector USB_B Fêmea	1	2,5	2,5
Conector Jack P4 Fêmea	1	2,5	2,5
Conector Jack P4 Macho	1	2,7	2,7
Resistor 330 Ω de 1/8w	1	0,2	0,2
Resistor 1k Ω de 1/8w	1	0,2	0,2
Resistor 10k Ω de 1/8w	10	0,2	2
LED verde de 3mm	1	0,4	0,4
Cristal 20 MHz	1	0,91	0,91
LM7805	1	1,5	1,5
LM78L33	1	3,5	3,5
BC337	10	0,4	4
Motor DC	10	10	100
Placa Módulo Geral	1	16,35	16,35
Placa Módulo Motor	10	5,42	54,2
Fios de conexão 0,30mm	25 (m)	0,4	10
Botton	10	3	30
Custo total			R\$ 259,88

Fonte: Autores (2017)

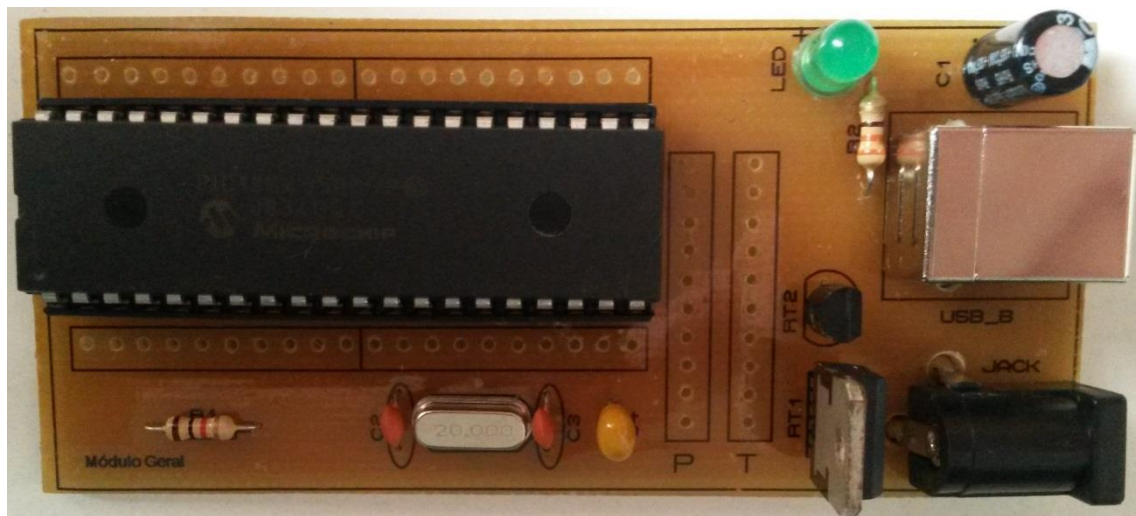
Estima-se que no caso de produção em larga escala, contando com acordos entre fornecedores e com a produção dos PCBs (*Printed Circuit Board*) por um sistema automatizado, o custo de produção deve cair cerca de 30%.

6 RESULTADOS OBTIDOS

Com base nos objetivos estabelecidos, os resultados obtidos estão de acordo com o planejado. Foram construídos 2 Módulos Gerais, 10 Módulos Motores e 1 camisa com LEDs.

O Módulo Geral segue o que foi apresentado no tópico 4.3 HARDWARE. A Figura 68 apresenta o Módulo Geral sem as soldas de conexão dos Módulos Motores.

Figura 68 - Módulo Geral



Fonte: Autores (2017)

O Módulo Motor segue o que foi apresentado no tópico 4.3 HARDWARE. A Figura 69 apresenta o Módulo Motor sem as soldas de conexão com o Módulo Geral.

Figura 69 - Módulo Motor



Fonte: Autores (2017)

A Figura 70 mostra a solução encontrada para que o sistema seja compatível com os mais variados biotipos corporais (baixas, altas, magras). Esta percepção foi obtida a partir de testes de usabilidade em um grupo de 15 pessoas como apresentado adiante neste capítulo.

Figura 70 - Botton com Módulo Motor



Fonte: Autores (2017)

Como mostrado na Figura 70, foram utilizados *bottons* e em cada um foi inserido um Módulo Motor.

A Figura 71 mostra a camisa com LEDs construída. Apesar de não ser o objetivo final, esta camisa foi construída com a finalidade de testar a troca de informações entre o Módulo Geral e o computador e para apresentação visual do objetivo deste trabalho, conforme mencionado no capítulo 4 subitem 4.2.1. Uma vez que a vibração exercida não pode ser visualmente perceptível, desenvolveu-se a camisa com LEDs para apresentação da ideia.

Figura 71 - Camisa com LEDs



Fonte: Autores (2017)

Ainda na Figura 71, é possível perceber que apenas o Módulo Geral está sendo utilizado.

Nas Figuras 72 e 73 é possível visualizar a parte frontal da camisa. A camisa com LEDs possui 10 LEDs, sendo 5 na parte frontal e 5 na parte traseira.

Figura 72 - Camisa com LEDs em uso (frontal), com LED apagado



Fonte: Autores (2017)

Figura 73 - Camisa com LEDs em uso (frontal), com LED aceso



Fonte: Autores (2017)

Nas figuras 74 e 75 é possível visualizar a parte traseira da camisa com LEDs.

Figura 74 - Camisa com LEDs em uso (traseira), com LED apagado



Fonte: Autores (2017)

Figura 75 - Camisa com LEDs em uso (traseira), com LED aceso



Fonte: Autores (2017)

A Figura 76 mostra o produto final desenvolvido: o Módulo Geral conectado com os 10 Módulos Motores, acoplados em uma camisa. Recomenda-se para maior sensibilidade dos Módulos Motores, a adoção de uma camisa aderente ao corpo. Desta forma, foi feita a aquisição de camisas térmicas para a demonstração da solução. Para demonstrar que o mapeamento das áreas podem ser alterado, a camisa com LEDs possui uma configuração diferenciada da camisa com motores.

Como pode ser visto na figura 76, a parte frontal da camisa possui 7 Módulos Motores acoplados e o restante na parte traseira, como mostra a Figura 77.

Figura 76 - Parte frontal da camisa com motores



Fonte: Autores (2017)

Figura 77 - Parte traseira da camisa com motores

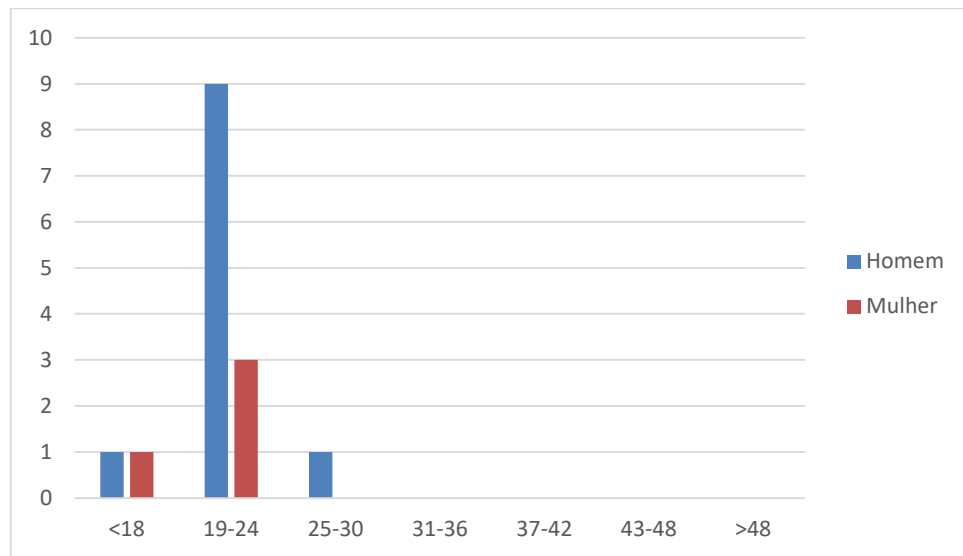


Fonte: Autores (2017)

Diferente da camisa com LEDs, onde os LEDs estão fixos e não podem ser retirados, os Módulos Motores não estão fixos na camisa e podem ser retirados a qualquer momento e colocados em qualquer outra camisa. Esta funcionalidade foi pensada visando maior adaptabilidade do produto e conforto do usuário que poderá otimizar a proposta segundo sua preferência de vestiário.

Para verificar a qualidade do produto, voluntários testaram o hardware e jogo, com o objetivo de receber *feedback* de pessoas na qual não participaram do projeto. Depois do teste, perguntas foram feitas sobre a qualidade e satisfação da experiência, as perguntas estão presente no questionário localizado no apêndice A. A Figura 78 mostra a faixa etária dos voluntários.

Figura 78 – Faixa etária dos voluntários



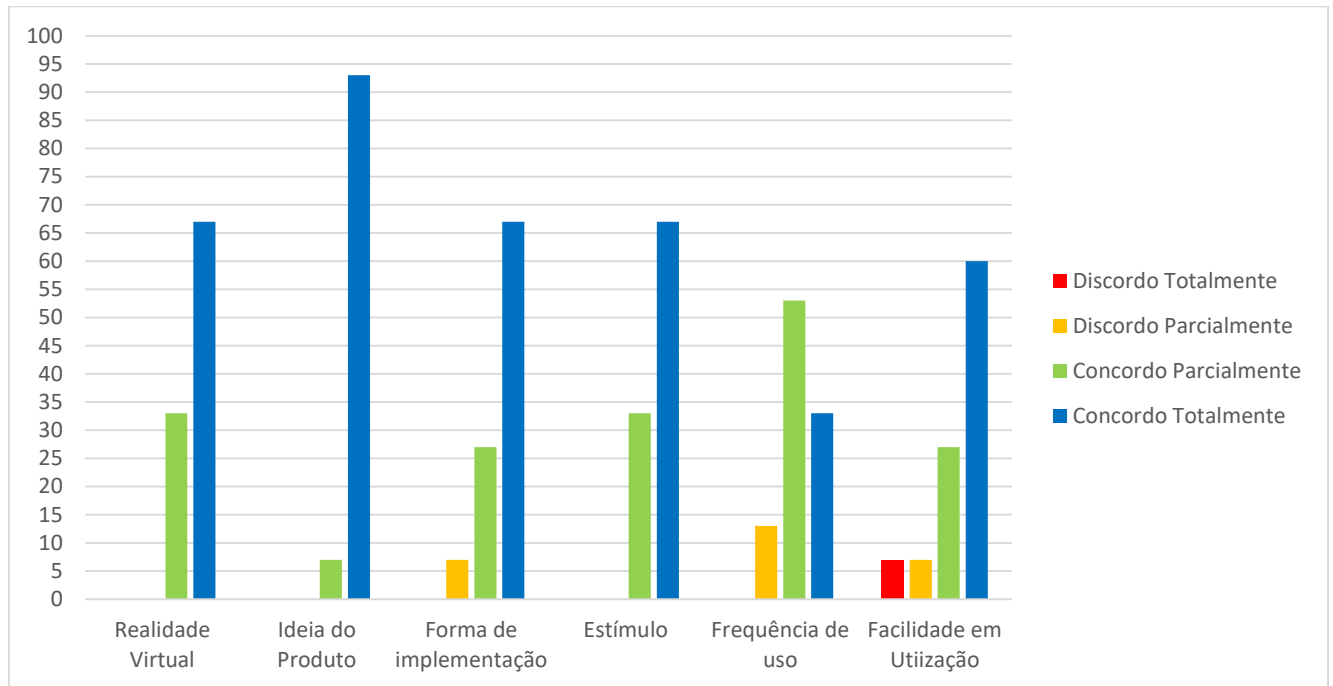
Fonte: Autores (2017)

A Figura 79 mostra o resultado do questionário respondido pelos 15 voluntários, onde possuem 4 resposta: Discordo totalmente; Discordo parcialmente; Concordo parcialmente; Concordo totalmente.

As perguntas efetuadas são em relação:

- P1: Conhecimento sobre o conceito de realidade virtual;
- P2: Sobre a ideia do produto;
- P3: Satisfação da maneira em que o produto foi implementado;
- P4: Objetivo de estimular o tato;
- P5: Frequência de utilização do produto;
- P6: Facilidade de uso do produto.

Figura 79 – Respostas do questionário



Fonte: Autores (2017)

Como pode-se observar na Figura 79, 93% dos voluntários concordaram totalmente com a ideia do produto proposto. 67% concordaram totalmente com a forma de implementação, 67% concordaram totalmente com o estímulo tátil alcançado, 33% concordaram totalmente e 53% concordam parcialmente em utilizar o produto com frequência e 60% concordaram totalmente na facilidade de uso do produto.

7 CONCLUSÃO

A pesquisa de bibliografia inicialmente realizada, bem como as estatísticas de tendências de mercado, endossaram a perspectiva de investimento de tempo e dedicação, que foram a base deste trabalho. Tal comprovação, trouxe também a segurança em cada decisão de ferramenta escolhida e funcionalidade adotada, norteadas, sobretudo, pelo fato dos autores serem membros ativos da comunidade *gamer* e, portanto, críticos daquilo que agradaria como resultado final.

Ao fim de quase dois anos de trabalho, o VRVS, em seu estado atual, apresenta a solução de realidade virtual voltada para o entretenimento inicialmente proposta. O jogo desenvolvido na categoria *shooter* explorou o sentido tátil de forma adaptável através de motores de vibração. Para a demonstração do produto, foi desenvolvida uma interface a partir da *engine* Unity e alcançada uma resposta em tempo real no hardware fabricado.

O teste de usabilidade mostrou-se satisfatório, trazendo ao usuário um apelo diferencial em relação aos demais jogos *shooter*, a partir da vibração.

Pode ser destacado que os objetivos propostos foram alcançados. O hardware é capaz de estimular o sentido tátil e com um certo grau de satisfação, de acordo com os *feedbacks* recebidos. O software é compatível com os sistemas operacionais Windows 7 e Windows 10, sendo destacado melhor no apêndice B – VRVS 1.0: Manual do usuário. A realização da integração entre o Módulo Geral e o Módulo Motor mostrou-se bem-sucedida, estabelecendo a comunicação e controlando o fluxo de estímulo.

A partir dos objetivos alcançados e levando-se em consideração o questionário utilizado para a verificação do produto, algumas considerações podem ser tiradas.

Os questionários aplicados apresentam que 100% do grupo no qual foi aplicado o teste de usabilidade nunca havia utilizado um produto semelhante. Levando-se em consideração que o citado grupo é formado por um perfil de usuários consumidores de tecnologia *gamer*, pode-se constatar o apelo de inovação do VRVS. Como outro item, destaca-se a resposta deste grupo quanto a informação de que comprariam ou voltariam a utilizar a solução, o que faz crer na satisfação com a experiência proposta. Ressalta-se aqui o questionário ter sido aplicado conservando o anonimato dos participantes.

A maturidade alcançada por estes autores da solução proposta a partir do manuseio diário de componentes eletrônicos também deve ser destacada.

Foi possível, com esta experiência, adquirir conhecimentos práticos de componentes, inclusive fora de manuais, como a integração dos dispositivos entre si, destes com a placa de circuito impresso e com o software de demonstração. Este foi o caso do mau contato devido a

soldagem, feita de forma irregular, entre a saída USB e alguns componentes discretos. Estas foram algumas das dificuldades encontradas.

Soma-se a tais dificuldades a falta de acesso no mercado local (na região de Belém do Pará) de componentes eletrônicos necessários ao projeto. Outro ponto que dificultou o desenvolvimento da solução foi o alto custo de alguns materiais, para os quais tentou-se comercialização com a China, por conta de economia. Entretanto, o serviço ineficiente da logística alfandegária brasileira e dos Correios atrasou o andamento do projeto, deste modo optou-se pela compra dos produtos no Brasil, porém em outro estado, o que ocasionou encarecimento final do projeto.

Além das dificuldades citadas, houve a questão sobre o modo que tornaria o produto adaptável aos biotipos de cada usuário. A solução encontrada remeteu a utilização dos bottons, como mencionado anteriormente no capítulo 6.

Para trabalhos futuros, pretende-se acrescentar mais motores e aumentar a área de atuação, passando para regiões abaixo do tronco. Pretende-se acrescentar uma função de controle da intensidade de vibração dos motores, podendo reduzi-la ou aumenta-la. Também serão propostas implementadas na próxima versão, a disponibilização do status de autonomia da bateria e acrescentar um módulo de jogo *multiplayer*, inicialmente para rede local e posteriormente para um servidor on-line.

Pretrnde-se desenvolver uma versão do VRVS, onde os Módulos Motores não estarão soldados direto no Módulo Geral, a conexão entre eles será efetuada através dos cabo USB 2.0 Micro B, assim o usuário poderá acrescentar e retirar os Módulos Motores.

Conforme descrito durante o desenvolvimento do trabalho, a intenção final é tornar o produto apresentado neste TC uma referência na comunidade *gamer* pela qualidade, excelência e inovação. Desta forma, futuramente será desenvolvido um plano de negócio e estratégia de venda, para assim possibilitar o acordo de parcerias com fornecedores de componentes e iniciar a comercialização do produto. Pretende-se, também, buscar investidores para o desenvolvimento de uma nova versão do VRVS, onde os melhoramentos anteriormente citados possam ser factíveis e a pretensão de colocar os games paraenses com visibilidade para o mundo seja alcançada.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAGA, NEWTON C. **Eletrônica Básica**. 1ª ed. São Paulo: NCB, 2012a.

_____. **Eletrônica Analógica**. 1ª ed. São Paulo: NCB, 2012b.

BURDEA, G.C.; COIFFET, P. **Virtual Reality Technology**. 2ª ed. Hoboken: Wiley-Interscience, A John Wiley & Sons, Inc, 2003.

CAPUANO, FRANCISCO G.; MARINO, MARIA A. M. **Laboratório de eletricidade e eletrônica**. 15ª ed. São Paulo: Érica, 1998.

DIGI-CAPITAL. **After years, mobile AR to drive \$108 bilions VR/AR market by 2021**. Disponível em <http://www.digi-capital.com/news/2017/01/after-mixed-year-mobile-ar-to-drive-108-billion-vrar-market-by-2021/#.WR78hsZv_IX>. Acessado em 15 de maio de 2017.

ELECTROSCHEMATICS. **USB – How it Works**, 2014. Disponível em: <<http://www.electroschematics.com/4856/usb-how-things-work/>>. Acessado em 7 de abril de 2017.

FORRESTER. **2017 Predictions: Dynamics that will shape the future in the age of the customer**. Disponível em: <<https://go.forrester.com/wp-content/uploads/Forrester-2017-Predictions.pdf>>. Acessado em 15 de maio de 2017.

GIMENEZ, SALVADOR P. **Microcontroladores 8051: Teoria do hardware e software**. São Paulo: Pearson, 2002.

GOOGLE TRENDS. **Virtual Reality**. Disponível em: <<https://trends.google.com.br/trends/explore?q=virtual%20reality>>. Acessado em 15 de maio de 2017.

LAVALLE, S. M. **Virtual Reality**. Illinois: Cambridge University press, 2017.

MICROCHIP. **PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet**. 2006. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>>. Acessado em 21 de maio de 2017.

MORTON HEILING. **Inventor in the field of virtual reality**. Disponível em : <<http://www.mortonheilig.com/InventorVR.html>>. Acessado em 3 de maio de 2017.

OLIVEIRA, ANDRÉ S. de; ANDRADE, FERNANDO S. de. **Sistemas Embarcados: Hardware e firmware na prática**. 2ª ed. São Paulo: Érica, 2010.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC: Programação em C**. São Paulo: Érica, 2003

PHILIPPINE ELECTRONICS FORUM. **DC jack pins**, 2012. Disponível em: <<http://www.elab.ph/forum/index.php?topic=35989.0>>. Acesso em 14 de abril de 2017.

PHILIPS SEMICONDUCTORS. **BC337**: NPN general purpose transistor. 1999. Disponível em: <<http://www.jameco.com/Jameco/Products/ProdDS/254810PHILIPS.pdf>>. Acessado em 21 de maio de 2017.

SCHILDT, Herbet. **C Completo e Total**. 3ª ed. São Paulo: Makron Books. 1996.

SISCOUTO, Robson; COSTA, Rosa. **Realidade Virtual e Aumentada**: Uma abordagem tecnológica. João Pessoa: X Symposium on Virtual and Augmented Reality. 2008.

SOUZA, David José de. **Desbravando o PIC**: Ampliado e atualizado para PIC16F628A. 8ª ed. São Paulo: Érica. 2003.

STMICROELECTRONICS. **L78L**: Positive voltage regulators. 2016. Disponível em: <<http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/15/55/e5/aa/23/5b/43/fd/CD00000446.pdf/files/CD00000446.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000446.pdf>>. Acessado em 21 de maio de 2017.

TEXAS INSTRUMENTS. **µA7800 Series**: Positive-voltage regulators. 2003. Disponível em: <<https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>>. Acessado em 21 de maio de 2017.

THE VENTURY REALITY FUND. **VR industry landscape**. Disponível em: <<http://www.thevrfund.com/>>. Acessado em 17 de março de 2017.

TRELLO. **Virtual Reality Industry 2017**. Disponível em: <<https://trello.com/b/srhdQF14/virtual-reality-industry-2017>>. Acessado em 17 de março de 2017.

UNITY. **Audio**: Everything for Game Audio and Sound design in Unity. Disponível em: <<https://unity3d.com/pt/learn/tutorials/topics/audio>>. Acessado em 10 de setembro de 2016.

_____. **Factos Rápidos**. Disponível em: <<https://unity3d.com/pt/public-relations>>. Acessado em 03 de maio de 2017.

_____. **Live Training 24th November 2014**: Creating a Scene Selection Menu. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Xn5OUmB8cns>>. Acessado em 8 de agosto de 2016.

_____. **Manual**: Scripting API. Disponível em: <<https://docs.unity3d.com/ScriptReference/index.html>>. Acessado em 20 de julho de 2016.

_____. **Physics**: Create some mechanical mayhem as you learn about Unity's physics options. Disponível em: <<https://unity3d.com/pt/learn/tutorials/topics/physics>>. Acessado em 20 de agosto de 2016.

_____. **User Interface (UI)**: Learn to use Unity's tools for designing user interfaces (UI). Disponível em: <<https://unity3d.com/pt/learn/tutorials/topics/user-interface-ui>>. Acessado em 07 de agosto de 2016.

USB.ORG. **USB-IF Trademark License Agreement**, 2017. Disponível em: <http://www.usb.org/developers/logo_license/USB-IF_TLA_and_Logo_Usage_Guidelines_FINAL_March_13.2017.pdf>. Acesso em 14 de abril de 2017.

ZAMOJC, Ian. **Unity3D: Third-Person Cameras**. Disponível em: <<https://code.tutsplus.com/tutorials/unity3d-third-person-cameras--mobile-11230>>. Acessado em 5 de outubro de 2016.

APENDICE A


Questionário de usabilidade do produto VRVS

Por favor, a partir da legenda de símbolos a seguir, preencha o formulário da forma mais honesta possível.





O seguinte questionário visa arrecadar informações acerca do produto VRVS, sua facilidade de uso e a experiência do usuário final.

Sua Faixa Etária é





>18	19-24	25-30	31-36	37-42	43-48	48<

	
---	--





	
--	--

			
Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente





Você conhece o que é realidade virtual?

Você entendeu a ideia do produto?

Você gostou da forma de implementação?

Apêndice B

VRVS

Versão 1.0

MANUAL DO USUÁRIO

Sumário

- 1 - Introdução
 - 2 - Sobre o VRVS
 - 3 - Requisitos Mínimos de operação
 - 4 - Como Instalar
 - 5 - Como Utilizar
 - 6 - Principais Erros
-

1 - Introdução

Primeiramente, obrigado! O produto que você tem em mãos é resultado do trabalho de duas pessoas, agradecemos o seu interesse e esperamos que você tenha proveito e se divirta!

Este manual procura auxiliar o usuário no processo de instalação, configuração e resolução dos principais erros que podem ser encontrados.

Leia com atenção e cuidado para que o seu produto funcione da melhor maneira possível e tenha uma grande durabilidade.

2 - Sobre o VRVS

O VRVS é um dispositivo de realidade virtual cujo objetivo é o da transmissão de vibrações sobre a pele com base na interação do usuário no ambiente virtual.

Ele é composto por duas partes: o módulo geral, que se encontra dentro da case e é responsável pela conexão com o computador e acionamento dos motores; e o módulo motor que se encontra fixo nos *bottons*.

3 - Requisitos Mínimos de operação

Estes requisitos são os ideais para o melhor proveito do seu VRVS:

Temperaturas entre 15 a 35° Celsius.

Hardware capaz de suportar Windows 7 ou Windos 10.

Sistema operacional Windows 7 ou Windows 10, 32 ou 64 bits.

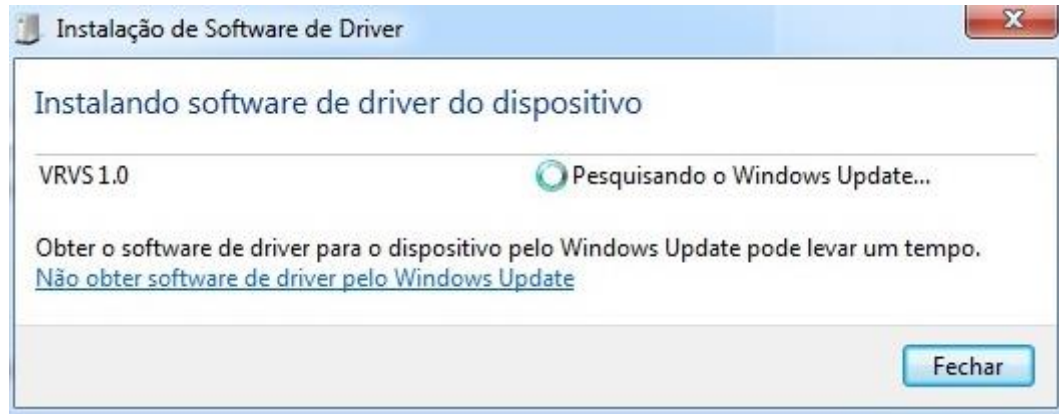
Portas USB mínimo de 2.0.

4 - Como Instalar

Caso seja a sua primeira utilização, leia com atenção os seguintes passos para que o seu dispositivo seja instalado corretamente.

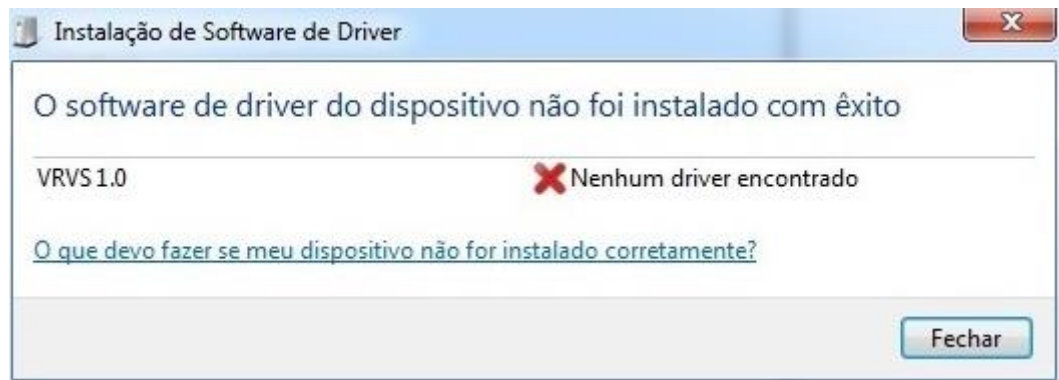
1 Passo → Conecte seu dispositivo a uma porta USB. O computador deve reconhecer o dispositivo e uma luz verde do dispositivo deve acender, caso não acenda leia a seção 6 – Principais erros.

2 Passo → Assim que o dispositivo for conectado, a seguinte imagem aparecerá



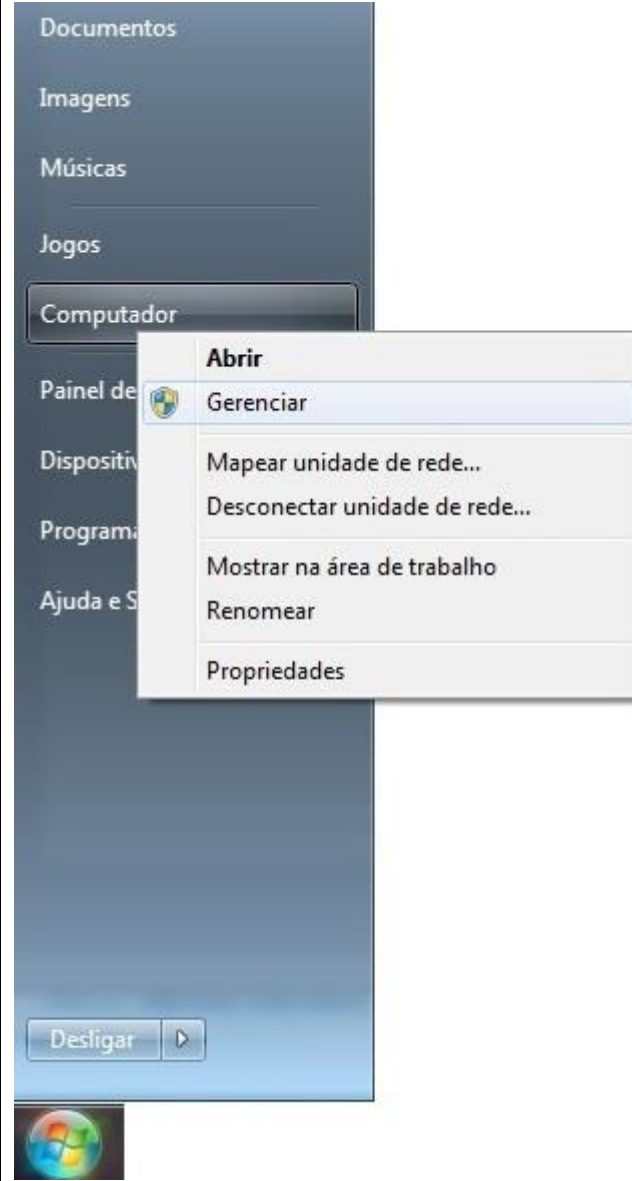
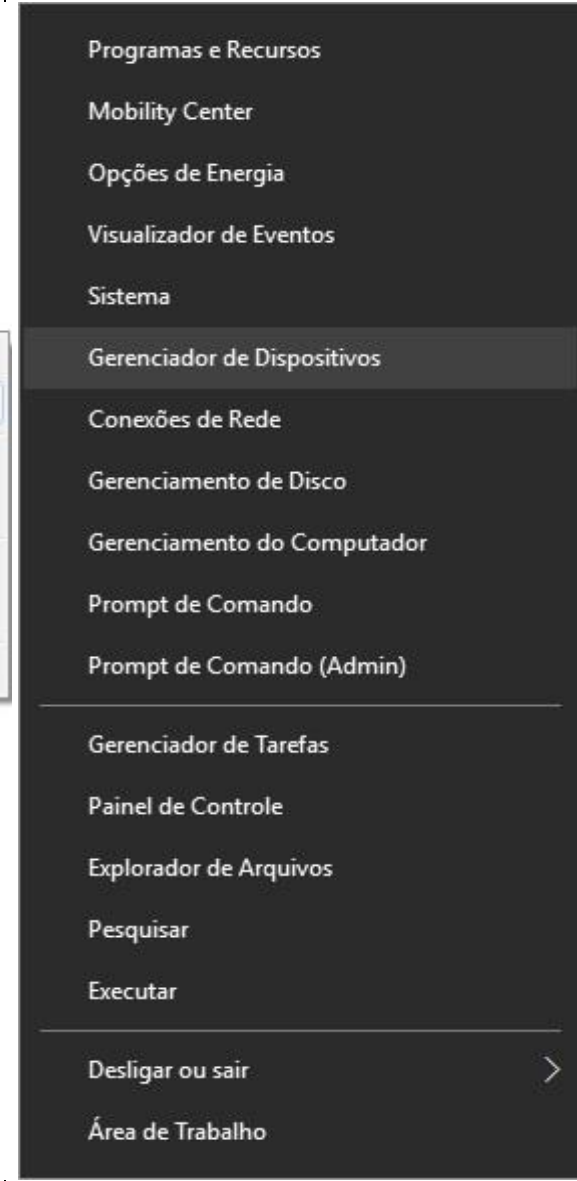
Ela representa que o computador reconheceu o dispositivo e está buscando o driver para que o seu correto funcionamento.

Caso o seu computador esteja sem internet, o seguinte erro aparecerá



Para solucionar este erro, conecte o seu computador à internet e siga os próximos passos.

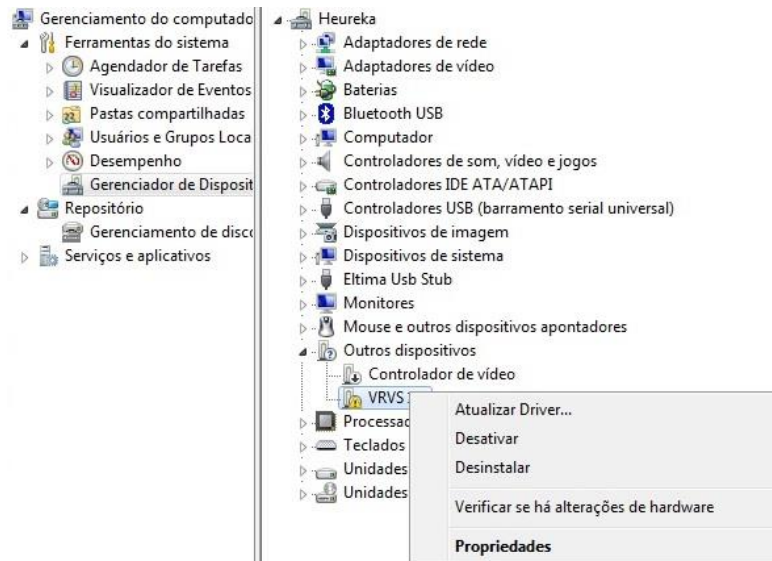
3 Passo → Entre no **Gerenciar Dispositivos** do computador.

Caminho do Gerenciar Windows 7.	Caminho do Gerenciar Windows 10.
 <p>The screenshot shows the Windows 7 Start menu. The 'Computador' (Computer) item is highlighted. A context menu is open over it, listing options: 'Abrir', 'Gerenciar', 'Mapear unidade de rede...', 'Desconectar unidade de rede...', 'Mostrar na área de trabalho', 'Renomear', and 'Propriedades'. The 'Gerenciar' option is selected.</p>	 <p>The screenshot shows the Windows 10 Start menu. The 'Gerenciador de Dispositivos' (Device Manager) item is highlighted. Other visible items include 'Programas e Recursos', 'Mobility Center', 'Opções de Energia', 'Visualizador de Eventos', 'Sistema', 'Conexões de Rede', 'Gerenciamento de Disco', 'Gerenciamento do Computador', 'Prompt de Comando', 'Prompt de Comando (Admin)', 'Gerenciador de Tarefas', 'Painel de Controle', 'Explorador de Arquivos', 'Pesquisar', 'Executar', 'Desligar ou sair', and 'Área de Trabalho'.</p>
<p>No Windows 7, entre no menu Iniciar e clique com o botão direito do mouse sobre o computador e então a tela acima aparecerá.</p>	<p>No Windows 10, pressione as teclas</p>



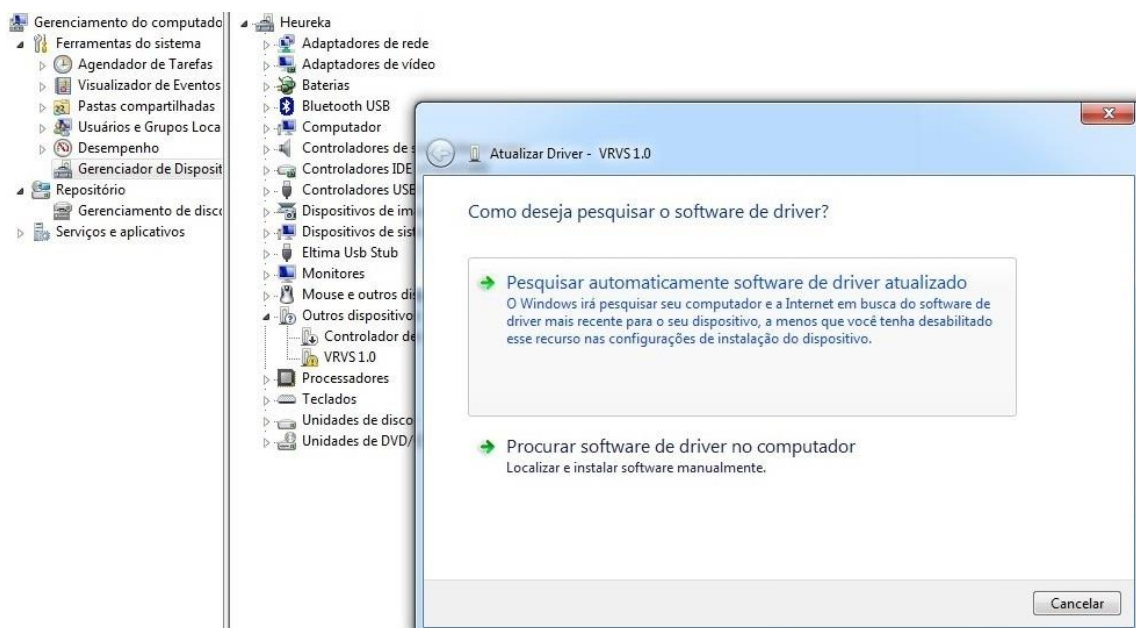
Botão direito do mouse

4 Passo → Dentro do gerenciador, procure a seção **Gerenciador de Dispositivo**



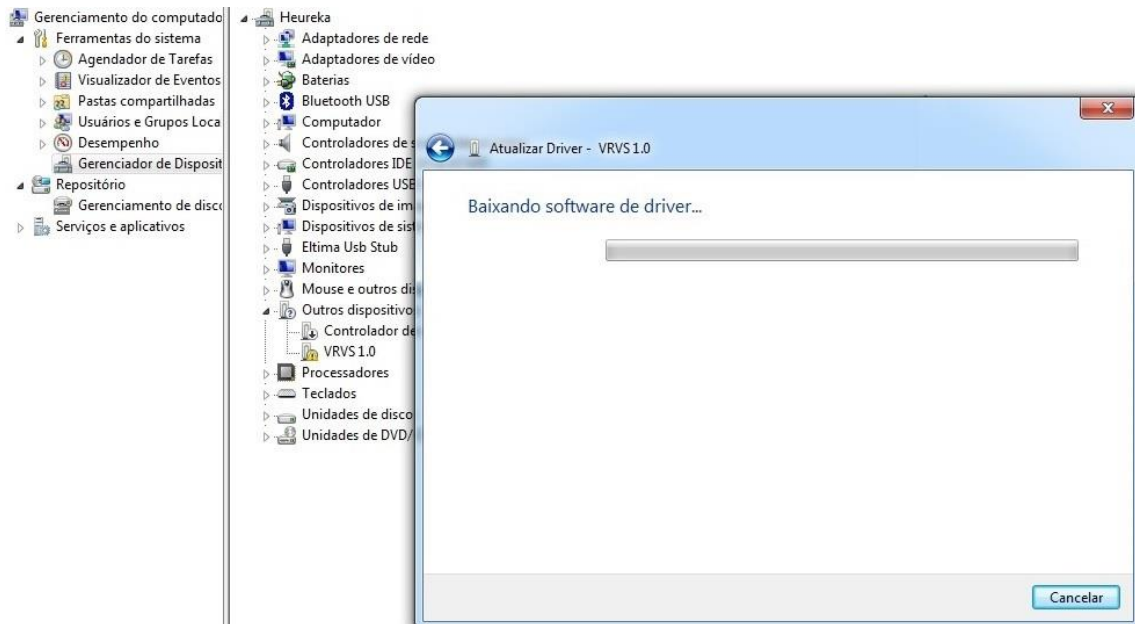
Procure a aba **Outros Dispositivos**, encontre o **VRVS 1.0**, selecione o dispositivo e clique com o botão direito do mouse e a tela acima aparecerá. Clique em **Atualizar Driver**.

5 Passo → A seguinte tela aparecerá



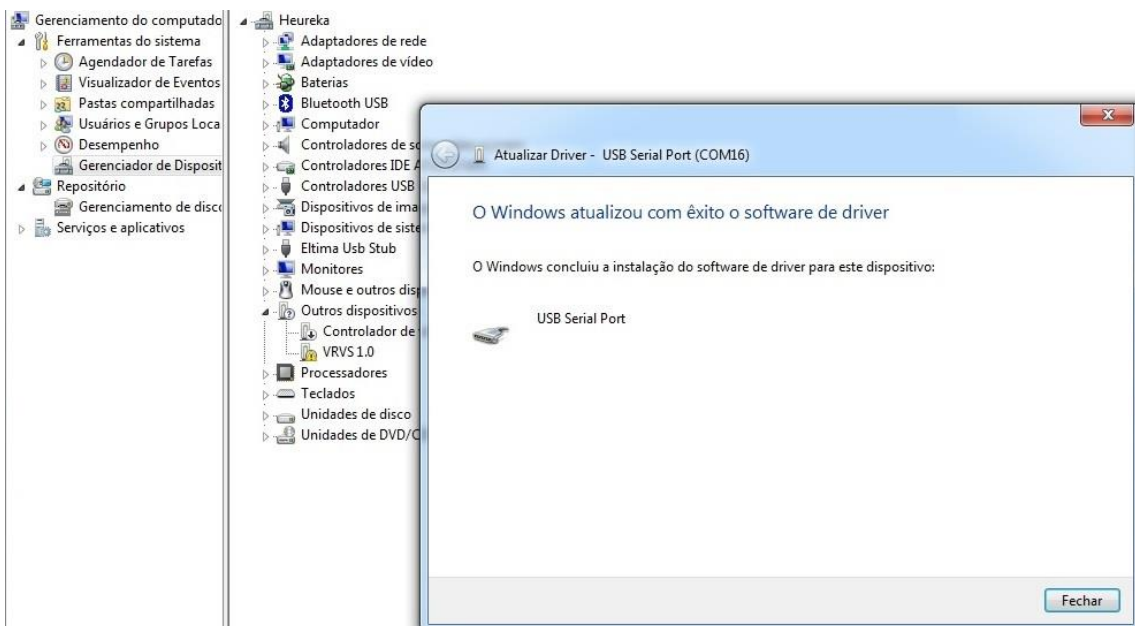
Clique em **Pesquisar automaticamente software de driver atualizado**. O sistema irá procurar o driver na internet.

6 Passo → Quando o driver correto for identificado a seguinte tela aparecerá



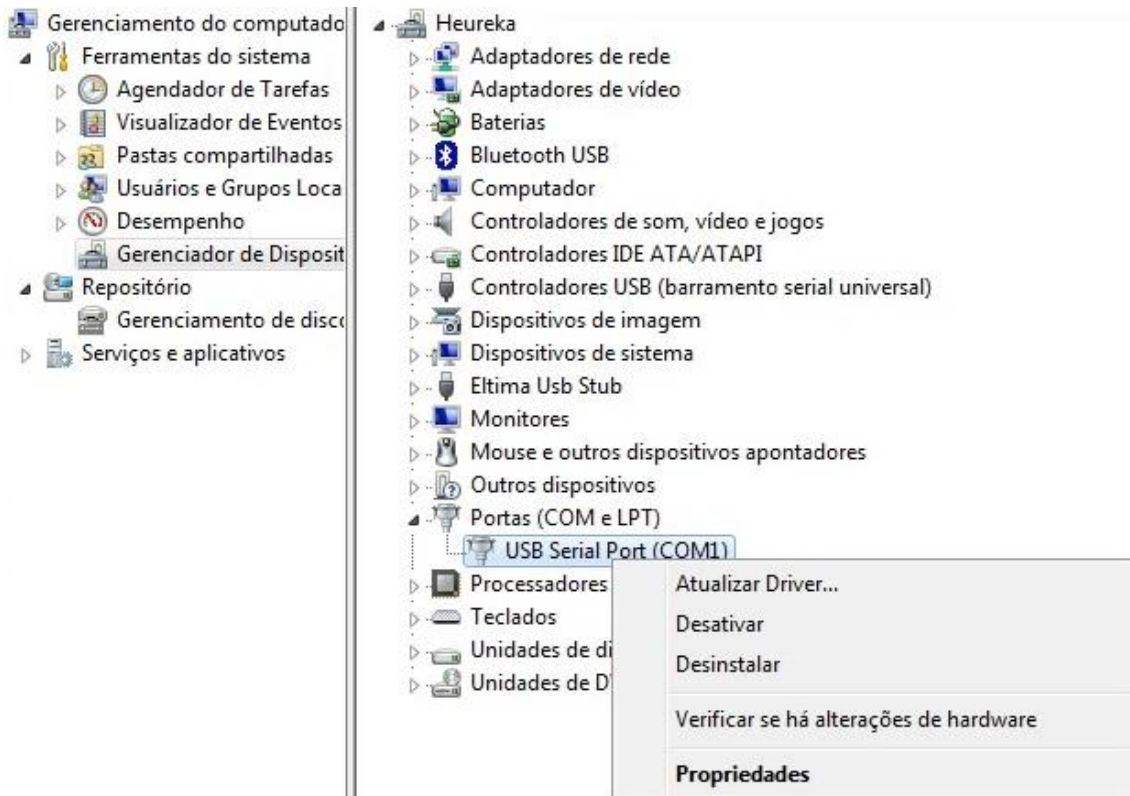
Nela o sistema já está instalado o driver correto.

7 Passo → Quando o driver for identificado, baixado e instalado a seguinte tela aparecerá

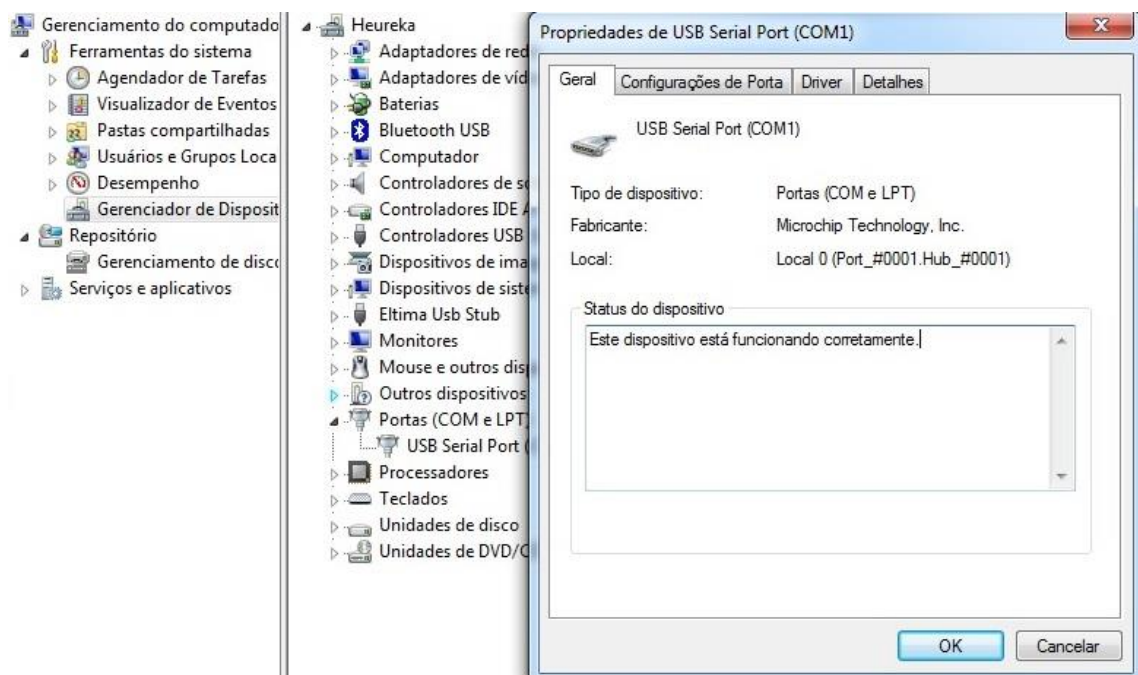


Note que o nome do dispositivo muda de **VRVS 1.0** para **USB Serial Port**, que é o nome utilizado pela Microchip para os dispositivos que funcionam com esse driver disponibilizado por ela.

8 Passo → Volte para a aba de **Gerenciador de Dispositivos** e procure o VRVS instalado com o driver da Microchip, **USB Serial Port**, selecione e clique com o botão direito do mouse e vá em **Propriedades**.

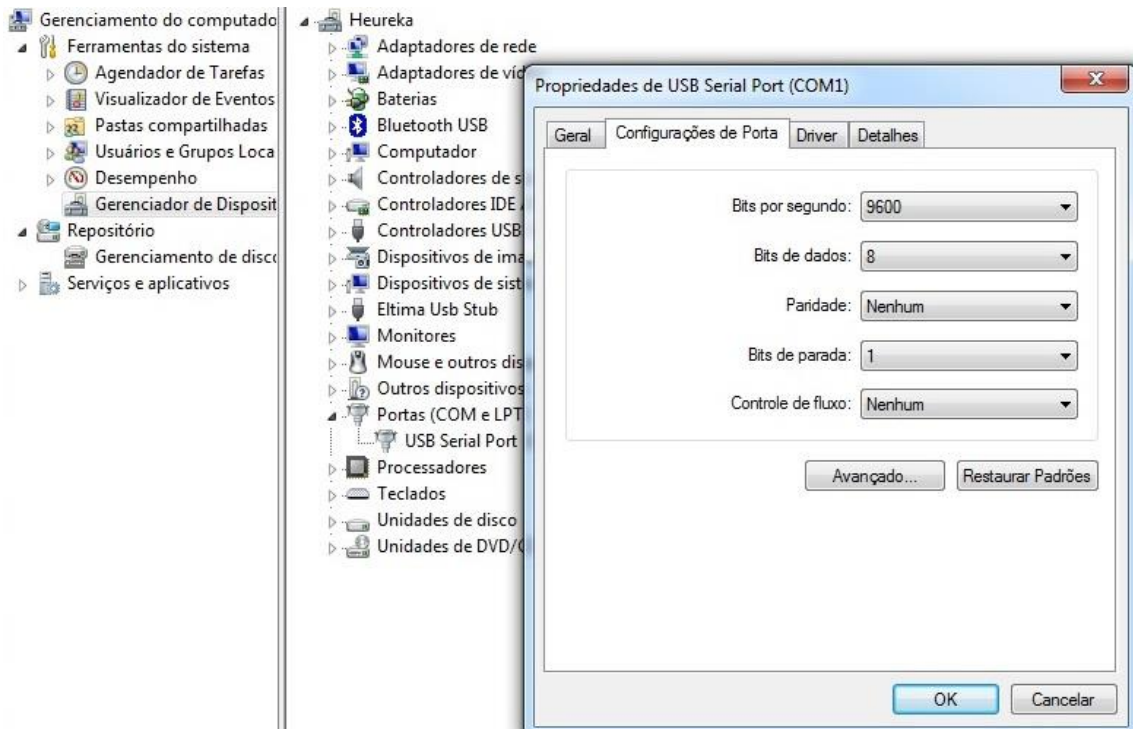


9 Passo → Na tela de propriedades deve aparecer a seguinte mensagem



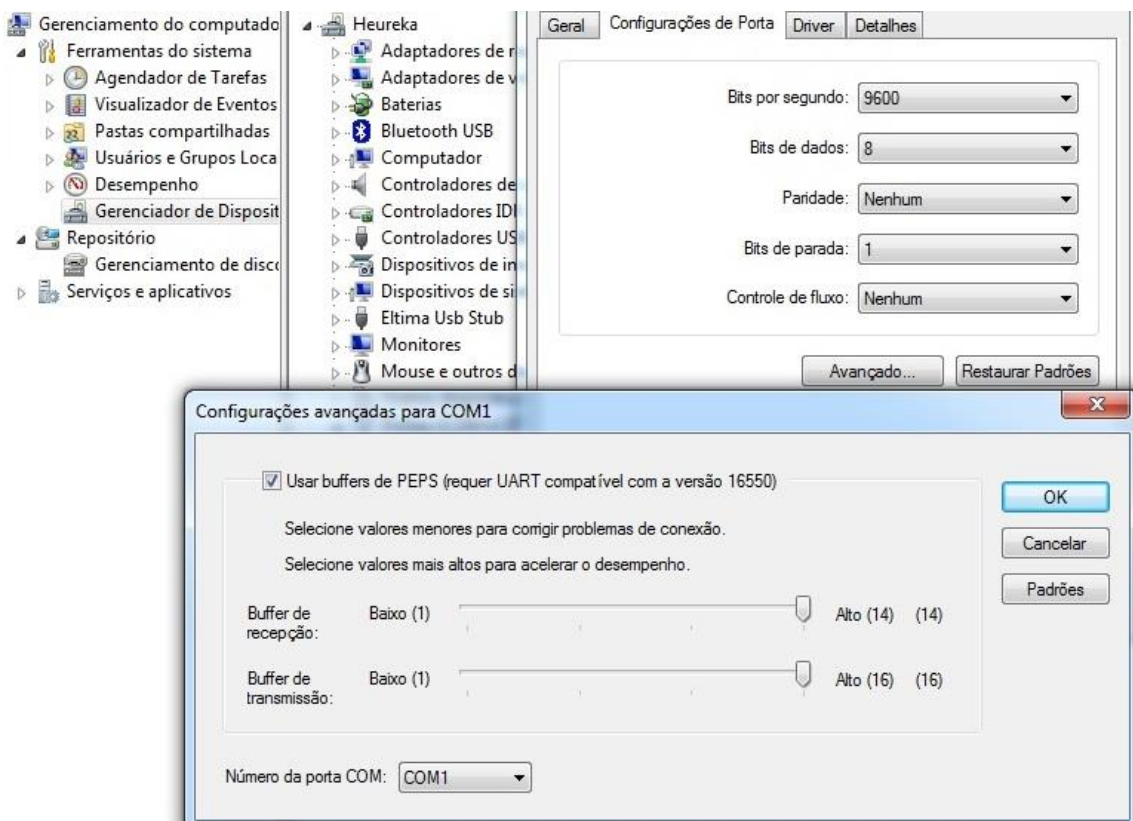
Isto representa que o dispositivo já está instalado e funcionando corretamente.

10 Passo → Dentro de propriedades, acesse a aba **Configurações da Porta**



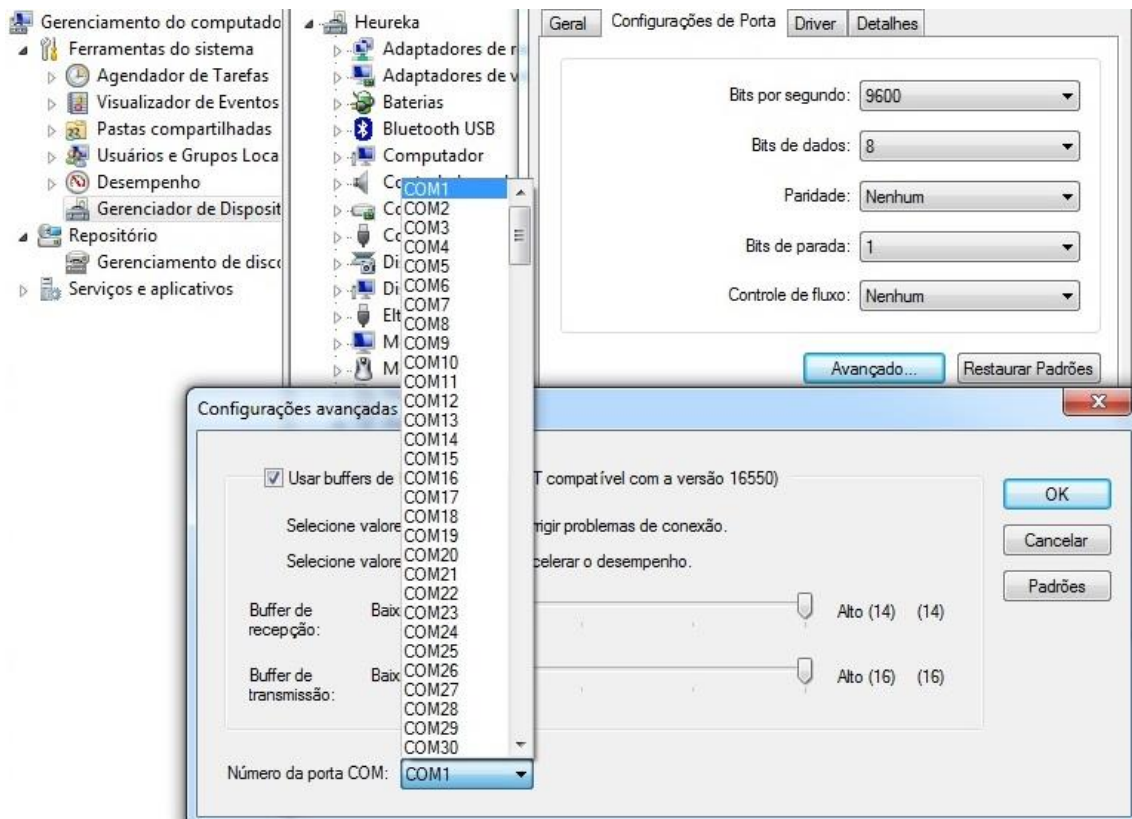
As informações devem ser iguais aos apresentados nesta tela, caso não sejam, basta clicar em cima da informação e então uma lista irá aparecer, selecione a desejada e clique em **Avançado**.

11 Passo → A tela de configurações avançadas é a seguinte



Vá em **Número da porta COM** e uma lista aparecerá.

12 Passo → A seguinte tela aparecerá



Selecione uma COM de 1 até 10, caso você selecione acima de 10 o sistema não irá funcionar. Caso todas as COMS estejam em uso, selecione uma mesmo assim, aperte **OK** e desconecte o dispositivo do computador.

13 Passo → Reconecte o dispositivo e abra o jogo. Entre no menu de **Configurações** e clique na opção **Testar Dispositivo**.

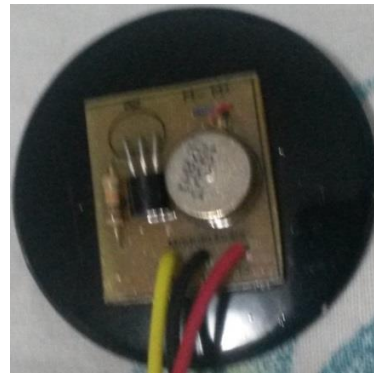


Clique na opção **Testar Conexão**, caso o sistema esteja funcionando corretamente a COM em que o dispositivo se encontra aparecerá. Então seu dispositivo está **pronto para uso!** Caso tenha sido tudo feito corretamente e mesmo assim o dispositivo sempre apareça desconectado, leia a seção 6 – Principais erros.

NOTA: O dispositivo só funcionará na porta configurada, para utilizar outra porta basta configurar novamente.

5 - Como Utilizar

Antes de conectar qualquer cabo ao dispositivo, faça a distribuição dos módulos motores pelo corpo. Eles estão presos em *bottons*, os *bottons* possuem agulhas na parte traseira. **Cuidado para não se machucar!**



Cada botton possui uma identificação atrás referente a parte ao qual é destinado.

PD	Peito Direito
PE	Peito Esqueto
PB	Barriga
CD	Escapula Direita
CE	Escapula Esquerda

CB	Vertebra na região da lombar
BD	Braço Direito
ABD	Ante Braço Direito
BE	Braço Esquerdo
ABE	Ante Braço Esquerdo

O sistema possui duas entradas:



Esta entrada é para a fonte de energia. Geralmente uma bateria de 9V.



Esta é para o conector usb, ele é ligado ao computador e responsável pela comunicação e parte da alimentação do sistema.

Conecte primeiro o usb e veja se o dispositivo é reconhecido, depois conecte a fonte.

6 - Principais Erros

1 → Dispositivo não é reconhecido

Tenha certeza que seu computador possui um sistema operacional compatível (Windows 7 e 10, 32 ou 64 bits), que a sua porta USB está funcionando corretamente.

Caso o LED esteja acendendo, significa que sua porta USB está alimentando o dispositivo, caso ele não seja reconhecido mesmo assim, tente outra porta USB e se possível, tente outro computador.

2 → LED não acende

O LED não é dependente do resto do sistema, desta forma apesar do LED possuir um sistema de proteção, ele pode ter queimado e o seu sistema continuar funcionando corretamente.

Caso o sistema não esteja funcionando e o LED não esteja aceso, tente outra porta USB.

3 → Motores não funcionam

Se todos os motores não estão funcionando, tente trocar a bateria.

Caso tenha trocado a bateria, verifique se o sistema é reconhecido pelo computador e consegue se comunicar com o jogo, caso não tente outra porta USB, se o problema persistir entre em contato.

4 → Jogo não consegue se comunicar com dispositivo

Caso o dispositivo esteja sendo reconhecido pelo computador e mesmo assim o jogo não consegue se comunicar, veja se o dispositivo está entre o limite de COMS (entre 1 e 10), caso não esteja, olhe na seção **4 - Como Instalar**.