

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ**

Eduardo de Farias

**SISTEMA DE MONITORAMENTO VESTÍVEL PARA O
AUXÍLIO DO CONTROLE POSTURAL**

Araranguá

2017

Eduardo de Farias

**SISTEMA DE MONITORAMENTO VESTÍVEL PARA O
AUXÍLIO DO CONTROLE POSTURAL**

**Trabalho de Conclusão de
Curso submetido Universidade
Federal de Santa Catarina,
como parte dos requisitos ne-
cessários para a obtenção do
Grau de Bacharel em Engenha-
ria de Computação.**

Araranguá, junho de 2017.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Farias, Eduardo de

Sistema de monitoramento vestível para o auxílio do
controle postural / Eduardo de Farias ; orientador,
Roderval Marcelino, 2017.

90 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Computação, Araranguá, 2017.

Inclui referências.

1. Engenharia de Computação. 2. Sistemas embarcados. 3.
Tecnologias vestíveis. 4. Aplicativo móvel. I. Marcelino,
Roderval. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia de Computação. III. Título.

Eduardo de Farias

**SISTEMA DE MONITORAMENTO VESTÍVEL PARA O
AUXÍLIO DO CONTROLE POSTURAL**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado aprovado para a obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia de Computação”, e aprovado em sua forma final pela Curso de Graduação em Engenharia de Computação.

Araranguá, 26 de junho 2017.

Eliane
Pozzebon:77921313949

Assinado de forma digital por Eliane
Pozzebon:77921313949
Dados: 2017.07.04 10:35:21 -03'00'

Profa. Dra. Eliane Pozzebon
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Roderval
Marcelino

Assinado de forma digital por
Roderval Marcelino
Dados: 2017.07.04 09:00:04 -03'00'

Prof. Dr. Roderval Marcelino

Anderson Luiz Fernandes
Perez:02080345958

Assinado de forma digital por
Anderson Luiz Fernandes
Perez:02080345958
Dados: 2017.07.10 11:13:43 -03'00'

Prof. Dr. Anderson Luiz Fernandes Perez

Fabio Rodrigues de La
Rocha:96300752020

Digitally signed by Fabio Rodrigues
de La Rocha:96300752020
Date: 2017.07.14 00:27:36 -03'00'

Prof. Dr. Fábio Rodrigues De La Rocha

Dedico este trabalho a todos presentes em
minha vida, pois de alguma forma con-
tribuíram com este.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, por sempre me apoiar em minhas decisões. A Malena de Souza Ramos por sempre estar ao meu lado não só em bons momentos mas também, incentivando em momentos difíceis A meu amigo Iury Melo Americo, pelo seu auxílio na comunicação com a universidade em minha ausência. A Ana Cristina Ferreira Geraldo, por todas as suas contribuições com este trabalho. Ao Prof. Dr. Roderval Marcelino, pelos seus ensinamentos, por sua ótima orientação e preocupação com este trabalho. Por fim, agradeço a todos que tenham colaborado direta, ou indiretamente, com o desenvolvimento e finalização deste trabalho.

É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.

Theodore Roosevelt

RESUMO

Nos dias de hoje trabalhos pesados estão sendo feitos em sua grande maioria por máquinas, o que tem acarretado em trabalhos que envolvem maior esforço mental do que físico. Existe uma relação entre países mais desenvolvidos tecnologicamente e o tamanho de sua população com problemas na coluna. Como a tecnologia está indiretamente prejudicando a nossa saúde neste ponto, nada mais justo do que utilizá-la para reduzir o seu próprio impacto. Visando esta problemática, foi desenvolvido um protótipo para o monitoramento postural, utilizando conceitos de tecnologias vestíveis e aplicativos móveis com o objetivo de auxiliar o monitoramento ininterrupto da postura. O sistema embarcado proposto utiliza acelerômetros para a aquisição de dados da postura e bluetooth para a comunicação entre o sistema vestível e o aplicativo para *smartphone*. O aplicativo apresenta os dados em forma de desenhos para o melhor entendimento do usuário sobre os dados coletados. Há a possibilidade de armazenar os dados pelo aplicativo móvel em formato de planilhas eletrônicas para uma melhor análise dos dados capturados pelo sistema vestível. Ambos os sistemas (sistema embarcado e aplicativo móvel) foram desenvolvidos seguindo um modelo incremental, no qual é criado um módulo funcional do sistema por vez e ao fim integradas todas as partes. Este trabalho foi focado no desenvolvimento de tal protótipo e sua validação em termos de realizar o que lhe é proposto. Ao final do desenvolvimento, foi analisado que o sistema é válido para ser utilizado auxiliando pesquisas relacionadas a patologias referentes a coluna vertebral.

Palavras-chave: Sistemas embarcados, tecnologias vestíveis, aplicativo móvel, postura.

ABSTRACT

Today's heavy works are done in its majority by machines, this have been leading towards jobs needing more mental activities than muscle activities. There is a relation between countries which are technologically developed and the size of the population with back problems. As technology is indirectly harming our health on this aspect, it's only fair to use it to reduce it's own impact. With this problematic in mind, it was developed a prototype to monitor the spine posture, using concepts of wearable technologies and mobile apps with the assistance to uninterrupted posture monitoring as a goal. The proposed embedded system uses accelerometers for data acquisition and bluetooth for communication between the wearable system and the mobile app. The app shows it's user the data as a draw for his better understanding about the collected information. There is the possibility of storing the collected data through the mobile app on a datasheet format that allow a better analysis from captured data. Both systems (embedded system and mobile app) were developed using an incremental model, in which functional modules of the whole system are made separately and by the end of all increments, all parts are integrated. This work was focused on the development of the given prototype and validating its proposed functionality. At the end of the development, it was confirmed that the prototype is valid to be used helping research related to pathologies related to the spine.

Keywords: Embedded systems, wearable technology, mobile app, posture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Sistema embarcado	28
Figura 2	Maiores fornecedores de microcontroladores em 2016 após a compra da Atmel pela Microchip	31
Figura 3	Conexão SPI	34
Figura 4	Conexão I ² C	35
Figura 5	Condição de START	35
Figura 6	Condição de transmissão	35
Figura 7	Condição de STOP	36
Figura 8	Caraterísticas de padrões de redes sem fio	38
Figura 9	Componentes de LANs 802.11	39
Figura 10	Diagrama de estados da camada de link	41
Figura 11	Topologias de rede	44
Figura 12	Participação no mercado de sistemas operacionais móveis	48
Figura 13	Pilha de software Android	49
Figura 14	Camadas do iOS	50
Figura 15	Primeiro computador vestível de Edward O. Thorp e Claude Shannon	54
Figura 16	Protótipo utilizado por Giorgino na aquisição de dados em pacientes em reabilitação motora	56
Figura 17	Protótipos de sensores. (a) manga de sensores. (b) joelheira. (c) luva de sensores durante o reconhecimento de movimento. (d) detalhamento das trilhas de sensores no tecido	57
Figura 18	Fluxograma de funcionamento do sistema	59
Figura 19	Sensor MPU-6050	60
Figura 20	Componentes da aceleração medida pelo acelerômetro .	61
Figura 21	Módulo Bluetooth HC-05	62
Figura 22	PIC18F258	62
Figura 23	Esquemático de funcionamento do sistema	63
Figura 24	Placa do sistema desenvolvido. a)conectores para os sensores MPU-6050 b)HC-05 c) PIC18F258	66
Figura 25	Ciclo de vida de uma <i>Activity</i>	67
Figura 26	Tela da <i>Activity</i> conexão mostrando o módulo bluetooth do sistema vestível disponível para conexão	69

Figura 27 Tela da <i>Activity</i> desenho. Vista frontal, como se estivesse olhando a pessoa pela frente e a vista lateral como se estivesse olhando a pessoa pelo seu lado direito	70
Figura 28 Triângulo retângulo usado como base para a Equação 6.4 e 6.5	71
Figura 29 Tela da <i>PreferenceActivity</i>	73
Figura 30 Exemplo do uso das variáveis limites, sendo as linhas vermelhas a representação dos dados dos sensores e as linhas pontilhadas os limites angulares	74
Figura 31 Planilha criada pelo aplicativo de monitoramento	75
Figura 32 Testes com o modelo de coluna na vista frontal	76
Figura 33 Testes com o modelo de coluna na vista lateral	77
Figura 34 Componentes instalados na roupa especialmente desenvolvida para o sistema vestível	78
Figura 35 Sistema de monitoramento vestível a esquerda na vista lateral e a direita na vista traseira	79
Figura 36 Primeiro teste realizado no sistema vestível. Na Esquerda, o sistema vestível sendo usado e na direita o resultado mostrado pelo aplicativo	80
Figura 37 Segundo teste realizado no sistema vestível. Na Esquerda, o sistema vestível sendo usado e na direita o resultado mostrado pelo aplicativo	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Mercado de microcontroladores por receita	31
Tabela 2	Relação de sistemas operacionais e linguagens de programação de aplicativos	51
Tabela 3	Compatibilidade entre ferramenta e plataforma	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	23
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computer</i>	29
CISC	<i>Complex Instruction Set Computer</i>	29
A/D	Analógico/Digital	30
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>	33
MOSI	<i>Master Out Slave In</i>	33
MISO	<i>Master In Slave Out</i>	33
SCLK	<i>Serial Clock</i>	33
CS	<i>Chip Select</i>	33
I ² C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>	34
SDA	<i>Serial Data</i>	34
SCL	<i>Serial Clock</i>	34
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>	37
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>	38
LAN	<i>Local Area Network</i>	38
WPAN	<i>Wireless Personal Area Networks</i>	39
PAN	<i>Personal Area Network</i>	40
AFH	<i>Adaptive Frequency Hopping</i>	42
MP3	<i>MPEG-1/2 Audio Layer III</i>	47
GPS	<i>Global Positioning System</i>	47
IDC	<i>International Data Corporation</i>	47
IDE	<i>Integrated development environment</i>	62
CSV	<i>Comma Separated Values</i>	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVOS	24
1.1.1	Objetivo Geral	24
1.1.2	Objetivos Específicos	25
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	25
2	SISTEMAS EMBARCADOS	27
2.1	DEFINIÇÃO	27
2.2	DESAFIOS	28
2.3	PROCESSADORES	29
2.3.1	CISC	29
2.3.2	RISC	30
2.4	MICROCONTROLADORES	30
2.4.1	Microcontroladores comerciais	30
2.4.1.1	Renesas Electronics	31
2.4.1.2	Microchip	32
2.5	PERIFÉRICOS	32
2.5.1	Sensores e Atuadores	32
2.5.2	Comunicação com periféricos	33
2.5.2.1	<i>Serial Peripheral Interface</i> (SPI)	33
2.5.2.2	<i>Inter-Integrated Circuit</i> (I ² C)	34
3	COMUNICAÇÃO SEM FIO	37
3.1	PADRÕES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO	37
3.2	PADRÃO IEEE 802.11	38
3.2.1	Componentes principais da rede	38
3.2.2	Serviços de segurança	39
3.3	PADRÃO IEEE 802.15	39
3.3.1	Bluetooth - IEEE 802.15.1	40
3.3.1.1	Arquitetura básica do sistema	40
3.3.1.2	Máquina de estados	40
3.3.1.3	Salto de frequência	42
3.3.2	<i>Low-rate WPAN</i> - IEEE 802.15.4	42
3.3.2.1	Topologias de rede	43
3.3.2.2	Classes de dispositivos	43
4	DISPOSITIVOS MÓVEIS	47
4.1	SISTEMAS OPERACIONAIS MÓVEIS	47
4.1.1	Android	48
4.1.1.1	Pilha de Software	48

4.1.1.2	Compatibilidade e Segurança	49
4.1.2	iOS	50
4.1.3	Windows Phone	51
4.2	LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO	51
5	TECNOLOGIAS VESTÍVEIS	53
5.1	O PRIMEIRO COMPUTADOR VESTÍVEL	53
5.2	TECNOLOGIAS VESTÍVEIS NA ÁREA DA SAÚDE	54
5.3	ACEITAÇÃO DAS TECNOLOGIAS VESTÍVEIS	55
5.4	TRABALHOS RELACIONADOS	55
6	DESENVOLVIMENTO	59
6.1	DESCRIÇÃO DO PROJETO	59
6.1.1	Decisões de projeto	60
6.2	CRIAÇÃO DO PROTÓTIPO	63
6.2.1	Sistema vestível	64
6.2.1.1	Software	64
6.2.1.2	Hardware	65
6.2.2	Aplicativo de monitoramento	66
6.2.2.1	<i>Activity</i> conexão	68
6.2.2.2	<i>Activity</i> desenho	69
6.2.2.3	<i>Service</i> conexão	72
6.2.2.4	<i>PreferenceActivity</i>	72
6.2.3	Integração do sistema vestível do aplicativo	76
6.3	TESTES NO PROTÓTIPO VESTÍVEL	77
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
7.1	TRABALHOS FUTUROS	84
	REFERÊNCIAS	85

1 INTRODUÇÃO

Nossa sociedade está em constante evolução tecnológica e desde a revolução industrial esse desenvolvimento, principalmente na área da automação, é responsável pela substituição da mão de obra humana por máquinas em tarefas que exigem maior esforço físico (TALBOT, 2012).

A redução de empregos que dependem de esforços manuais tem como impacto o aumento da população sedentária.

Em uma revisão sistemática na qual foram comparadas pesquisas que indicam a taxa de dor lombar na população de países diferentes, foi observado que, ao contrário da hipótese inicial do autor, países com menor renda possuem uma taxa duas vezes menor da população com dor lombar (VOLINN, 1997). Isso acontece porque em países de menor renda existe uma maior área de trabalho onde esforço físico se faz necessário, ao contrario de países com maior renda (mais desenvolvidos), nos quais existem uma área de trabalho mais sedentária, ou seja, se a tecnologia tende a se desenvolver, a população sedentária resultante deste desenvolvimento tende, também, a crescer.

Dor lombar é um problema que afeta até 65% das pessoas por ano e 84% da população sofre de dor lombar por algum período da sua vida. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), dores na coluna, são a segunda maior condição de saúde crônica do Brasil, somente atrás da hipertensão arterial. Como dor lombar é um grande fator responsável por absentismo no trabalho e incapacidade, causa um grande impacto financeiro para a sociedade e para o sistema de saúde (NASCIMENTO, 2015).

Existem vários tratamentos para dor lombar, porque não há só um causa para a dor. Geralmente exercícios e fisioterapia são aconselháveis, mas se tratando de dor, é melhor trabalhar com a prevenção (quando possível) do que no tratamento. Exercícios e boa postura podem manter a saúde da coluna. Os músculos das costas e do abdômen mantém a postura e precisam de exercício, além disso, é necessário usar técnicas (como agachar ou virar o corpo todo para não forçar a coluna) para atividades vigorosas (DM; AE; EH, 2013).

A tecnologia móvel possibilita a captura de dados (fisiológicos, comportamentais, ambientais e de imagem) em uma escala jamais vista. Com baixo custo e alta facilidade de acesso, essa tecnologia tem o necessário para revolucionar a área de pesquisa biomédica, que precisa de uma quantidade muito grande de aquisição de dados para o avanço em pesquisas. Há 165 mil aplicativos relacionados a saúde nas lojas de

aplicativos da Apple e da Google e há grupos manuseando esses dados tornando-os disponíveis a pesquisadores da área biomédica (MUNOS et al., 2016). A população envolvida na coleta de dados sobre sua saúde vem crescendo. Uma pesquisa recente mostrou que 75% dos entrevistados, provavelmente ou definitivamente compartilhariam dados pessoais de saúde com pesquisadores e 90% destes afirmaram que é de extrema importância que esses dados sejam mantidos anônimos (MUNOS et al., 2016).

Acompanhando a tecnologia móvel estão as tecnologias vestíveis, que são tecnologias acopladas ao corpo, ou seja, vestidas (MCCANN; BRYSON, 2009). Por serem dispositivos utilizados no corpo, nada mais natural do que serem utilizados para auxiliar no seu funcionamento ou monitorá-lo. No caso das tecnologias vestíveis focadas no monitoramento, os *smartphones* são ótimos aliados por sua popularidade e grande aderência pela população para o controle, armazenamento ou apresentação de dados capturados.

Smartphones possibilitam que uma grande quantidade de dados sejam compartilhados através de aplicativos, para agilizar o processo de coleta de dados de pesquisas biomédicas (MUNOS et al., 2016) e tecnologias vestíveis possibilitam a coleta contínua de dados corporais (DONATI, 2004), unindo ambas as tecnologias, se obtém uma poderosa ferramenta de pesquisa e aplicação.

Com a evolução das tecnologias e com componentes eletrônicos cada vez menores, a computação móvel e vestível está emergindo e sendo vastamente utilizada na área da saúde, para fins de monitoramento de pacientes. Como a substituição de trabalho pesado por tecnologias mais avançadas pode levar a população a desenvolver sedentarismo, que por sua vez pode levar à dores lombares, este trabalho visa utilizar de tais tecnologias para amenizar o seu próprio impacto na qualidade de vida da população.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um protótipo utilizando sensores, microcontroladores e um módulo de comunicação, além de software para dispositivos móveis para a análise de postura do paciente para o auxílio no tratamento de dores lombares.

1.1.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos os seguintes tópicos:

- Estudar os tipos de sistemas embarcados disponíveis, suas configurações para especificar um modelo a ser aplicado no protótipo.
- Criar um protótipo de hardware vestível para a análise postural.
- Desenvolver um aplicativo para *smartphones* para a análise em tempo real.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em 5 capítulos, além da introdução.

O **Capítulo 2** apresenta um estudo sobre sistemas embarcados.

O **Capítulo 3** discorre sobre o mundo das tecnologias móveis e vestíveis.

O **Capítulo 4** aborda conceitos e protocolos de comunicação de dados.

O **Capítulo 5** consiste do mundo das tecnologias vestíveis e de trabalhos relacionados a este.

O **Capítulo 6** detalha o desenvolvimento do protótipo do sistema proposto.

O **Capítulo 7** apresenta as considerações finais deste trabalho e algumas propostas para trabalhos futuros.

2 SISTEMAS EMBARCADOS

Neste capítulo são vistas definições de sistemas embarcados, protocolos de comunicação entre microcontroladores e periféricos e fabricantes de microcontroladores atuais, necessários para a melhor tomada de decisão no desenvolvimento do sistema proposto.

2.1 DEFINIÇÃO

Sistemas embarcados estão mais presentes no nosso dia a dia do que imaginamos, desde nossos celulares até geladeiras e micro-ondas. Segundo (WHITE, 2011) um sistema embarcado é um sistema computadorizado construído para uma tarefa específica.

“O sistema embarcado é normalmente definido como o software implementado em hardware com intuito de realizar funcionalidades de tempo real específicas” (MALINOWSKI; YU, 2011).

Um sistema embarcado é representado na Figura 1.

O sistema embarcado está em contraste direto com um computador pessoal, que é vastamente utilizado hoje em dia. Assim como o computador pessoal, também é composto por hardware, software e, talvez, periféricos. Frequentemente um sistema embarcado é parte de um sistema maior. Como em carros, que possuem um sistema para o controle dos freios ABS e outro para a disposição de dados no painel. Até mesmo os computadores pessoais são feitos com vários sistemas embarcados (mouse, teclado, disco rígido, placa de vídeo, leitor de CD, etc) (CATSOULIS, 2005).

Por ser mais específico que computadores pessoais, um sistema embarcado não suporta o que não for relacionado à sua função principal. Porém não só o hardware é afetado por limitações. A linguagem de programação precisa ser pequena, mínima e pelo processador ser barato, operar com pouca memória de leitura (ROM) e uma pequena memória de acesso aleatório (RAM) o código objeto (código final) necessita ser do tamanho mais reduzido possível. O código fonte deve ser de fácil manutenção, um sistema embarcado é atualizado constantemente. (MAURER, 2002)

O hardware normalmente possui restrições, como por exemplo, pode-se utilizar processadores mais lentos para consumir menos bateria, ou menos memória para baratear o produto final, o que pode limitar a sua compatibilidade com periféricos. Outra maneira de identificar um

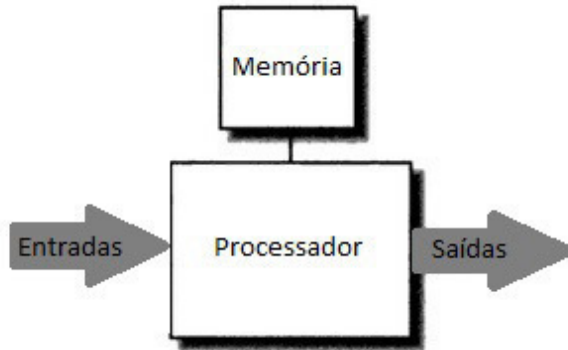


Figura 1 – Sistema embarcado

Fonte: Adaptado de (CATSOULIS, 2005)

sistema embarcado é pelo uso de compiladores cruzados (compilador que compila código para uma plataforma diferente da que está sendo executado). Por utilizarem hardware limitado, os sistemas embarcados não possuem a capacidade de executar compiladores em si próprios, então, os códigos são geralmente traduzidos da linguagem de alto nível em um computador e depois transferidos para o processador do sistema embarcado em código de máquina (WHITE, 2011).

2.2 DESAFIOS

Ao criar um sistema embarcado, existem recursos que se tornam críticos e de difícil otimização por causa de sua especificidade em tarefas, sendo eles:

- Memória;
- Espaço para código;
- Frequência e velocidade de processamento;
- Consumo de energia;
- Periféricos.

De certa forma, a otimização destes recursos é permutável. Pode-se aumentar a velocidade de processamento aumentando também o

consumo de energia, ou utilizar códigos maiores, porém com maior velocidade de execução, ou não possuir suporte a um periférico e criar o código que faça a compatibilidade, ocupando maior espaço na memória. Porém, mesmo com essa troca na otimização, os recursos continuam limitados e este é o maior desafio dos sistemas embarcados (EMERSON, 2004)

2.3 PROCESSADORES

O processador é a parte mais importante de um sistema embarcado, é o componente central do sistema. O processador é o que faz a manipulação dos dados de uma maneira especificada por meio de sequência de instruções. Cada tipo de processador possui um conjunto de instruções, ou seja, as funcionalidades de cada um varia. As instruções dos processadores são, normalmente, simples, como a adição de dois números ou chamar uma função, porém, alguns tipos diferentes de processadores possuem instruções mais sofisticadas. Essa diferença na complexidade de instruções divide os processadores em duas diferentes arquiteturas de processadores, a RISC (*Reduced Instruction Set Computer* ou computador com conjunto reduzido de instruções) e CISC (*Complex Instruction Set Computer* ou computador com conjunto complexo de instruções) (CATSOULIS, 2005)

2.3.1 CISC

A arquitetura dominante na indústria de computadores pessoais é CISC e a razão por traz disso é a complexidade das instruções. Isso acontece porque com instruções complexas se chega mais perto, e dá mais suporte, ao nível de abstração das linguagens de alto nível. Processadores CISC possuem uma variedade de métodos de acesso por endereço, o que faz com que as instruções, além de tempo de clock muito variáveis, tenham o tamanho variável na memória, o que causa problemas com o agendamento e pipeline de tarefas.

Antigamente, essa arquitetura de processadores ganhou um grande espaço no mercado, porque com uma quantidade maior de instruções o código assembly ficava menor, por precisar de menos instruções para realizar certas funções e ocupar menos memória, que na época era cara e lenta. Com o tempo as memórias foram ficando mais rápidas e baratas, compiladores cada vez mais eficientes e com isso as vantagens dos

processadores CISC diminuíram. Os processadores CISC tinha uma complexidade crescente, tornando os processadores cada vez maiores, mais lentos e mais difíceis de se produzir, além disso, consumiam muita energia o que fazia com que gerassem muito calor (MASOOD, 2011).

2.3.2 RISC

Na arquitetura RISC ao contrário da arquitetura CISC, as instruções são pequenas e altamente otimizadas. Algumas características RISC são:

- Execução em um ciclo de clock. Utilizam apenas um ciclo de clock para cada instrução.
- Pipelining. Execução de partes de instruções em paralelo.
- Maior quantidade de registradores. Para reduzir o uso de memória.
- Métodos de endereçamento simples.
- Baseado em arquitetura Harvard. Possuindo áreas separadas para memória de código e memória de dados.

2.4 MICROCONTROLADORES

Microcontroladores são chips que possuem não só um processador, mas também periféricos como memória, conversores A/D (Analogico/Digital), portas seriais. Estes chips estão cada vez mais baratos e potentes, que os tornam cada vez mais atraentes para a área de sistemas embarcados (CALDWELL; RENNELS, 1999).

2.4.1 Microcontroladores comerciais

Dentre os microcontroladores, podemos observar na Tabela 1 que os microcontroladores de 8-bits são os mais vendidos no mercado. De acordo com a Atmel isso acontece porque microcontroladores de 8-bits simplificam o design dos produtos e reduzem o custo relacionado a material.

“A chave do sucesso dos 8-bits se dá pela habilidade de integrar novas funcionalidades. É por isso que os 8-bits, não só sobrevivem,

Tabela 1 – Mercado de microcontroladores por receita

Fonte: (MURRAY, 2015)

1.	8-bits	39.7%
2.	32-bits	38.5%
3.	16-bits	21.8%

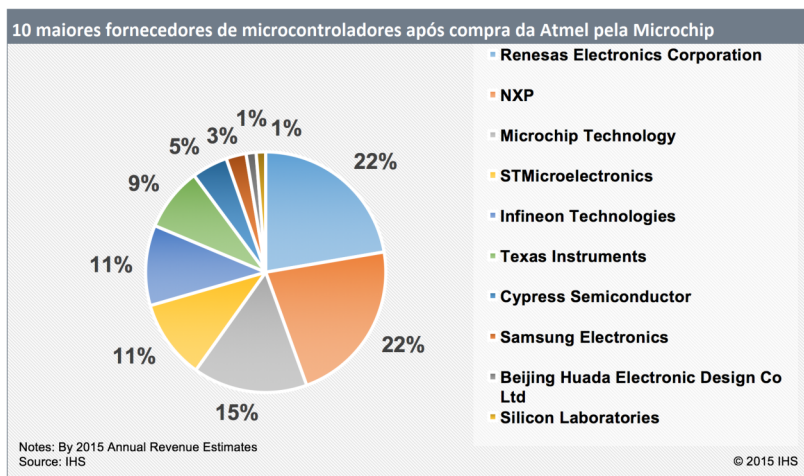


Figura 2 – Maiores fornecedores de microcontroladores em 2016 após a compra da Atmel pela Microchip

Fonte: Adaptado de (MCGRATH, 2016)

mas sim continuam crescendo moderadamente no mercado.” (MURRAY, 2015)

Foram selecionados duas grandes empresas mostradas na Figura 2 para serem analisadas.

2.4.1.1 Renesas Electronics

Em segundo lugar no ranking de maiores empresas fabricantes de microcontroladores em 2014 a Renesas Electronics, fundada em novembro de 2002 e com sede no Japão, possui linhas de microcontroladores de baixo consumo, outras com memórias flash de até 4MB,

ou específicas para automóveis, resistentes à calor e outros periféricos como sensores de toque capacitivos, sistemas de controle de motores, bluetooth com baixo consumo de energia, diodos e transistores (RENE-SAS, 2016).

2.4.1.2 Microchip

Líder de mercado de microcontroladores em 2014 a Microchip, com sede nos Estados Unidos, recentemente comprou a Atmel (quarta maior fabricante de microcontroladores em 2014) por \$2,3 bilhões de dólares (TECHNOLOGY, 2016). A Microchip possui linhas de processadores RISC de 8, 16 e 32 bits, além de periféricos como amplificadores, conversores de dados (análogo para digital), interfaces (CAN, Ethernet, Infravermelho, USB, etc) drivers para motores, memórias e sensores touch.

2.5 PERIFÉRICOS

Um periférico é algo que está fora do processador, algo com que o processador se comunica. Por exemplo memórias, sensores, atuadores e dispositivos de interfaceamento. Como o processador tem acesso direto a memória interna, ela praticamente não conta como um periférico, porém, pode-se adicionar mais memória como um periférico ao sistema. Sensores podem captar dados específicos sobre o ambiente. Atuadores podem manipular o ambiente. Displays e teclados podem fazer o sistema interagir com o usuário.

2.5.1 Sensores e Atuadores

Sensores são dispositivos que conseguem coletar dados do ambiente, porém não conseguem modifica-lo. Por exemplo, um sensor de temperatura consegue medir o valor da temperatura atual, porém, não consegue modificá-la. Por outro lado, um atuador não tem a habilidade de capturar dados do ambiente e sim de modificá-lo, por exemplo, uma resistência para aquecimento, que não mede nenhum tipo de valor, porém, consegue altera o ambiente em que está inserido.

Sistemas embarcados muitas vezes utilizam estes dois tipos de periféricos para uma combinação mais eficaz. Por exemplo, se forem unidos os dois exemplos anteriores, um sensor de temperatura e uma

resistência de aquecimento, pode-se implementar o sistema de um forno elétrico.

2.5.2 Comunicação com periféricos

Atualmente, assim como existem diversos periféricos para microcontroladores, existem também diversos protocolos de comunicação entre eles.

Foram consideradas dois protocolos de comunicações com periféricos (SPI e I²C).

2.5.2.1 *Serial Peripheral Interface* (SPI)

A comunicação SPI foi criada pela Motorola para prover uma interface simples e de baixo custo entre microcontroladores e periféricos. É um protocolo síncrono, toda transmissão é comandada por um clock gerado pelo mestre que é utilizada para sincronizar o escravo. Um mestre pode se conectar a vários escravos e decidir qual participará da transmissão pela entrada de chip select (CS). SPI usa quatro sinais na conexão, que são:

- MOSI (*Master Out Slave In*)
- MISO (*Master In Slave Out*)
- SCLK (*Serial Clock*)
- CS (*Chip Select*)

MOSI é o sinal de saída do mestre e de entrada do escravo, MISO é o sinal de saída do escravo e entrada do mestre, SCLK é o clock usado na comunicação e CS é utilizado para habilitar ou desabilitar a comunicação com o chip (sinal de saída do mestre para o escravo). Um exemplo de conexão SPI é demonstrado na Figura 3

Esse protocolo de comunicação não possui *overhead* (disperdício de tempo), ou seja, se o clock for de 8KHz, a comunicação terá um velocidade de 1 KB/s, tornando a velocidade de comunicação limitada somente pelo processador ou por quanto o periférico suporta receber. Por causa da maior velocidade, os sinais se deterioram rapidamente com a distância, limitando a comunicação a menos de um metro.

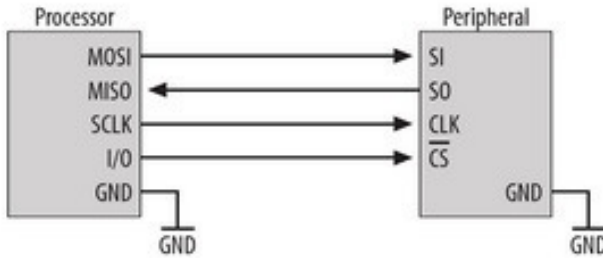


Figura 3 – Conexão SPI

Fonte: (CATSOULIS, 2005)

2.5.2.2 *Inter-Integrated Circuit (I²C)*

I²C é uma rede para conectar periféricos barata e eficiente em sistemas de pequena escala. Também conhecida como IIC, existente há mais de 20 anos, é equivalente a SPI, porém suas operações são diferentes.

I²C utiliza dois fios bidirecionais, de baixa velocidade e síncronos a um clock comum, conectados a vários dispositivos que podem ser adicionados e retirados da conexão sem afetar os outros dispositivos.

Os dois sinais utilizados na conexão, são:

- SDA (*Serial Data*)
- SCL (*Serial Clock*)

Eles são conectados a uma alimentação positiva, via resistores de *pull-up*, então ficam em nível lógico alto quando não estão em uso. O dispositivo que for usar a conexão pode mudar o nível lógico da ligação para baixo, ou deixar como alto, dependendo do que for necessário. Cada dispositivo conectado possui um endereço único e pode atuar como mestre (transmissor) ou como escravo (receptor), ou ambos. Ou seja, a comunicação I²C, pode conectar vários mestres e escravos utilizando apenas dois fios de conexão (CATSOULIS, 2005). Como mostrado na Figura 4.

Diferentemente da comunicação SPI, que utiliza uma conexão de dados para cada direção da comunicação, a conexão de dados é bidirecional. Outra diferença é que a comunicação I²C não possui muitos modos de operação, o que a torna mais simples e prática. Por ser um

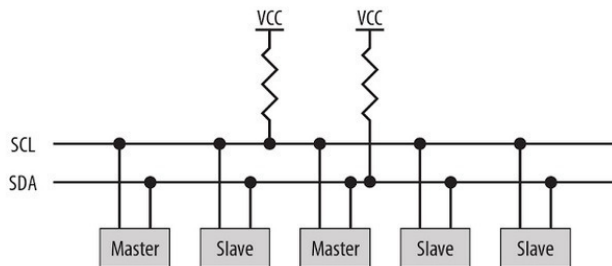


Figura 4 – Conexão I²C

Fonte: (CATSOULIS, 2005)

protocolo de comunicação mais lento, é possível que a distância entre mestre e escravo seja maior.

A transferência de dados é inicializada colocando o SDA em nível baixo e em seguida o SCL também, isso então é interpretado pelos dispositivos conectados como uma condição chamada START (Figura 5).



Figura 5 – Condição de START

Fonte: (CATSOULIS, 2005)

Cada bit transmitido é, então, lido na borda de subida do SCL e verificado se continua consistente na borda de descida (Figura 6).

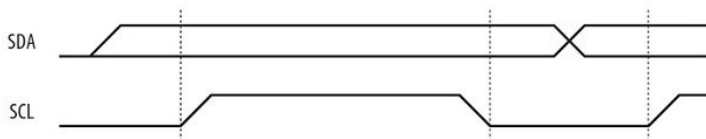


Figura 6 – Condição de transmissão

Fonte: (CATSOULIS, 2005)

Ao final da transmissão, o SCL volta para o nível lógico alto e em seguida o SDA também. Isso é interpretado pelos dispositivos conectados como uma condição chamada STOP (Figura 7).

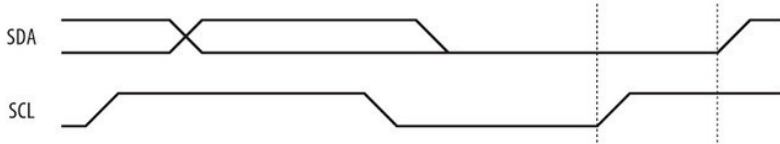


Figura 7 – Condição de STOP

Fonte: (CATSOULIS, 2005)

3 COMUNICAÇÃO SEM FIO

As comunicações sem fio começaram a ser desenvolvidas há três séculos com o entendimento de sinais elétricos e magnéticos. É comum que a invenção do rádio (primeira forma de comunicação por ondas eletromagnéticas) seja atribuída a pessoas diferentes dependendo do país, isso acontece pois a comunicação por rádio frequências estava sendo desenvolvida simultaneamente em vários países e toda invenção contribuiu para o rádio como conhecemos hoje (SARKAR et al., 2006).

A partir de então, os meios de comunicação sem fio só vem crescendo e se desenvolvendo cada vez mais com o passar dos séculos. De acordo com a União Internacional de Telecomunicações, a agência de telecomunicações da Organização das Nações Unidas, o número de usuários da rede de telefonia fixa cresceu de aproximadamente 31 milhões em 2000 para aproximadamente 45 milhões em 2013, enquanto o número de usuários da rede móvel de telefonia cresceu de 23 milhões em 2000 para 271 milhões em 2013, um valor equivalente a 1,35 dispositivos móveis para cada pessoa no Brasil (ITU, 2016).

Com base nestes dados pode-se concluir que tecnologias sem fio estão crescendo, se popularizando e também que é uma tecnologia que se consolidou no mercado. Segundo (KUROSE; ROSS, 2007) “Independentemente do crescimento futuro de equipamentos sem fio para Internet, já ficou claro que redes sem fio e os serviços móveis relacionados que elas possibilitam vieram para ficar”.

Neste capítulo será feita a fundamentação teórica de redes sem fio e também de protocolos de comunicação sem fio de curta distância a fim de auxiliar na melhor decisão para a criação do sistema proposto.

3.1 PADRÕES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO

O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* ou IEEE), fundado em 1963 e sem fins lucrativos, é a maior associação de profissionais da área da tecnologia com o objetivo de promover a inovação tecnológica e excelência em benefício da humanidade. O IEEE é responsável pela criação dos padrões de redes mais utilizados hoje em dia (por exemplo Ethernet, Bluetooth e redes sem fio residenciais). Como pode-se ver na Figura 8 os padrões 802.11 e 802.15 foram feitos para curtas distâncias e chegam a altas velocidades (na casa de megabits por segundo), tornando-os

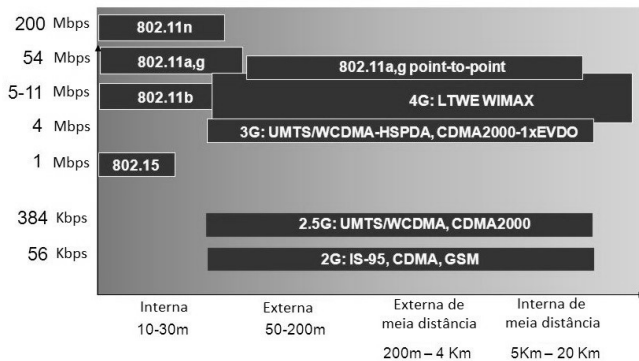


Figura 8 – Características de padrões de redes sem fio

Fonte: Adaptado de (KUROSE; ROSS, 2007)

ótimas escolhas para projetos de sistemas embarcados que necessitem de comunicação sem fio de curta distância

3.2 PADRÃO IEEE 802.11

O padrão 802.11 especifica as implementações de redes locais sem fio (*Wireless Local Area Network*, ou WLAN). Usuários de WLANs esperam que elas possuam as mesmas capacidades e serviços das redes locais (*Local Area Network*, ou LAN), porém, para atingir esta meta as redes WLAN precisam superar certos desafios não encontrados anteriormente nas LANs.

3.2.1 Componentes principais da rede

As redes 802.11 possuem quatro componentes principais, que são organizados conforme demonstrado na Figura 9, segundo (GAST, 2005) a função de cada componente é:

- Estação - as redes são criadas para a transferência de dados entre estações, que ficam, normalmente, nos pontos extremos das redes.
- Ponto de acesso - são a ponte entre a conexão sem fio e com fio.

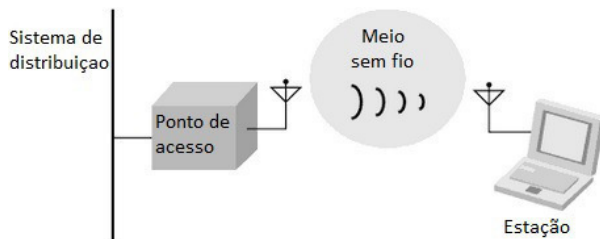


Figura 9 – Componentes de LANs 802.11

Fonte: Adaptado de (GAST, 2005)

- Meio sem fio - é o meio que substitui o fio utilizado anteriormente.
- Sistema de distribuição - comunicação entre pontos de acesso ou pontos de acesso e provedor de internet.

3.2.2 Serviços de segurança

Diferentemente das redes com fio, que consegue prover confiabilidade na identificação de usuários conectados pelo fato do cabo estar fisicamente conectado ao computador, a rede sem fio utiliza um meio compartilhado para a transmissão de dados: o ar. Segundo (GAST, 2005), alguns pontos são importantes para a segurança no padrão 802.11:

- Autenticação - como qualquer pessoa tem acesso ao meio de transmissão, a rede necessita de um método para verificar se o usuário possui autorização para estar conectado na rede.
- Criptografia - algoritmos de criptografia são utilizados pela facilidade de acesso aos dados transmitidos.
- Autenticidade da origem - permite o receptor validar o transmissor dos dados para prevenir que algum transmissor tente se passar por outro.

3.3 PADRÃO IEEE 802.15

O padrão 802.15 de redes pessoais sem fio (*Wireless Personal Area Networks*, ou WPAN) foca seus esforços no desenvolvimento de

padrões para redes pessoais (*Personal Area Networks*, ou PAN) sem fio de curta distância. O objetivo é padronizar e recomendar práticas ou guias com o intuito de lidar com problemas de interferência e interoperabilidade com outras redes sem fio (IEEE, 2016).

3.3.1 Bluetooth - IEEE 802.15.1

O padrão 802.15.1, conhecido como Bluetooth, utiliza a comunicação via radiofrequências em vez de fios. A tecnologia Bluetooth está em grande uso no mercado em produtos como caixas de som sem fio, fones de ouvido sem fio, celulares e relógios. Para dois dispositivos Bluetooth se comunicarem eles precisam se parear. Essa comunicação ocorre em uma curta distância e em redes ad hoc conhecidas como picorredes (Dois ou mais dispositivos ocupando o mesmo canal de frequência).

A marca e logo Bluetooth são reconhecidas e de confiança para até 97% dos clientes mundialmente (BLUETOOTH, 2016c).

3.3.1.1 Arquitetura básica do sistema

Apesar de Bluetooth possuir diferentes especificações, o sistema possui uma arquitetura básica a ser seguida. Essa arquitetura básica inclui um transceptor de radiofrequência, uma banda base e uma pilha de protocolos. Os protocolos do sistema central são:

- protocolo de radiofrequência
- protocolo de controle de link
- protocolo gerente de links
- protocolo de controle e adaptação de link lógico

Os três primeiros protocolos são, geralmente, agrupados em um subsistema chamado controlador Bluetooth (BLUETOOTH, 2016a).

3.3.1.2 Máquina de estados

A operação da camada de link pode ser descrita pela máquina de estados com os estados como mostrado na Figura 10. Apenas um

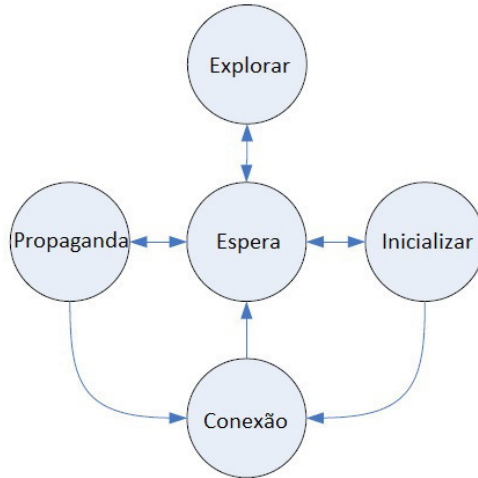


Figura 10 – Diagrama de estados da camada de link

Fonte: Adaptado de (BLUETOOTH, 2016b)

estado pode estar ativo de cada vez e cada estado possui um papel, que são:

- Espera - No estado de espera não há recepção nem transmissão de dados. Qualquer estado pode mudar para o estado de espera.
- Propaganda - No estado de propaganda o sistema fica, continuamente, transmitindo pacotes de propaganda de canal e, também, recebendo e respondendo a respostas destes pacotes de propaganda. O estado de propaganda pode ser acessado pelo estado de espera. Um dispositivo neste estado é conhecido como anunciante.
- Explorar - Neste estado, o sistema fica em busca de pacotes de propaganda de canal. Este estado pode ser acessado pelo estado de espera.
- Inicializar - No estado de inicialização, o sistema estará escutando pacotes de propaganda de canal de um dispositivo específico e respondendo a estes pacotes com o intuito de iniciar uma conexão. Este estado pode ser acessado pelo estado de espera.

- Conexão - O estado de conexão pode ser acessado tanto pelo estado de inicialização, quanto pelo estado de propagação. Dentro deste estado, o dispositivo pode assumir um papel dentre dois papéis diferentes, que são:
 - Mestre — Quando o estado anterior for o estado de inicialização, o dispositivo é o dispositivo mestre.
 - Escravo — Quando o estado anterior for o estado de propagação, o dispositivo será considerado um dispositivo escravo. Neste papel, o dispositivo pode se conectar a apenas um mestre, que por sua vez definirá a temporização das transmissões.

3.3.1.3 Salto de frequência

Como o padrão 802.15.1 utiliza a mesma faixa de frequência livre que o padrão 802.11, foi necessária a criação de uma técnica para a redução de interferência entre eles. Uma solução utilizada nos dias de hoje é a do salto de frequência adaptativo (*Adaptive Frequency Hopping*, ou AFH) (GOLMIE; CHEVROLIER; REBALA, 2003).

O algoritmo de AFH faz com que o sistema se comunique apenas por frequências “boas”, sem interferência, evitando os canais de frequências “ruins”, que por sua vez, são canais com outros dispositivos se comunicando, ou com interferências (GOLMIE; REBALA; CHEVROLIER, 2003).

3.3.2 *Low-rate WPAN* - IEEE 802.15.4

O padrão 802.15.4 define a operação de redes pessoais sem fio, também chamadas de rede de sensores sem fio, de baixas taxas de transmissão que acarretam em baixo consumo de energia tornando-o vantajoso em redes de sensoriamento. De acordo com (MIRZOEVI, 2014) algumas características do padrão 802.15.4 são:

- Taxas de dados de 250 kb/s, 40 kb/s e 20 kb/s.
- Operações em modo estrela ou ponto-a-ponto.
- Endereços de 16 ou 64 bits.
- Alocação de intervalos de tempos garantidos.

- Acesso múltiplo com sensoriamento da portadora com prevenção de colisão.
- Protocolo reconhecido para confiabilidade de transferência.
- Baixo consumo de energia.
- Detecção de energia.
- Indicador de qualidade de link.
- 16 canais na banda de 2450 MHz e 10 canais na banda de 915 MHz e 1 canal na banda de 868 MHz.

3.3.2.1 Topologias de rede

Este padrão, que visa a formação de redes de sensores sem fio, provê possibilidades de redes demonstradas na Figura 11. A topologia estrela é comum em qualquer comunicação com cliente-servidor, todos os dados dos clientes devem passar pelo servidor (Coordenador PAN). Já a topologia ponto-a-ponto possibilita a comunicação bidirecional de dois dispositivos, mesmo sem serem coordenadores PAN (ADAMS, 2006).

3.3.2.2 Classes de dispositivos

Os dispositivos que participam de uma rede 802.15.4 podem ser divididos em duas classes:

1. Dispositivo com função completa

- Qualquer topologia.
- Pode ser coordenador PAN (Controlador da PAN, somente um por PAN).
- Comunica com qualquer dispositivo.
- Implementa o conjunto completo de protocolos.

2. Dispositivo com função reduzida

- Somente topologia estrela ou dispositivo final na rede ponto-a-ponto.
- Não pode ser coordenador PAN.

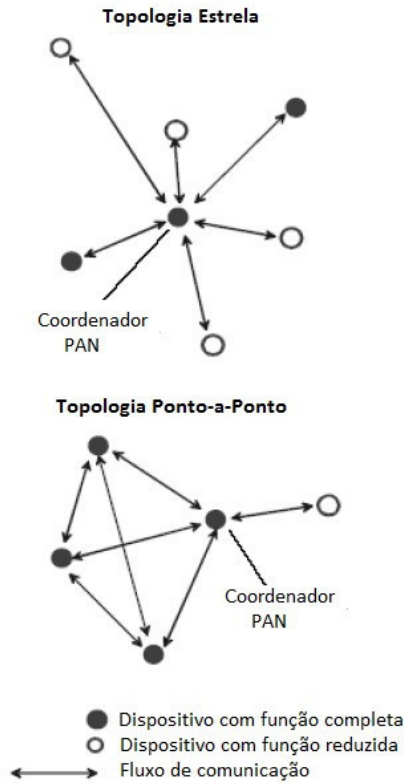


Figura 11 – Topologias de rede

Fonte: Adaptado de (ADAMS, 2006)

- Implementação simples.
- Conjunto de protocolos reduzido.

4 DISPOSITIVOS MÓVEIS

Os dispositivos móveis, como tablets e celulares, estão evoluindo rapidamente e utilizam processadores cada vez mais rápidos, câmeras de alta resolução, além de vários sensores. Isso fez com que os dispositivos fossem substituindo alguns tipos de tecnologias, como despertadores, câmeras digitais, cronômetros, *MP3 Player*, GPS (*Global Positioning System*) no cotidiano das pessoas e tornando-os tecnologias em grande crescimento no mercado mundial. Os dispositivos móveis, com sua característica de integração de várias funcionalidades, tornam o dia-a-dia de seus usuários mais cômodos, o usuário pode realizar uma rápida pesquisa, tirar uma foto, ouvir música, checar mapas, localizações, além de realizar ligações (no caso de celulares) em um único dispositivo que cabe na palma da sua mão.

Este capítulo apresenta os sistemas operacionais mais utilizados em dispositivos móveis e mostra também algumas características específicas de cada sistema operacional a fim de auxiliar na construção do sistema proposto.

4.1 SISTEMAS OPERACIONAIS MÓVEIS

Por possuírem um grande número de funcionalidades, além de sua funcionalidade primária de fazer ligações, os celulares, mais especificamente os *smartphones*, necessitam de sistemas operacionais cada vez mais robustos e eficientes para suprir a demanda dos usuários de uma interface rápida e prática para a utilização de várias aplicações simultaneamente.

De acordo com o IDC (*International Data Corporation*) a participação de mercado de sistemas operacionais para celulares em 2016, como mostrado na Figura 12, pelos três sistemas operacionais mais utilizados foi:

- Android - Sistema operacional desenvolvido pela Google, com 87,6% no segundo quadrante de 2016, liderando com uma grande vantagem sobre os concorrentes.
- iOS - Sistema operacional desenvolvido pela Apple, com 11,7%.
- Windows Mobile - Sistema operacional desenvolvido pela Microsoft com apenas 0,4% do mercado.

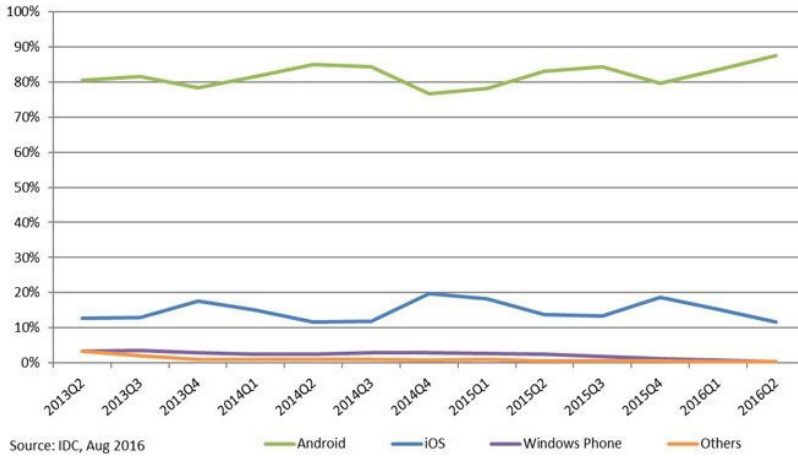


Figura 12 – Participação no mercado de sistemas operacionais móveis

Fonte: (IDC, 2016)

4.1.1 Android

Android é um projeto de sistema operacional com código aberto liderado pela Google, sua filosofia de governança é que qualquer um pode e deve usar o código fonte Android para qualquer propósito, e são bem-vindas todas as formas de uso legítimas (ANDROID, 2016).

4.1.1.1 Pilha de Software

Como pode ser visto na Figura 13, o sistema operacional Android é baseado no sistema operacional linux e possui 5 camadas diferentes.

Cada camada representa um tipo diferente de software, alguns exemplos são:

- Aplicações - Alarme, calendário, navegador de internet, calculadora, relógio, email, contatos, etc.
- Framework Android - Provedores de conteúdo, gerenciadores (de atividade, localização, pacotes, notificações, etc), sistema de visualização.

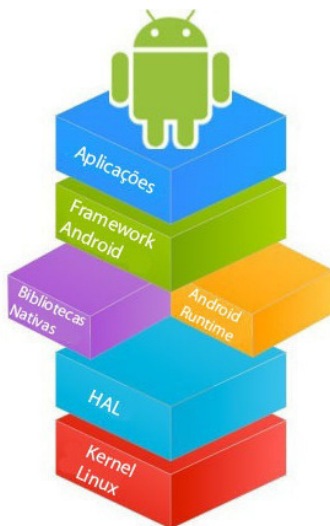


Figura 13 – Pilha de software Android

Fonte: Adaptado de (ANDROID, 2016)

- Bibliotecas nativas - Gerenciador de áudio, libc, opengl, webkit.
- Android Runtime - Bibliotecas principais, arte.
- HAL - Áudio, bluetooth, camera, memória externa, gráficos, sensores, etc.
- Kernel Linux - drivers, gerenciamento de energia, exibição.

4.1.1.2 Compatibilidade e Segurança

O sistema Android é altamente focado em compatibilidade de dispositivos e por seu código ser aberto, foi criado um programa de compatibilidade para garantir a eficácia do sistema. Existe documentação que definem detalhes técnicos para auxiliar desenvolvedores em que suas aplicações executem no máximo de dispositivos possível, além disso, a loja de aplicativos Google Play mostra somente aplicações compatíveis com o dispositivo sendo utilizado o que também reduz o número de erros causados por problemas de compatibilidade.



Figura 14 – Camadas do iOS

Fonte: (LIU et al., 2011)

O Android foi criado com segurança em múltiplas camadas, que é flexível para suportar sua plataforma aberta e ainda assim proteger os usuários, também possui ferramentas para ajudar desenvolvedores a procurar vulnerabilidades em suas aplicações.

4.1.2 iOS

iOS é o sistema operacional desenvolvido pela Apple para seus dispositivos móveis e, ao contrário do Android que é um software aberto voltado para a compatibilidade, funciona exclusivamente para o hardware desenvolvido pela própria empresa.

Apesar do iOS não ser um sistema operacional aberto, seu núcleo é baseado no sistema operacional Darwin, que também foi desenvolvido pela Apple e é um sistema operacional de código aberto baseado em Unix. Segundo (LIU et al., 2011) o sistema operacional pode ser dividido em camadas como na Figura 14, sendo que aplicações funcionam acima da camada Cocoa Touch.

Como o software da Apple é protegido por direitos autorais, não existem informações tão detalhadas sobre o sistema, são liberados apenas kits de desenvolvimento de software, diretrizes e auxílio para o desenvolvimento de aplicativos.

Tabela 2 – Relação de sistemas operacionais e linguagens de programação de aplicativos

Fonte: Adaptado de (RIBEIRO; SILVA, 2012)

Fornecedor	Sistema Operacional	Linguagem de Programação	Ambiente de Desenvolvimento	Loja de Aplicativos
Google e Open Handset Alliance	Android	Java	Eclipse	Google Play
Apple	iOS	Objective-C	Xcode	iPhone App Store
Microsoft	Windows Phone	Visual C#/C++	Visual Studio	Windows Phone Marketplace

4.1.3 Windows Phone

Apesar do sistema operacional Windows ser utilizado por mais de 87% dos usuários de computadores de acordo com (NETMARKETSHARE, 2016), o sistema operacional da Microsoft para celulares obteve um nível de sucesso extremamente inferior.

Uma dificuldade encontrada em um sistema operacional móvel pouco utilizado é o baixo número de desenvolvedores criando aplicativos e conteúdo para a loja de aplicativos, isso cria um ciclo onde menos usuários resultam em menos desenvolvedores de aplicativos e o baixo número de aplicativos causam um menor número de usuários.

4.2 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

Assim como há variedade de sistemas operacionais móveis, há, também, variedade na linguagem de programação utilizada para a criação de aplicativos de tais sistemas. De acordo com (RIBEIRO; SILVA, 2012) a relação entre sistema operacional e as linguagens de programação para aplicativos são descritas na Tabela 2.

Tabela 3 – Compatibilidade entre ferramenta e plataforma

Fonte: Adaptado de (RIBEIRO; SILVA, 2012)

Ferramenta/Plataforma	Android	iOS	Windows
Rhodes	✓	✓	✓
PhoneGap	✓	✓	✓
DragonRAD	✓		
Titanium	✓	✓	
mobl	✓	✓	
mdsl	✓	✓	

Com isso, é possível perceber que não se pode programar um aplicativo compatível com todos os sistemas operacionais móveis a partir de um único código, se faz necessária a recodificação do aplicativo para cada sistema operacional móvel diferente. Em uma pesquisa realizada por (RIBEIRO; SILVA, 2012) foram analisados seis ferramentas de desenvolvimento de aplicativos capazes de gerar aplicativos compatíveis entre sistemas operacionais. Foram testadas as seguintes ferramentas:

- Rhodes
- PhoneGap
- DragonRAD
- Titanium
- mobl
- mdsl

De acordo com a pesquisa, as ferramentas produziram aplicativos compatíveis entre certos sistemas operacionais, como mostrado na Tabela 3. Como se pode observar, a ferramenta Rhodes e PhoneGap conseguem criar aplicativos compatíveis entre os três sistemas operacionais móveis mais utilizados da atualidade.

5 TECNOLOGIAS VESTÍVEIS

Com a constante evolução da tecnologia, processadores cada vez menores e diminuição no custo em baterias, sensores e dispositivos de comunicação, as tecnologias vestíveis estão saindo do mercado especializado e ficando cada vez mais populares, ganhando espaço no mercado (RAWASSIZADEH; PRICE; PETRE, 2014). Estes dispositivos acoplados ao corpo podem alterar a percepção de mundo do usuário removendo limites impostos pelo corpo humano (DONATI, 2004).

Segundo (MCCANN; BRYSON, 2009) um computador vestível é definido como “um computador montado de maneira que possa ser vestido ou carregado no corpo e ainda assim possuir uma interface com o usuário pronta para ser utilizada a qualquer momento”.

Neste capítulo é visto um pouco da história dos computadores vestíveis, suas aplicações na área da saúde, fatores de aceitação dos usuários e trabalhos relacionados ao desta pesquisa.

5.1 O PRIMEIRO COMPUTADOR VESTÍVEL

No ano de 1955 o primeiro computador vestível foi imaginado por Edward O. Thorp e construído em 1960 com a ajuda de Claude Shannon no *Massachusetts Institute of Technology* (THORP, 1998).

O dispositivo, mostrado na Figura 15, tinha como função prever o resultado de roletas em cassinos. Foi construído com apenas 12 transistores e era do tamanho de um maço de cigarro, era posicionado dentro do sapato do observador da roleta e possuía dois botões que eram pressionados pelos dedões do pé. O dispositivo se comunicava com o usuário através de sons por um fone de ouvido disfarçado.

As apostas eram feitas em duplas (ambos utilizando o dispositivo vestível), onde uma pessoa observava a roleta de perto e transmitia os dados para o apostador, que ficava longe da roleta. O dispositivo foi capaz de aumentar as chances de ganho na roleta para 44%.

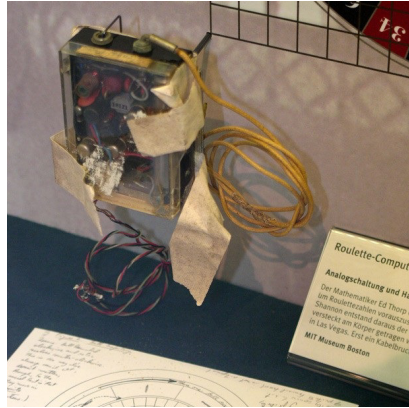


Figura 15 – Primeiro computador vestível de Edward O. Thorp e Claude Shannon

Fonte: (MELANSON, 2013)

5.2 TECNOLOGIAS VESTÍVEIS NA ÁREA DA SAÚDE

Tendo em vista que tecnologias vestíveis são utilizadas acopladas ao corpo, é natural que se utilize destas tecnologias para monitorar o próprio corpo que a carrega. Tais dispositivo atualmente não são utilizados para atuar diretamente no corpo do usuário, mas sim, para apresentar os dados coletados de maneira com que se possa reeducar hábitos a serem mais saudáveis (MS; DA; KG, 2015) ou, em outros casos, podem ser utilizados no monitoramento de problemas de saúde ou até mesmo na descoberta de doenças desde os estágios iniciais, já que o monitoramento é feito de maneira contínua e em tempo real (CHIAUZZI; RODARTE; DASMAHAPATRA, 2015).

Como tecnologias vestíveis são facilitadores para a mudança de comportamentos não saudáveis e não atuadores diretos, dependem de fatores como a motivação do usuário em integrar melhores hábitos a sua vida. Uma pesquisa realizada com 6223 pessoas nos Estados Unidos, mais da metade de compradores de tecnologias vestíveis acabaram parando de utilizar os dispositivos e destes grupo, um terço deixou de utilizar seu dispositivo vestível em menos de seis meses de uso (MS; DA; KG, 2015).

5.3 ACEITAÇÃO DAS TECNOLOGIAS VESTÍVEIS

Assim como qualquer nova tecnologia, as tecnologias vestíveis sofrem preconceito de potenciais usuários. Um estudo realizado por (YANG et al., 2016) com 375 pessoas (273 potenciais usuários de tecnologias vestíveis e 102 usuários) mostra que os benefícios (usabilidade, aproveitamento e imagem social) percebidos pelo usuário são mais importantes que os riscos (financeiros ou de desempenho) que as tecnologias vestíveis podem trazer. Para ambos os grupos do estudo a imagem social gerada pelo vestível é importante, já que se trata de um acessório, ou uma roupa, que fica mais exposta aos outros do que um celular, por exemplo. Em potenciais usuários a pesquisa indica que o risco de performance é o que pesa mais na decisão de compra do que risco financeiro, ou seja, as pessoas estão dispostas a tomar um risco financeiro desde que tenham uma garantia da performance.

Um outro estudo desta vez focado em tecnologias vestíveis na área da saúde, realizado por (LI et al., 2016) com 333 pessoas, mostra que riscos de privacidade tem o maior impacto na decisão final do usuário, mas esse fator é amenizado pelos benefícios percebidos.

5.4 TRABALHOS RELACIONADOS

Um trabalho realizado por (GIORGINO PAOLO TORMENE; QUAGLI, 2009) utilizou uma camiseta com sensores de tensão mecânica (*Strain Gauge*) para o acompanhamento da reabilitação neurológica de pacientes em fases avançadas de recuperação, na qual o paciente não necessita mais da presença física de um profissional da área, porém, não pode parar de praticar exercícios para a reabilitação motora. O protótipo, mostrado na Figura 16, contém 19 segmentos de sensores distribuídos pelo braço, antebraço e ombro do lado direito ou esquerdo, dependendo do lado em que o paciente está se recuperando.

Em uma pesquisa feita por (MAYAGOITIA; NENE; VELTINK, 2002) foi realizada uma tentativa de substituir a análise ótica feita através de câmeras por uma análise feita através de sensores como giroscópios e acelerômetros espalhados pelo corpo por esta ser uma opção mais barata que a anterior. Testes foram realizados com dez pessoas correndo em esteiras utilizando os dois sistemas de monitoramento (ótico e por sensores) simultaneamente, os resultados mostram uma correlação média dos dados obtidos entre os dois sistemas de 0,9812 e desvio padrão de 0,02, ou seja, os sistemas têm precisão significativamente



Figura 16 – Protótipo utilizado por Giorgino na aquisição de dados em pacientes em reabilitação motora

Fonte: (GIORGINO PAOLO TORMENE; QUAGLI, 2009)

parecida, porém em altas velocidades o sistema de sensores sofreu alterações indesejadas, o autor relata que tais alterações foram consequência do impacto do calcanhar no chão, causando vibrações nos sensores.

Uma comparação entre um método cronometrado para a detecção de esclerose múltipla e uma avaliação com acelerômetros feita por (SPAIN et al., 2012) revelou que a segunda opção pôde detectar diferenças nas velocidades angulares em movimentos de rotação entre pessoas com esclerose múltipla e pessoas sem, enquanto a primeira e mais clássica opção não pôde diferenciar.

Uma pesquisa realizada por (LORUSSI et al., 2004) realizou testes com sensores *Strain Gauge*, mostrados na Figura 17 para a representação computacional da posição do braço, mão e joelho. A pesquisa obteve sucesso em reconstruir os movimentos realizados em computador com erros menores do que 8% na posição detectada.

Um estudo realizado por (KOBASAR et al., 2016) mostra que analisando dados adquiridos a partir de acelerômetros na lombar, coxa, canela e pé mostram alta acuracidade na detecção de pacientes com osteoartrite no joelho, porém, os dados da lombar e da canela são os mais confiáveis de todos. Este estudo demonstra a confiança dos dados de aceleração obtidos na lombar para a análise de padrões biomecânicos.

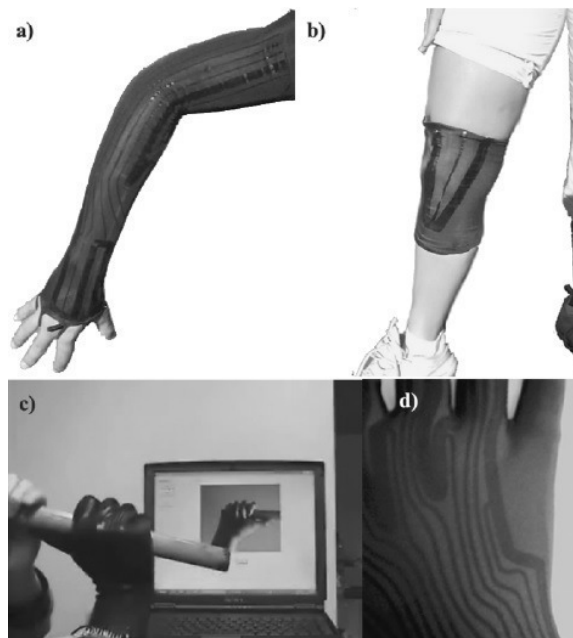


Figura 17 – Protótipos de sensores. (a) manga de sensores. (b) joelheira. (c) luva de sensores durante o reconhecimento de movimento. (d) detalhamento das trilhas de sensores no tecido

Fonte: (LORUSSI et al., 2004)

Uma pesquisa feita por (YNGVE et al., 2003) buscou monitorar regiões como quadril e coluna comparando atividades físicas ao ar livre e em esteira com vinte e oito pessoas. A conclusão foi de que não houve diferença para este estudo a posição dos sensores, porém, atividades feitas na esteira foi menos eficiente do que as feitas ao ar livre.

6 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo trata sobre o desenvolvimento do protótipo, passando por todo o processo de concepção da ideia, componentes escolhidos e software desenvolvido.

6.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO

O sistema tem como objetivo monitorar os movimentos da coluna vertebral, armazená-los, caso desejado e mostrar ao usuário os dados coletados de maneira simples, que qualquer um possa entender, como mostrado no fluxograma da Figura 18.

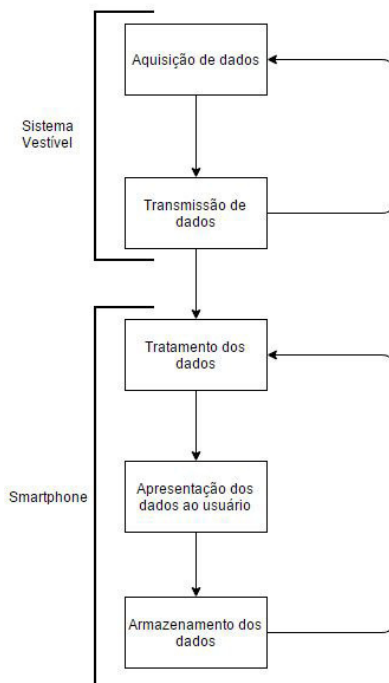


Figura 18 – Fluxograma de funcionamento do sistema

Fonte: Elaborada pelo autor

6.1.1 Decisões de projeto

A partir do fluxograma da Figura 18 foi modelado um sistema genérico constituído por 4 módulos, sendo eles:

- Aquisição de dados;
- Tratamento de dados lidos;
- Transmissão de dados;
- Apresentação e armazenamento de dados.

Dentro de cada módulo do sistema, foram considerados alguns componentes a serem utilizados. Para a aquisição de dados do posicionamento da coluna vertebral, foram considerados os sensores *Strain Gauge* e Acelerômetro, que de acordo com (MAYAGOITIA; NENE; VELTINK, 2002) é um opção barata e com alta taxa de precisão.

Foi utilizado o sensor MPU-6050, mostrado na Figura 19, que utiliza comunicação I²C (mostrada na seção 2.5.2.2), para a aquisição de ângulos de flexão da coluna vertebral. O acelerômetro fornece dados das componentes X, Y e Z da aceleração em um plano cartesiano como mostrado na Figura 20, a unidade dos componentes são medidas em múltiplos do valor da aceleração da gravidade.

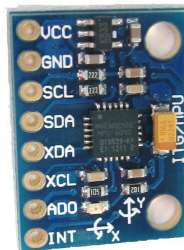


Figura 19 – Sensor MPU-6050

A aceleração utilizada como base para o cálculo dos ângulos é a da própria gravidade, que possui componente Z igual a 1 e componentes X e Y igual a 0 quando o sensor está em paralelo com a terra. A partir desta observação, pode-se formular uma equação que descreva os ângulos desejados a partir das componentes, como mostrado por (PEDLEY, 2013).

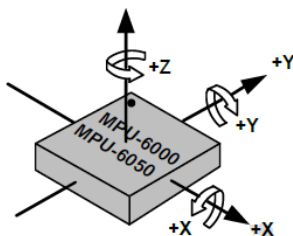


Figura 20 – Componentes da aceleração medida pelo acelerômetro

Fonte: Datasheet MPU-6050

Foram utilizados três sensores MPU-6050 ao longo da coluna vertebral, esta decisão foi tomada com base no conhecimento de doutores em fisioterapia que indicaram que apenas um sensor já seria o suficiente para adquirir os dados necessários, porém, com três sensores conseguiríamos dados da trajetória da coluna e assim, ter uma base de dados mais completa para estudos posteriores.

Para a transmissão sem fio de dados dos sensores para o *smartphone* foram considerados os seguintes protocolos de comunicação:

- IEEE 802.11
- IEEE 802.15.1
- IEEE 802.15.4

Dentre esses, os protocolos IEEE 802.11 e IEEE 802.15.1 possuem hardware compatível em *smartphones*. Já dentre estes, o protocolo IEEE 802.11 foi criado para redes locais e o protocolo IEEE 802.15.1 (Bluetooth) para redes pessoais (redes de curto alcance).

O segundo se encaixando perfeitamente no sistema modelado. Foi escolhido o módulo Bluetooth HC-05, mostrado na Figura 21, que pode assumir o papel, tanto de mestre, quanto de escravo, explicados na Seção 3.3.1, a comunicação entre o microcontrolador e o módulo HC-05 é feita serialmente.

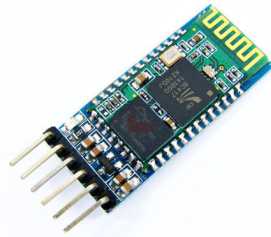


Figura 21 – Módulo Bluetooth HC-05

O microcontrolador PIC18f258, mostrado na Figura 22, foi escolhido para o módulo de tratamento de dados por possuir tensão de operação de 2V a 5.5V, que é compatível com o sensor MPU-6050 (3.3V) e com o módulo bluetooth HC-05 (3.3V), facilidades para a implementação da comunicação I²C e Serial, utilizadas pelos periféricos, baixo custo e boa manutenibilidade.

A Microchip disponibiliza gratuitamente um ambiente de desenvolvimento (IDE), o MPLAB-X que foi utilizado para a programação assim como para carregar o código para o microcontrolador.



Figura 22 – PIC18F258

Foi decidido que os dados seriam apresentados e salvos em *smartphones*, porém, como discutido na Seção 4.2, cada sistema operacional possui uma linguagem de programação diferente. Com base na Figura 12, optou-se por utilizar o sistema Android por ser o mais popular entre os sistemas operacionais móveis.

Android possui uma IDE própria chamada Android Studio, na qual foi feita o software de armazenamento e apresentação de dados.

6.2 CRIAÇÃO DO PROTÓTIPO

A partir das decisões de componentes tomadas, foi criado um novo fluxograma com maior nível de especificações sobre o sistema proposto.

No esquemático da Figura 23 pode-se ver que o sistema como um todo, funciona em dois sistemas separados, que chamaremos de sistema vestível e aplicativo de monitoramento, respectivamente, explicados a seguir:

- Os dados do MPU-6050 são enviados para o PIC18F258 por meio de comunicação I²C, o PIC18F258 realiza a conversão dos dados recebidos para ângulos e envia por comunicação serial para o módulo bluetooth HC-05.
- O *smartphone* recebe os ângulos enviados pelo módulo HC-05, une os dados de todos os sensores a fim de criar uma representação gráfica em duas vistas (frontal e lateral) do posicionamento da coluna e caso especificado pelo usuário, atribuir limites aos valores angulares que seriam considerados saudáveis.

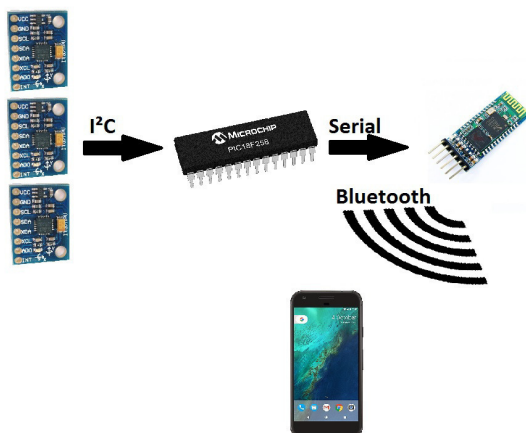


Figura 23 – Esquemático de funcionamento do sistema

Fonte: Elaborada pelo autor

Para a implementação do sistema descrito acima, foi adotado um modelo de desenvolvimento incremental, no qual cada módulo descrito na Seção 6.1.1 foi planejado, modelado, codificado e testado separadamente, quando um incremento é finalizado, a parte do sistema que foi desenvolvida é dada como finalizada para ao fim da criação de todas as partes funcionais ser feita a sua integração.

Este modelo foi escolhido por proporcionar maior facilidade em testes e correção de erros, pois são realizados em pequenos módulos do sistema e quaisquer alterações necessárias não influenciam nas demais partes do sistema.

Nesta seção será abordado o desenvolvimento tanto do sistema vestível quanto do aplicativo de monitoramento.

6.2.1 Sistema vestível

O sistema vestível é composto por software e hardware, explicados nas subseções abaixo.

6.2.1.1 Software

O software do sistema vestível, constituído por três MPU-6050, um PIC18F258 e um módulo HC-05, foi planejado inicialmente para ser desenvolvido em 3 incrementos.

No primeiro incremento, foi implementada e testada a comunicação I²C entre o processador e os três sensores. Com o primeiro módulo do sistema completamente finalizado e testado, foi iniciado o segundo incremento, no qual foi implementada a comunicação serial entre o processador e o módulo bluetooth. Como o módulo bluetooth foi utilizado no modo mestre, a responsabilidade de buscar dispositivos para a conexão fica para o módulo em modo escravo, neste caso, o *smartphone*.

No terceiro incremento, foram desenvolvidos os cálculos necessários para a transformação dos dados dos sensores, que são enviados ao processador em forma vetorial, para ângulos. Na Figura 20 é possível observar sinais de rotação sobre os eixos X, Y e Z.

Rotações sobre o eixo Y são denominadas de *roll*, rotações sobre o eixo X de *pitch* e rotações sobre o eixo Z de *yaw*. Para o sistema proposto só foram necessários os ângulos de *roll* (ϕ) e *pitch* (Θ), que de acordo com (PEDLEY, 2013) podem ser obtidos a partir da Equação

6.1 e Equação 6.2, respectivamente, tendo G como o vetor enviado pelo sensor e G_x, G_y, G_z suas componentes.

$$\tan \phi = \frac{G_y}{\sqrt{G_x^2 + G_z^2}} \quad (6.1)$$

$$\tan \Theta = \frac{-G_x}{G_z} \quad (6.2)$$

O módulo anterior foi o último a ser planejado, porém em seu período de testes notou-se que os dados recebidos tinham ruídos e que precisavam ser tratados. Foi feito então, mais um incremento e criado um filtro digital, implementado em software.

O filtro adotado foi o filtro média móvel, que, como demonstrado por (AZAMI; MOHAMMADI; BOZORGTABAR, 2012), pode ser implementado a partir da Equação 6.3, onde $x(n)$ é o valor lido atualmente e $x(n - i)$ dados lidos anteriormente, fazendo assim, uma média móvel dos dados lidos e suavizando qualquer tipo de ruído.

$$x(n) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} x(n - i) \quad (6.3)$$

Incrementando o valor de n na Equação 6.3 é obtido um grau de suavização maior.

6.2.1.2 Hardware

O hardware, como explicado na Seção 6.1.1, possui todos os componentes com tensão de alimentação compatível. Foi desenvolvida uma placa, mostrada na Figura 24 contendo os componentes para ser aco-plada a uma camisa especialmente desenvolvida pela mestrandia Ana Cristina Ferreira Geraldo para a aplicação deste sistema.

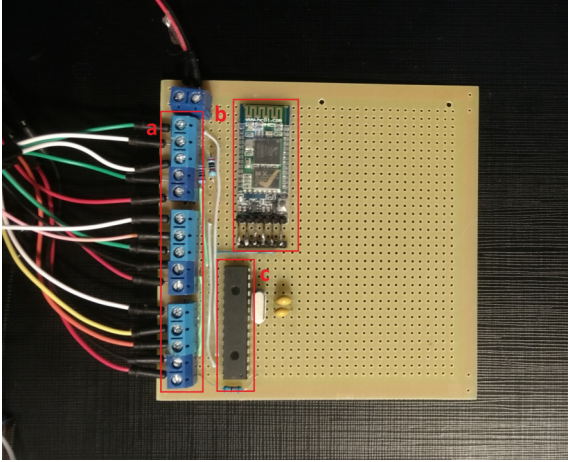


Figura 24 – Placa do sistema desenvolvido. a)conectores para os sensores MPU-6050 b)HC-05 c) PIC18F258

Fonte: Elaborada pelo autor

6.2.2 Aplicativo de monitoramento

O desenvolvimento do aplicativo de monitoramento foi realizado, também, no modelo incremental, sendo cada incremento uma *Activity* do aplicativo. De acordo com (ANDROID, 2017a) uma *Activity* é “um componente de aplicativo que fornece uma tela com a qual os usuários podem interagir para fazer algo”. Uma *Activity* possui um ciclo de vida mostrado na Figura 25, na qual os métodos ilustrados são modificáveis para a execução de métodos definidos pelo usuário em qualquer fase deste ciclo.

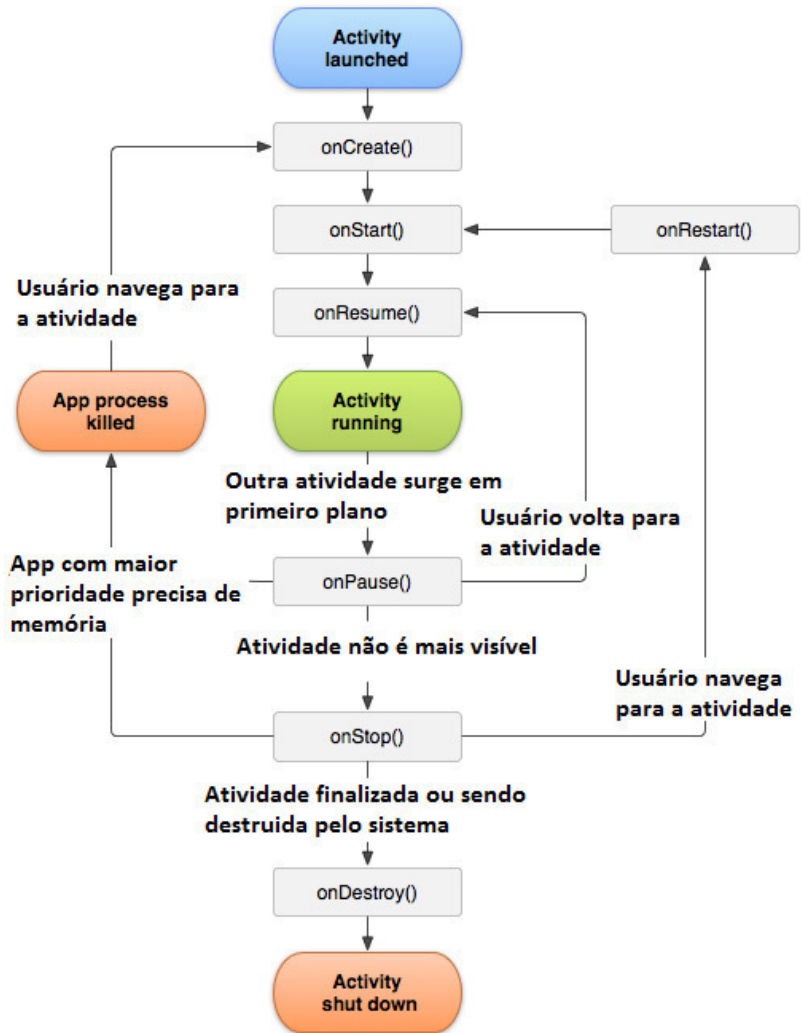


Figura 25 – Ciclo de vida de uma *Activity*

Fonte: Adaptado de (ANDROID, 2017a)

O aplicativo de monitoramento possui três *Activities*: *Activity* conexão, *Activity* desenho, um caso especial de *Activity* chamado *PreferenceActivity* e um *Service* conexão.

6.2.2.1 *Activity* conexão

No primeiro incremento foi desenvolvida a *Activity* responsável pela conexão bluetooth, que necessita da permissão do usuário (dono do *smartphone*) para ter acesso aos recursos necessários. Na tela de conexão bluetooth o *smartphone* busca por dispositivos bluetooth como mestre para se conectar e os mostra em uma *ListView*, como exemplificado na Figura 26.

Para buscar dispositivos é usada a função `startDiscovery()`, que é um processo assíncrono e retorna os dispositivos encontrado a partir de um *Intent*. Um *Intent* é uma intenção de executar alguma ação, um objeto de mensagem que pode ser usado para pedir uma ação de outro componente do programa, ou seja, o processor `startDiscovery()` roda no plano de fundo e quando encontra um dispositivo, pede para a *Activity* que está sendo executada realizar alguma ação. Já na *Activity*, é registrado um objeto *IntentFilter* para filtrar somente os *Intents* desejados.

Após a conexão com o dispositivo bluetooth, é registrado um *Intent* para mudar para a *Activity* desenho.



Figura 26 – Tela da *Activity* conexão mostrando o módulo bluetooth do sistema vestível disponível para conexão.

Fonte: Elaborada pelo autor

6.2.2.2 *Activity* desenho

No segundo incremento foi desenvolvida a *Activity* que cria a apresentação dos dados de uma forma fácil de maneira com que o usuário entenda com clareza os dados dos sensores, como mostrado na Figura 27.

Os dados são recebidos pelo *Service* conexão (Explicado na Seção 6.2.2.3) e enviados para a *Activity* desenho por uma interface de *callback*, na qual o *Service* conexão conhece algumas funções da *Activity* desenho e as chama de outra parte do programa.

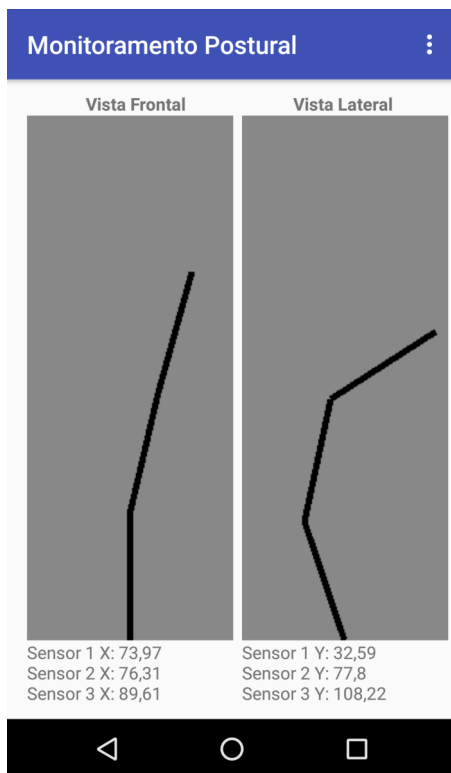


Figura 27 – Tela da *Activity* desenho. Vista frontal, como se estivesse olhando a pessoa pela frente e a vista lateral como se estivesse olhando a pessoa pelo seu lado direito

Fonte: Elaborada pelo autor

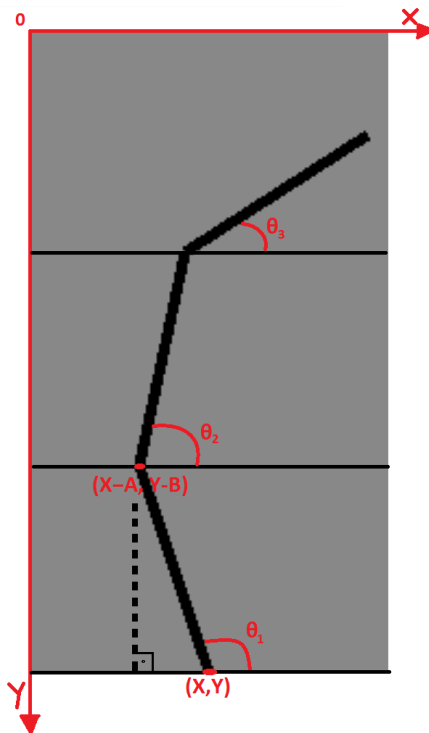


Figura 28 – Triângulo retângulo usado como base para a Equação 6.4 e 6.5

Fonte: Elaborada pelo autor

Com os dados dos sensores MPU-6050, foram criados os desenhos, mostrados na Figura 27, pelas relações trigonométricas do triângulo retângulo formado no desenho, como explicado na Figura 28, onde A é equivalente ao tamanho do cateto adjacente e B é equivalente ao tamanho do cateto oposto ao ângulo. O valor de A é calculado pela Equação 6.4 e o valor de B pela Equação 6.5, nas quais o valor de H foi de 100, para que o tamanho da linha do desenho tivesse um comprimento de 100 pixels.

$$A = H * \cos(180 - \theta) \quad (6.4)$$

$$B = H * \sin(180 - \theta) \quad (6.5)$$

O valor de A é somado no valor inicial de X e o valor de B é diminuído de Y para a obtenção das coordenadas finais da linha. A linha subsequente utiliza as coordenadas finais da linha anterior como coordenadas iniciais, criando assim, um modelo em duas dimensões de como a coluna está naquele momento.

Nesta *Activity* é também feita uma análise, caso o recurso seja acionado pelo usuário na *PreferenceActivity* (Explicada na Seção 6.2.2.4) e os dados podem ser salvos em um arquivo na extensão CSV (*Comma Separated Values*) em todos os momentos, ou apenas quando os ângulos da coluna ultrapassam um certo limite.

6.2.2.3 *Service* conexão

No terceiro incremento foi desenvolvido um *Service*, chamado conexão. Neste, é armazenada a variável que guarda a conexão bluetooth para que não seja perdida na mudança de *Activities* e quando o aplicativo é minimizado.

De acordo com (ANDROID, 2017c) um *Service* é “um componente do aplicativo que pode realizar operações longas e não fornece uma interface do usuário.”

Outro componente do aplicativo pode iniciá-lo e ele será executado em segundo plano, mesmo com o aplicativo minimizado. O que é necessário para este aplicativo, pois não é viável que só funcione com o dispositivo desbloqueado e com o aplicativo aberto.

O *Service* conexão, além de manter a conexão bluetooth ativa, recebe constantemente as mensagens enviadas pelo sistema vestível e as envia para a *Activity* desenho através de uma interface de *callback* para que o *Service* conheça as funções de atualização de dados e possa transmiti-los. Como a *Activity* desenho interage diretamente e por um longo período com o *Service* conexão, este é vinculado a ela por meio do método `bindService()`.

6.2.2.4 *PreferenceActivity*

No quarto e último incremento, foi criada a *PreferenceActivity*. De acordo com (ANDROID, 2017d) é aconselhado utilizar uma *PreferenceActivity* para configurações de aplicativo, para o usuário ter uma experiência de configuração semelhante entre aplicativo e até mesmo com o próprio sistema operacional, como mostrado na Figura 29.

A *PreferenceActivity* é composta por um *PreferenceFragment*. Um *PreferenceFragment* é uma hierarquia de preferências mostrada como lista. Estas preferências são armazenadas e persistem mesmo após a reinicialização do aplicativo.

Um *PreferenceFragment* é caso específico de *Fragment*, que de acordo com (ANDROID, 2017b) é “um *Fragment* representa o comportamento ou uma parte da interface do usuário em um *Activity*. É possível combinar vários fragmentos em uma única atividade para compilar uma IU de vários painéis e reutilizar um fragmento em diversas atividades.”

Como é possível visualizar na Figura 29, existe uma hierarquia entre as preferências, na qual Intervalo de tempo depende da ativação da preferência Salvar dados e as preferências de limites frontais e laterais dependem da preferência Limites angulares.

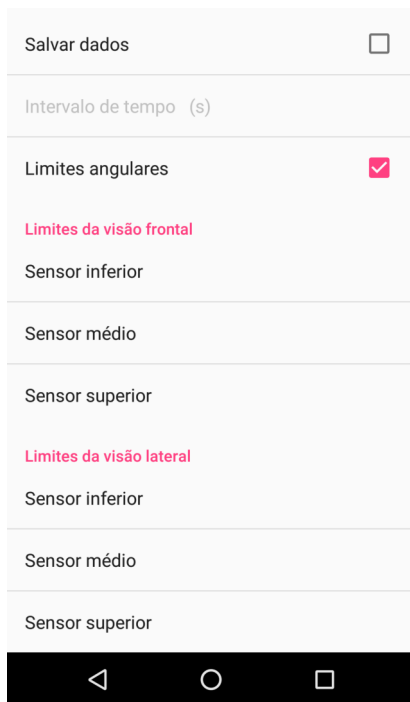


Figura 29 – Tela da *PreferenceActivity*

Fonte: Elaborada pelo autor

A opção booleana Salvar dados, quando ativada, salva os da-

dos obtidos pelos sensores em um arquivo CSV. A opção Intervalo de tempo é uma variável que armazena o intervalo de tempo em que os dados devem ser salvos, seu valor padrão é 1 (salva de um em um segundo), porém se a opção booleana Limites angulares estiver selecionada, os dados são salvos somente quando os limites angulares forem ultrapassados (ainda no intervalo determinado pela opção Intervalo de tempo).

As variáveis de limites são checadas toda vez que o desenho das vistas é atualizado, por exemplo, se atribuirmos o valor 10° ao limite lateral superior, antes que a *Activity* desenhe o modelo gráfico atualizado, é verificado se o ângulo do sensor superior na vista lateral está entre $80^\circ (90^\circ - 10^\circ)$ e $100^\circ (90^\circ + 10^\circ)$, caso não esteja, as linhas pretas do desenho ficam vermelhas, para indicar que os limites foram ultrapassados e os dados começam a ser salvos no arquivo. O uso de limites angulares foi ilustrado na Figura 30, na qual as linhas ficaram vermelhas, pois o ângulo do sensor de cima (representado pelas linhas vermelhas) ultrapassou um dos limites angulares (representados pelas linhas pontilhadas).

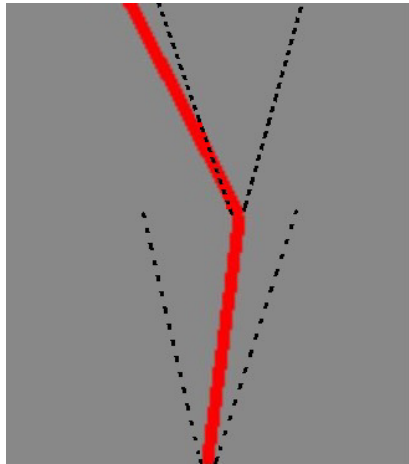


Figura 30 – Exemplo do uso das variáveis limites, sendo as linhas vermelhas a representação dos dados dos sensores e as linhas pontilhadas os limites angulares

Fonte: Elaborada pelo autor

O arquivo em formato CSV criado pelo aplicativo salva um *ti-*

mestamp contendo ano, mês, dia, hora, minutos e segundos da aquisição dos dados juntamente com os dados dos sensores, como mostrado na Figura 31. Estes dados podem ser utilizados posteriormente para verificar, por exemplo, como estava a postura do usuário no período do dia em que ele estava com dores em certa parte da coluna, possibilitando que fisioterapeutas utilizem este aplicativo como uma solução barata para o monitoramento de seus pacientes, ou até mesmo para o treinamento de algoritmos de inteligência artificial que determinem automaticamente os limites angulares para cada pessoa, as possibilidades são muitas.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Time Stamp	Frontal Inferior	Frontal Medio	Frontal Superior	Lateral Inferior	Lateral Medio	Lateral Superior
2	2017-06-14 14_08_29	81.082272	116.822752	110.343264	100.357424	87.355472	112.23242
3	2017-06-14 14_08_31	81.635496	116.765632	110.623932	100.4082	87.652336	112.664064
4	2017-06-14 14_08_33	81.617432	117.41016	110.538576	100.697264	88.746096	113.503904
5	2017-06-14 14_08_35	81.624024	116.600096	109.814944	98.595696	86.61328	115.746096
6	2017-06-14 14_08_37	80.959717	117.242188	110.798336	98.677728	88.66016	115.396488
7	2017-06-14 14_08_39	81.981446	118.254884	112.140624	97.55664	86.67968	114.601568
8	2017-06-14 14_08_41	81.512696	118.300784	111.693336	98.72656	87.878912	115.392576
9	2017-06-14 14_08_43	82.161136	117.83448	111.349608	99.320312	88.662112	115.437504
10	2017-06-14 14_08_45	81.725096	117.671872	111.234376	98.148436	87.51172	114.279296
11	2017-06-14 14_08_47	81.736816	117.712896	111.300784	97.962896	88.222656	115.41016
12	2017-06-14 14_08_49	81.326912	116.774896	110.628416	98.859376	87.857424	115.480472
13	2017-06-14 14_08_51	81.603272	117.160156	111.643552	99.544928	89.218752	116.218752
14	2017-06-14 14_08_53	81.884522	118.131348	111.75928	100.083984	88.052734	115.322264
15	2017-06-14 14_08_55	82.201056	117.87256	111.226076	99.224608	89.095704	115.808592
16	2017-06-14 14_08_57	81.926758	117.90528	111.771488	99.429688	88.935552	116.185548
17	2017-06-14 14_08_59	81.953613	118.204588	111.685056	100.0625	89.779296	116.578128
18	2017-06-14 14_09_01	81.915772	117.983392	111.15674	99.62696	89.6836	116.718752
19	2017-06-14 14_09_03	81.925292	117.92968	110.856448	99.376952	89.095704	116.113282
20	2017-06-14 14_09_05	81.663328	117.822752	111.025879	99.60352	88.66016	116.070312
21	2017-06-14 14_09_07	82.024544	118.022949	111.414064	98.267576	88.763904	115.158204
22	2017-06-14 14_09_09	81.678464	117.87256	111.438968	99.126954	88.607424	115.777344
23	2017-06-14 14_09_11	81.630368	117.548336	111.440432	99.423832	88.216796	115.595696
24	2017-06-14 14_09_13	81.538576	117.489256	110.896976	99.492184	88.279296	116.798832
25	2017-06-14 14_09_15	81.744384	117.667488	111.2876	99.394528	87.277344	115.617184
26	2017-06-14 14_09_17	81.300544	117.03418	111.0625	100.86328	88.421872	115.662112
27	2017-06-14 14_09_19	81.639408	117.833504	111.268552	99.982416	86.628912	115.70312
28	2017-06-14 14_09_21	81.072512	116.648432	111.246584	99.91992	87.884528	115.445312
29	2017-06-14 14_09_23	81.836916	117.80176	111.449216	100.312504	87.2832	115.33984
30	2017-06-14 14_09_25	81.68628	117.624512	111.105958	100.718752	87.308592	114.458984
31	2017-06-14 14_09_27	81.938477	117.256836	110.903328	100.080078	86.681648	113.70312
32	2017-06-14 14_09_29	81.360832	117.787104	111.442872	102.865232	90.208984	115.738288
33	2017-06-14 14_09_31	81.170416	117.05127	111.330568	99.166016	86.111328	112.857424
34	2017-06-14 14_09_33	81.872802	117.853024	111.229004	100.29492	85.978512	112.064453
35	2017-06-14 14_09_35	81.802492	116.916992	111.345216	100.478512	86.742192	112.449216
36	2017-06-14 14_09_37	81.508792	117.043945	110.851568	100.158204	86.529296	112.61328

Figura 31 – Planilha criada pelo aplicativo de monitoramento

Fonte: Elaborada pelo autor

6.2.3 Integração do sistema vestível do aplicativo

Após o desenvolvimento de todos os incrementos de ambos sistemas (sistema vestível e aplicativo de monitoramento), foi realizado um teste para validar o seu funcionamento. Um modelo simples de coluna com apenas três partes móveis foi montado para a validação e os resultados foram positivos. Na Figura 32 é mostrado o teste da vista frontal, que mostra a mesma angulação do protótipo no aplicativo de monitoramento.

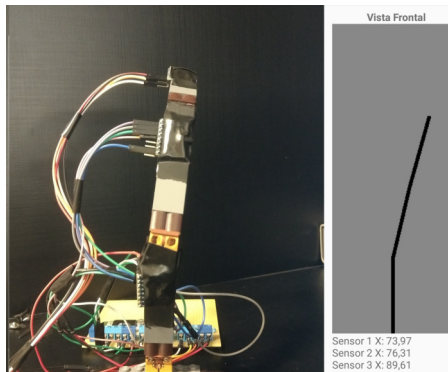


Figura 32 – Testes com o modelo de coluna na vista frontal

Fonte: Elaborada pelo autor

Na Figura 33 é possível ver o mesmo para a vista lateral, o aplicativo de monitoramento reflete exatamente a mesma angulação que o protótipo.

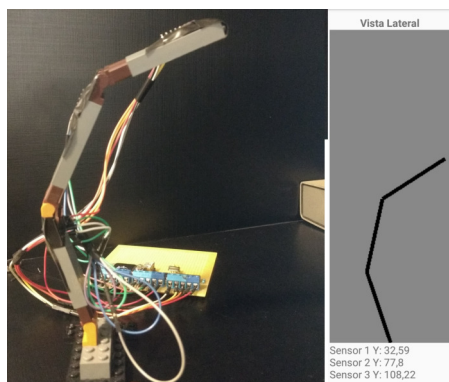


Figura 33 – Testes com o modelo de coluna na vista lateral

Fonte: Elaborada pelo autor

6.3 TESTES NO PROTÓTIPO VESTÍVEL

Após a validação do sistema de monitoramento em protótipo, ele foi instalado em uma roupa especialmente criada para este fim, mostrada na Figura 34, pela mestranda Ana Cristina Ferreira Geraldo para que o sistema se torne realmente vestível. O sistema embarcado foi colocado em um bolso e os sensores na linha da coluna, estes podem ser realocados para qualquer posição na coluna. Esta realocação dos sensores na coluna, permite que este sistema vestível seja genérico o suficiente para atender o maior número de aplicações futuras.



Figura 34 – Componentes instalados na roupa especialmente desenvolvida para o sistema vestível

Fonte: Elaborada pelo autor

Para a criação da roupa, foram levados alguns pontos em consideração, sendo eles:

- Não pode haver folga na roupa, pois isso pode fazer com que os sensores fiquem desalinhados da coluna e suas medições percam a precisão.
- Apesar de não poder haver folga, a roupa não deve impossibilitar, ou dificultar nenhum tipo de movimento, pois isto pode interferir nos resultados.
- Muitos fios foram utilizados e como a roupa deve permitir a realocação dos sensores para cada tipo de aplicação, foram criadas vias para a passagem dos fios com aberturas nas costuras para facilitar o processo.

A integração da roupa e do sistema embarcado resultou no sistema vestível mostrado na Figura 35 em vistas lateral e traseira.



Figura 35 – Sistema de monitoramento vestível a esquerda na vista lateral e a direita na vista traseira

Fonte: Elaborada pelo autor

Com a roupa criada e o sistema vestível totalmente integrado, foram realizados novos testes para verificar se o que foi validado na Seção 6.2.3 não havia, por algum motivo, sofrido alterações inesperadas.

O primeiro teste consistiu em uma inclinação do tronco para a direita como mostrado na Figura 36, para um teste com o foco na vista frontal. Neste teste, as funcionalidades do aplicativo seguiram o que deveriam fazer.



Figura 36 – Primeiro teste realizado no sistema vestível. Na Esquerda, o sistema vestível sendo usado e na direita o resultado mostrado pelo aplicativo.

Fonte: Elaborada pelo autor

O segundo teste consistiu em uma inclinação pra frente como mostrado na Figura 37, para um teste com foco na vista lateral. Neste teste, as funcionalidades seguiram o esperado, porém, como pode ser visto, notou-se que quando a postura fica muito fora dos padrões, ou quando o usuário estiver sentado em um acento reclinável, ou deitado, a representação gráfica ficará para fora da área de desenhos, tornando-a inutilizável.

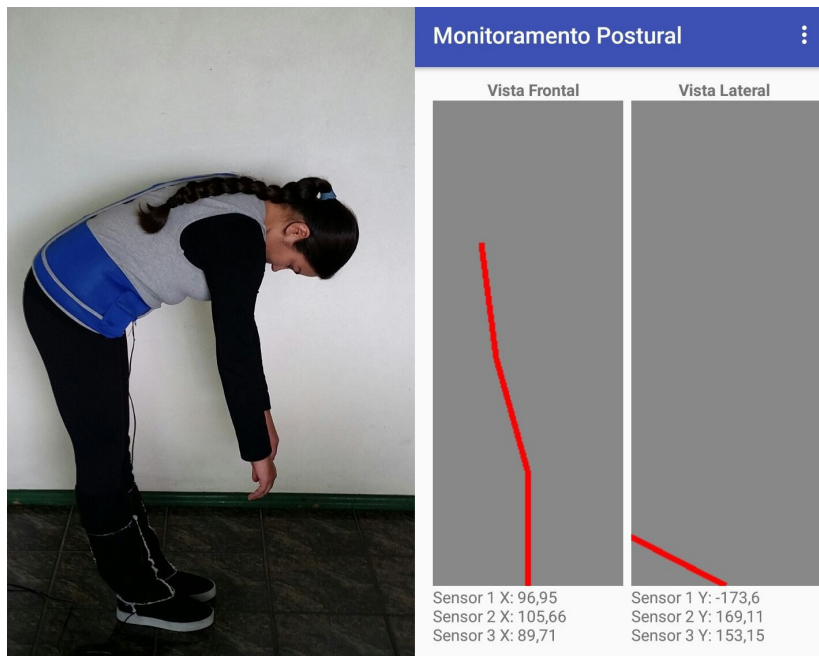


Figura 37 – Segundo teste realizado no sistema vestível. Na Esquerda, o sistema vestível sendo usado e na direita o resultado mostrado pelo aplicativo.

Fonte: Elaborada pelo autor

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como mostrado na fundamentação teórica, o número de pessoas com problemas na coluna estão crescendo e a tecnologia contribui com isto. Em um esforço de reverter este quadro, foi pensado em um sistema para alertar o usuário quando ele está com uma postura prejudicial à coluna, porém tal sistema envolveria não somente a criação do sistema de monitoramento vestível, mas também de pesquisas, testes em pessoas e maior aprofundamento nos problemas da coluna vertebral com uma visão mais biológica sobre o assunto. Foi então dividido em duas partes iniciais, a criação do sistema de monitoramento e pesquisas relacionadas à sua aplicabilidade desenvolvidas pela mestrande Ana Cristina Ferreira Geraldo.

O microcontrolador PIC18F258 demonstrou boa capacidade de processamento pois controla ao mesmo tempo 3 sensores por comunicação I²C ao mesmo tempo que envia dados serialmente para o módulo bluetooth, tudo isso em tempo real. Foi inclusive necessária a adoção de um filtro de média móvel para que os dados fossem suavizados já que os dados eram recebidos tão rapidamente que ruídos apareciam com frequência. Um ponto crítico não abordado sobre o sistema embarcado foi a otimização do software embarcado, que tem influência sobre o tempo de autonomia da bateria.

A adoção da comunicação bluetooth atendeu todas as necessidades. Falhas, caso tenham ocorrido, foram imperceptíveis. A comunicação funciona a uma distância máxima de dez metros, o que é suficiente para este sistema, já que usualmente os *smartphones* ficam próximos dos usuários e o sistema de monitoramento vestível acompanha o usuário em 100% do tempo de utilização.

A aplicação de *smartphone* teve como característica principal a apresentação de maneira intuitiva dos dados para o usuário, o que foi conquistado através da representação da postura por meio de desenhos da visão frontal e lateral (olhando a partir da direita). Outro ponto importante da aplicação móvel foram as preferências ajustáveis que permitem ao usuário determinar limites dos quais as angulações das vértebras não devem exceder, isto permite que sejam ajustados de acordo com a região da coluna em que os sensores forem posicionados. O software também permite o armazenamento de dado em formato CSV que é compatível com planilhas, isso possibilita que os dados sejam facilmente manipulados e analisados com calma após a realização de testes.

Apesar de ser um fator muito importante a escolha da bateria não entrou no escopo de estudo deste trabalho, porém, foi considerado que o sistema será utilizado em horários comerciais, ou seja, uma média de oito horas por dia e que caso a bateria fosse recarregável, seria recarregada no restante de tempo, o que é um cenário plausível.

Com os testes realizados foi possível validar a funcionalidade esperada do sistema de monitoramento vestível que era a de criar uma forma fácil e barata de mostrar ao usuário a posição atual de sua coluna vertebral para uma tomada de decisão mais precisa. Apesar de atender todos os requisitos previamente definidos, ao longo de sua criação, foram descobertas mais necessidades que o sistema deve atender, como por exemplo o monitoramento de posturas enquanto o usuário está deitado, porém não caberia a este trabalho desenvolvê-los.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho é somente o ponto de partida de uma linha de pesquisas que estão se inicializando com a finalização deste, mas como trabalhos futuros para o sistema de monitoramento vestível em si, são indicadas algumas melhorias como:

- Otimização do software e do hardware do sistema vestível em relação ao seu consumo de bateria, visto que como o sistema realiza monitoramentos prolongados, autonomia de bateria é um ponto chave.
- Desenvolvimento de um sistema de inteligência artificial para a detecção de posturas prejudiciais à coluna.
- Melhorias na interface gráfica do aplicativo, deixando-o mais atrativo para os usuários.
- Compatibilizar o aplicativo com outros sistemas operacionais móveis.
- Pesquisas sobre a aplicabilidade do sistema em estudos científicos.

REFERÊNCIAS

ADAMS, J. T. An introduction to ieeec std 802.15. 4. In: IEEE. **2006 IEEE Aerospace Conference**. [S.l.], 2006. p. 8–pp.

ANDROID. **Activity Android Developers Reference**. 2017.

Disponível em <https://developer.android.com/guide/components/activities.html>,

acessado em 08/05/2017.

ANDROID. **Fragments Android Developers Reference**. 2017.

Disponível em <https://developer.android.com/guide/components/fragments.html>,

acessado em 08/05/2017.

ANDROID. **Service Android Developers Reference**. 2017.

Disponível em <https://developer.android.com/guide/components/services.html>,

acessado em 08/05/2017.

ANDROID. **Settings Android Developers Reference**. 2017.

Disponível em <https://developer.android.com/guide/topics/ui/settings.html>,

acessado em 08/05/2017.

ANDROID, G. **The Android Source Code**. 2016. Disponível em <http://source.android.com/index.html>, acessado em 07/12/2016.

AZAMI, H.; MOHAMMADI, K.; BOZORGTABAR, B. An improved signal segmentation using moving average and savitzky-golay filter. Scientific Research Publishing, 2012.

BLUETOOTH. **Bluetooth Core Specification**. 2016. Disponível

em <https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification>,

acessado em 1/12/2016.

BLUETOOTH. **Technical Considerations**. 2016. Disponível em

<https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification/technical-considerations>,

acessado em 1/12/2016.

BLUETOOTH. **Why build with Bluetooth**. 2016. Disponível em

<https://www.bluetooth.com/what-is-bluetooth-technology/why-build-with-bluetooth>,

acessado em 30/11/2016.

CALDWELL, D.; RENNELS, D. Minimalist recovery techniques for single event effects in spaceborne microcontrollers. In: IEEE.

Dependable Computing for Critical Applications 7, 1999.

[S.l.], 1999. p. 47–65.

CATSOULIS, J. **Designing embedded hardware.** [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2005.

CHIAUZZI, E.; RODARTE, C.; DASMAHAPATRA, P.

Patient-centered activity monitoring in the self-management of chronic health conditions. **BMC Medicine**, v. 13, n. 1, p. 77, 2015.

ISSN 1741-7015. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1186/s12916-015-0319-2>>.

DM, G.; AE, B.; EH, L. Low back pain. **JAMA**, v. 309, n. 16,

p. 1738, 2013. Disponível em: <+

<http://dx.doi.org/10.1001/jama.2013.3046>>.

DONATI, L. P. Computadores vestíveis: convivência de diferentes especialidades. **Conexão-Comunicação e Cultura**, v. 3, n. 06, 2004.

EMERSON, M. A survey of embedded systems tools. **SIGBED**

Rev., ACM, New York, NY, USA, v. 1, n. 3, p. 3–5, out. 2004. ISSN

1551-3688. Disponível em:

<<http://doi.acm.org/10.1145/1279706.1279709>>.

GAST, M. **802.11 wireless networks: the definitive guide.** [S.l.]:

"O'Reilly Media, Inc.", 2005.

GIORGINO PAOLO TORMENE, F. L. D. D. R. T.; QUAGLI, S.

Sensor evaluation for wearable strain gauges in neurological rehabilitation. **IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING**, 2009.

GOLMIE, N.; CHEVROLLIER, N.; REBALA, O. Bluetooth and

wlan coexistence: challenges and solutions. **IEEE Wireless**

Communications, IEEE, v. 10, n. 6, p. 22–29, 2003.

GOLMIE, N.; REBALA, O.; CHEVROLLIER, N. Bluetooth adaptive frequency hopping and scheduling. In: IEEE. **Military**

Communications Conference, 2003. MILCOM'03. 2003

IEEE. [S.l.], 2003. v. 2, p. 1138–1142.

IDC. **Smartphone OS Market Share, 2016 Q2**. 2016. Disponível em <https://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>,

acessado em 07/12/2016.

IEEE. **IEEE 802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks**. 2016. Disponível em

<http://www.ieee802.org/15/about.html>, acessado em 1/12/2016.

ITU. **ITU's portal for key ICT data and statistics**. 2016.

Disponível em <http://www.itu.int/net4/itu-d/icteye/>, acessado em 08/11/2016.

KOBSAR, D. et al. Reliability of gait analysis using wearable sensors in patients with knee osteoarthritis. **Journal of Biomechanics**, v. 49, n. 16, p. 3977 – 3982, 2016. ISSN 0021-9290. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002192901631226X>>.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Computer networking: a top-down approach**. [S.l.]: Addison Wesley, 2007.

LI, H. et al. Examining individuals' adoption of healthcare wearable devices: An empirical study from privacy calculus perspective.

International Journal of Medi-

cal Informatics, v. 88, p. 8 – 17, 2016. ISSN 1386-5056. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386505615300770>>.

LIU, C. et al. Status and trends of mobile-health applications for ios devices: A developer's perspective. **Journal of Systems and Software**, v. 84, n. 11, p. 2022 – 2033, 2011. ISSN 0164-1212. Mobile Applications: Status and Trends. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0164121211001610>>.

LORUSSI, F. et al. Wearable, redundant fabric-based sensor arrays for reconstruction of body segment posture. **IEEE sensors Journal**, IEEE, v. 4, n. 6, p. 807–818, 2004.

MALINOWSKI, A.; YU, H. Comparison of embedded system design for industrial applications. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, IEEE, v. 7, n. 2, p. 244–254, 2011.

MASOOD, F. RISC and CISC. **CoRR**, abs/1101.5364, 2011.

Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1101.5364>>.

MAURER, S. S. A survey of embedded systems programming languages. **IEEE Potentials**, IEEE, v. 21, n. 2, p. 30–34, 2002.

MAYAGOITIA, R. E.; NENE, A. V.; VELTINK, P. H. Accelerometer and rate gyroscope measurement of kinematics: an inexpensive alternative to optical motion analysis systems. **Journal of biomechanics**, Elsevier, v. 35, n. 4, p. 537–542, 2002.

MCCANN, J.; BRYSON, D. **Smart clothes and wearable technology**. [S.l.]: Elsevier, 2009.

MCGRATH, D. **Microchip's Atmel Buy Clears Regulatory Hurdles**. 2016. Disponível em http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1329187, acessado em 02/02/2017.

MELANSON, D. **Gaming the system: Edward Thorp and the wearable computer that beat Vegas**. 2013. Disponível em <https://www.engadget.com/2013/09/18/edward-thorp-father-of-wearable-computing/>, acessado em 30/01/2017.

MIRZOEV, T. Low rate wireless personal area networks (LR-WPAN 802.15.4 standard). **CoRR**, abs/1404.2345, 2014. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/1404.2345>>.

MS, P.; DA, A.; KG, V. Wearable devices as facilitators, not drivers, of health behavior change. **JAMA**, v. 313, n. 5, p. 459–460, 2015. Disponível em: <+ <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2014.14781>>.

MUNOS, B. et al. Mobile health: the power of wearables, sensors, and apps to transform clinical trials. **Annals of the New York Academy of Sciences**, Wiley Online Library, v. 1375, n. 1, p. 3–18, 2016.

MURRAY, C. J. Why 8-bit mcus refuse to go away: new peripherals are paving the way for the continued success of the 8-bit microcontroller. **Design News**, 2015.

NASCIMENTO, L. O. P. C. Paulo Roberto Carvalho do. Prevalência da dor lombar no brasil: uma revisão sistemática. **Cad. Saúde Pública**, 2015.

NETMARKETSHARE. **Desktop Operating System Market Share**. 2016. Disponível em <https://www.netmarketshare.com/>

operating-system-market-share.aspx?qprid=10&qpcustomd=0, acessado em 07/12/2016.

PEDLEY, M. Tilt sensing using a three axis accelerometer. **Freescale semiconductor application note**, p. 1–22, 2013.

RAWASSIZADEH, R.; PRICE, B. A.; PETRE, M. Wearables: Has the age of smartwatches finally arrived? **Commun. ACM**, ACM, New York, NY, USA, v. 58, n. 1, p. 45–47, dez. 2014. ISSN 0001-0782. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2629633>>.

RENASAS. **About Renesas**. 2016. Disponível em <http://renesas.com.br>, acessado em 27/10/2016.

RIBEIRO, A.; SILVA, A. R. da. Survey on cross-platforms and languages for mobile apps. In: IEEE. **Quality of Information and Communications Technology (QUATIC), 2012 Eighth International Conference on the**. [S.l.], 2012. p. 255–260.

SARKAR, T. K. et al. **History of wireless**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2006.

SPAIN, R. et al. Body-worn motion sensors detect balance and gait deficits in people with multiple sclerosis who have normal walking speed. **Gait & posture**, Elsevier, v. 35, n. 4, p. 573–578, 2012.

TALBOT, D. Tectonic shifts” in employment. **Technology Review**, Technology Review Inc., v. 115, n. 1, p. 72–74, 2012.

TECHNOLOGY, S. S. Microchip technology and on semiconductor have pitched a \$ 2.3b buyout offer to atmel. **Solid State Technology**, v. 51.11, p. p12, 09 2016. ISSN 0038-111X.

THORP, E. O. The invention of the first wearable computer. In: **Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No.98EX215)**. [S.l.: s.n.], 1998. p. 4–8.

VOLINN, E. The epidemiology of low back pain in the rest of the world: A review of surveys in low-and middle-income countries. **Spine**, LWW, v. 22, n. 15, p. 1747–1754, 1997.

WHITE, E. **Making Embedded Systems: Design patterns for great software**. [S.l.]: ”O’Reilly Media, Inc.”, 2011.

YANG, H. et al. User acceptance of wearable devices: An extended perspective of perceived value. **Telematics and Informatics**, v. 33, n. 2, p. 256 – 269, 2016. ISSN 0736-5853. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736585315001069>>.

YNGVE, A. et al. Effect of monitor placement and of activity setting on the mti accelerometer output. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 35, n. 2, p. 320–326, 2003.