

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

RICARDO LUIZ SPONCHIADO

SISTEMA PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE SINAIS
BIOLÓGICOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2014

RICARDO LUIZ SPONCHIADO

SISTEMA PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE SINAIS BIOLÓGICOS

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Elétrica da Coordenação de Engenharia Elétrica – COELT – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Luiz Bertotti

Co-orientador: Prof. M.Sc. Robison Cris Brito

PATO BRANCO

2014

TERMO DE APROVAÇÃO

O trabalho de diplomação intitulado **SISTEMA PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE SINAIS BIOLÓGICOS** foi considerado **APROVADO** de acordo com a ata da banca examinadora N° **58** de 2014.

Fizeram parte da banca os professores:

Fábio Luiz Bertotti (Orientador)

Robison Cris Brito (Co-orientador)

Fábio Brignol de Moraes

Marcos Junior Marini

DEDICATÓRIA

Aos meu pais, Clovis e Lourdes, e meu irmão Juliano.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Clovis e Lourdes, e meu irmão Juliano, pelo incentivo e apoio nos momentos mais difíceis dessa jornada.

Aos amigos que fiz durante a graduação pelo companheirismo, apoio e experiências compartilhadas.

À UTFPR, por disponibilizar sua infraestrutura e todos os recursos necessários para minha graduação.

Aos professores do Curso de Engenharia Elétrica pelo esforço, dedicação e conhecimento transmitido durante o curso

Ao Grupo de Pesquisa em Engenharia Biomédica e Bioeletromagnetismo (GPEBB).

Com grande importância, agradeço meu professor orientador Dr. Fábio Luiz Bertotti, por estar presente durante grande parte de minha graduação, e pelo conhecimento e lições que não podem ser encontradas em livros.

Ao professor Me. Robison Cris Brito, pela co-orientação e apoio oferecidos no decorrer deste trabalho.

Por fim, agradeço a banca examinadora Fábio Brignol de Moraes e Marcos Junior Marini pelas considerações e esclarecimentos.

EPÍGRAFE

If you want to discover the secrets of the Universe, think in terms of energy, frequency and vibration. (TESLA, Nikola).

Se você quer descobrir os segredos do universo, pense em termos de energia, frequência e vibração. (TESLA, Nikola).

RESUMO

SPONCHIADO, Ricardo Luiz. Sistema para Aquisição e Processamento de Sinais Biológicos. 2014. 70 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

O presente trabalho apresenta as atividades realizadas na busca pelo desenvolvimento do protótipo de um estetoscópio digital utilizando *smartphone*. Inicialmente é apresentado a importância da Engenharia Biomédica nas soluções médicas, e os principais conceitos da auscultação de sons corporais, focando na compreensão dos processos de aquisição de sinais cardíacos, pulmonares e gastrointestinais. Através da abordagem de processamento digital de sinais, é discutido os principais métodos de filtragem digital de sinais, que constituem um dos focos deste trabalho. Também é apresentado a evolução da computação móvel, as atuais tecnologias de seus sistemas operacionais, assim como sua participação de soluções na área médica. Com o entendimento desses conceitos, foi desenvolvido um dispositivo externo e um aplicativo para sistema operacional Android®, capaz de realizar aquisição e filtragem de sinais corporais, visando a implementação de um estetoscópio digital. O processo do desenvolvimento do sistema de aquisição de sinais, bem como os resultados dos testes e simulações realizados também é apresentado, proporcionando uma discussão final sobre a importância dos recursos do *smartphone* na prática médica, possíveis melhorias no processo de filtragem digital, além da efetiva implementação em um estetoscópio digital.

Palavras-chave: Estetoscópio Digital. Smartphone. Android®. Processamento Digitais de Sinais.

ABSTRACT

Sponchiado, Ricardo Luiz. System for Acquisition and Processing of Biological Signals. 2014. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Conhecimento nas Organizações) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

This paper presents the activities carried out in the quest for developing the prototype of a digital stethoscope using smartphone. Initially it is presented the importance of Biomedical Engineering in medical solutions, and key concepts of listening to body sounds, focusing on understanding the processes of acquisition of cardiac, pulmonary and gastrointestinal signs. Through digital signal processing approach is discussed the main methods of digital signal filtering, which are a focus of this work. It also presents the evolution of mobile computing, the current technologies for their operating systems, as well as its share of solutions in the medical field. With an understanding of these concepts, we developed an external device and an app for Android® operating system, capable of acquiring and filtering bodily signs, aimed at the implementation of a digital stethoscope. The process of developing the data acquisition system as well as the results of tests and simulations conducted is also presented, providing a final discussion about the importance of smartphone features in medical practice, potential improvements in digital filtering process, and the effective implemented in a digital stethoscope.

Keywords: Digital Stethoscope. Smartphone. Android®. Digital Signal Processing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Primeiro estetoscópio, fabricado por Laënnec (1816).....	24
Figura 2 – Principais estetoscópios do século XIX: (a) Piorry (1928) e (b) Williams (1951).....	24
Figura 3 – Estetoscópio convencional e seus componentes.....	25
Figura 4 – Receptor sonoro de um estetoscópio convencional: (a) Diafragma e (b) Campânula.....	26
Figura 5 – Sinais: (a) Sinal contínuo e (b) Sinal amostrado.....	29
Figura 6 – Resposta ideal de cada tipo de filtro.....	30
Figura 7 – Resposta de função de aproximação: (a) Butterworth, (b) Chebyshev e (c) Cauer.....	31
Figura 8 - Representação de um filtro digital: (a) Gráfico do sinal analógico original em função do tempo, b) Gráfico das amostras do sinal após a aplicação do ADC (c) Gráfico do sinal digital após a aplicação do filtro digital e (d) Gráfico do sinal após a aplicação do DAC.....	31
Figura 9 – Características da resposta no domínio da frequência do filtro passa-baixa.....	34
Figura 10 – Método das Janelas: (a) Filtro passa-baixa ideal e (b) Coeficientes do filtro.....	35
Figura 11 – Fenômeno de Gibbs.....	35
Figura 12 - Computadores móveis da década de 1980: (a) GRID Compass 1101, (b) Compaq portátil 1 e (c) GRIDPAD 1910.....	37
Figura 13 – PDA Newton da Apple®.....	38
Figura 14 – Telefones celulares: (a) DynaTAC 8000X e (b) Nokia 7110.....	39
Figura 15 – IBM Simon (1992).....	40
Figura 16 – Primeiro telefone celular com câmera, SHARP J-SH04 (2000).....	40
Figura 17 – Acessórios para Smartphones: (a) Samsung® Gearfit e (b) Apple® Watch.....	44
Figura 18 – Funcionalidade do case Steth IO.....	45
Figura 19 – Smartphone da HTC® e T-Mobile®, o Dream 100 G1 com SO Android® 1.0.....	46
Figura 20 – Arquitetura em camadas dos softwares do SO Android®.....	47
Figura 21 – Diagrama de Blocos do Sistema de Aquisição.....	49

Figura 22 – Microfone de Eletreto WM-61A.	51
Figura 23 – Sistema de alimentação: (a) Bateria íons de lítio e (b) Dispositivo de recarga.	52
Figura 24 – Projeto de implementação do transdutor.....	53
Figura 25 – Circuito sugerido para implementação do amplificador.....	54
Figura 26 – Buffer para grampear o sinal em $V_{cc}/2$	54
Figura 27 – Filtro antialiasing.	55
Figura 28 – Circuito de condicionamento de sinal desenvolvido.	55
Figura 29 – Circuito de alimentação $V_{cc}/2$	56
Figura 30 - Inclusão da biblioteca ESTETO_v1 no software Eagle.	56
Figura 31 - Layout da PCI desenvolvida.	57
Figura 32 – Transdutor do protótipo.	61
Figura 33 – Etapas da confecção da PCI.	62
Figura 34 – Tela Principal e de Cadastro do aplicativo.	63
Figura 35 - Tela para configuração e realização da Ausculta.....	63
Figura 36 – Resposta em frequência para frequência de corte de: (a) 4 kHz e (b) 500Hz.	64
Figura 37 – Resposta em frequência para frequência de corte de 1 kHz na margem de: (a) 5 kHz e (b) 2.5 kHz	64

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Participação dos SO móveis no mercado mundial.	42
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação das principais características entre Filtros FIR e IIR. 33

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

ADC	<i>Conversor Analógico-Digital (do inglês Analog-to-Digital Converter)</i>
API	<i>Interface de Programação de Aplicativos (do inglês Application Programming Interface)</i>
DAC	<i>Conversor Digital-Analógico (do inglês Digital-to-Analog Converter)</i>
FIR	<i>Resposta ao Impulso Finita (do inglês Finite Impulse Response)</i>
HP	<i>Passa-Alta (do inglês High-Pass)</i>
IIR	<i>Resposta ao Impulso Finita (do inglês Infinite Impulse Response)</i>
LP	<i>Passa-Baixa (do inglês Low-Pass)</i>
PCB	<i>Placa de Circuito Impresso (do inglês Printed Circuit Board)</i>
PDS	<i>Processamento Digitais de Sinais</i>
SDK	<i>Kit de Desenvolvimento de Software (do inglês Software Development Kit)</i>
SO	<i>Sistema Operacional</i>
SQL	<i>Linguagem de Consulta Estruturada (do inglês Structured Query Language)</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

δ_1	Amplitude dos <i>ripples</i> na banda de passagem
δ_2	Amplitude dos <i>ripples</i> na banda de rejeição
F_S	Frequência de Amostragem
ω_p	Frequência limitante da banda de passagem
ω_s	Frequência limitante da banda de rejeição

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1. Objetivo Geral	17
1.2. Objetivos Específicos	17
1.3. Organização Do Trabalho	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1. Introdução	19
2.2. Engenharia Biomédica	19
2.3. Sons Corporais.....	21
2.3.1 Biofísica da Ausculta Cardíaca.....	21
2.3.1 Biofísica da Ausculta Pulmonar	22
2.3.1 Biofísica da Ausculta Gastrointestinal	22
2.4. Estetoscópio.....	23
2.4.1. Contexto Histórico	23
2.4.2. Estetoscópio Littman	25
2.4.3. Estetoscópio Digital	26
2.5. Processamento Digital De Sinais	27
2.5.1. Sinais Contínuos e Discretos	27
2.5.2. Conversão Analógico-Digital e Digital-analógico.....	28
2.5.3. Teorema da Amostragem.....	29
2.5.4. Filtros Digitais.....	29
2.5.4.1. Filtros Digitais FIR e IIR.....	32
2.5.4.2. Projetos de Filtros FIR.....	33
2.6. Computação Móvel	36
2.6.1. Contexto Histórico	36
2.6.1.1. Portabilidade	37
2.6.1.2. Miniaturização	37
2.6.1.3. Conectividade.....	38

2.6.1.4. Convergência	39
2.6.1.5. Divergência	40
2.6.1.6. Aplicativos	41
2.6.1.7. Ecossistemas Digitais.....	41
2.6.2. Sistemas Operacionais utilizados em Smartphones	42
2.6.3. Dispositivo Móvel na Medicina	44
2.7. Sistema Operacional Android®	45
2.7.1. Arquitetura de Software.....	46
2.7.2. Ambiente de Desenvolvimento	48
3. MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1 Apresentação Do Sistema.....	49
3.2 Materiais.....	50
3.2.1 Dispositivo Externo.....	50
3.2.2 Ferramentas para desenvolvimento do aplicativo	52
3.3 Metodologia.....	53
3.3.1 Dispositivo Externo.....	53
3.3.2 Aplicativo	57
3.3.2.1 Interface Do Usuário.....	57
3.3.2.2 Processamento Digital de Sinal.....	59
4. RESULTADOS	61
4.1. Dispositivo Externo.....	61
4.2. Aplicativo	62
4.2.1 Interface Do Usuário	62
4.2.2 Processamento Digital de Sinal.....	64
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS.....	68
APÊNDICE A – Esquemático Da PCI Desenvolvida	76

1. INTRODUÇÃO

Desde 1819, quando Laennec desenhou o primeiro estetoscópio de madeira para melhorar a auscultação das bulhas cardíacas, o uso de tal ferramenta para os profissionais da área de saúde se tornou indispensável (SOUZA, *et al.*, 1995). A constante evolução e adaptação do aparelho fez com que técnicas de processamento digital fossem inseridas para melhorar não apenas a obtenção de sinais cardíacos mas diversos sinais corporais, capazes assim de promover diagnósticos mais precisos, formando o conceito de estetoscópio digital (IGARACHI, 2007).

O estetoscópio digital tradicionalmente usado, de acordo com Pereira, *et al.*, (ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 2011), utiliza-se de um grande arranjo de diversos componentes eletrônicos e microcontrolador, a fim de realizar a amplificação, filtragem e processamento digital dos sons biológicos, melhorando a qualidade e adicionando algumas funcionalidades conforme a evolução das técnicas empregadas.

Rogers (2003, p. 177) afirmou que "a inovação que são percebidas pelos indivíduos como tendo maior vantagem relativa, compatibilidade, testagem e observabilidade, e menos complexidade será adotada mais rapidamente do que outra inovação".

Burdette, Herchline e Oehler, (2008), destacam que a tecnologia móvel, como os *smartphones*, tem o potencial de revolucionar a forma como os médicos trabalham, pela substituição de *pager*, telefone celular, assistente digital pessoal, calendário e acesso a informações médicas, integrado em um único aparelho. Uma pesquisa realizada nos Estados Unidos em 2011, estimou que 72% dos médicos americanos já utilizavam o *smartphone*, com uma projeção de 81% para 2012. A disponibilidade de aparelhos que possuem processadores cada vez mais rápidos, maior quantidade de memória disponível e baterias de melhor autonomia junto a sistemas operacionais altamente eficientes e a disponibilidade de inúmeros aplicativos, contribuem para o desenvolvimento das atividades pessoais e profissionais (OZDALGA; OZDALGA; AHUJA, 2012).

De acordo com Oliver e Pieterse (INFORMATION SECURITY FOR SOUTH AFRICA, 2012), os *smartphones* são classificados através do sistema operacional

instalado no dispositivo, sendo os mais populares iOS da Apple®, Android® OS da Google®, RIM® OS da Blackberry® e Windows Mobile® OS da Microsoft®. O Android® é predominante no mercado, e projeções apontam que em pelo menos até 5 anos se mantém na liderança, devido a abertura de projeto e facilidade de personalização, o coloca a frente de outros sistemas operacionais (LIU; TSENG, 2012).

De modo a aproveitar o panorama atual, aplicações em diversas áreas, como saúde, agricultura, marketing e comunicação, estão ligadas a última tendência que são os *smartphones*, devido a necessidade social de permanecer sempre conectado e uma expectativa de um aumento na produtividade (ALDHABAN, 2012).

O uso crescente de *smartphones* por profissionais da saúde aliado aos sistemas e aplicativos desenvolvidos para uso no sistema de saúde gera benefícios, direta ou indiretamente, aos pacientes. Combinar o uso de *smartphones* com ferramentas de diagnóstico, como estetoscópio, permitirá difundir o seu uso e melhorar a qualidade dos diagnósticos e, conseqüentemente, dos serviços de saúde prestados.

1.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver um dispositivo externo e um aplicativo para *smartphone* para realizar a aquisição de sinais cardíacos, pulmonares e intestinais, com função de armazenamento e comunicação destes dados com outros dispositivos móveis.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

De modo a atingir o objetivo geral, o presente trabalho tem como objetivos específicos:

- Realizar o estudo da teoria de amplificação de sinais analógicos e desenvolver um dispositivo externo para amplificação do sinal proveniente do transdutor da unidade de auscultação;

- Realizar o estudo da teoria de filtros digitais, buscando compreender a forma com que é feita a filtragem de cada tipo de sinal durante a captação de sons biológicos;
- Desenvolver um aplicativo para *smartphone* que realize a filtragem e armazenamento do sinal;
- Implementar o protótipo do estetoscópio e obter parecer da avaliação clínica realizada por um profissional da área de saúde.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em capítulos com o intuito de abranger todo o conteúdo necessário. Neste primeiro Capítulo, foi apresentado a justificativa e os objetivos que se pretende alcançar com o desenvolvimento do mesmo.

O Capítulo 2 apresenta a revisão teórica do assunto, onde são abordados todos os conhecimentos que se julgaram necessários para a elaboração do projeto e análise dos resultados finais, facilitando a compreensão para o leitor. O método e sistema de aquisição e processamento de sinais biológicos são expostos no Capítulo 3, esclarecendo a utilização dos componentes escolhidos, e a metodologia para o desenvolvimento do protótipo e aplicativo desenvolvido.

No capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos em cada etapa elaborada, através de testes e simulações, com o propósito de validar o sistema desenvolvido. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões obtidas, as falhas encontradas, possibilidades de melhorias em desenvolvimento de trabalhos futuros e as considerações finais sobre a realização deste trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. INTRODUÇÃO

Para o início de desenvolvimento do trabalho, fez-se necessário um estudo das teorias que comprovem o teor e credibilidade do mesmo. Neste contexto, os tópicos a seguir tem como finalidade apresentar ao leitor todas as informações pertinentes para compreensão do sistema implementado.

2.2. ENGENHARIA BIOMÉDICA

A Engenharia Biomédica é o ramo multidisciplinar que associa as ciências puras e aplicadas às áreas da medicina e biologia, destacando-se na área médica devido a proporcionar grandes avanços na aquisição de diagnósticos de saúde, tratamento e terapias de pacientes (TJONDRONEGORO; SOEGIJOKO, 2013).

No final do século XIX, a medicina é marcada por grandes descobertas científicas em diversas áreas do conhecimento. Um dos primeiros grandes avanços ocorreu em 1789, quando Luigi Galvani descobriu que ligando duas placas de diferentes metais aos músculos de uma rã havia contração e tremor, criando uma conexão entre a eletricidade e a ação muscular, além descobrir o princípio geral do funcionamento da bateria (GOEBEL, 2009).

Em 1855, o médico alemão Adolf Fick apresentou ao mundo a lei da difusão, sendo amplamente utilizada no estudo de mistura de gases (GEDDES, 2006). Ambas descobertas influenciaram de forma significativa na engenharia biomédica, auxiliando na modelagem matemática de neurônios e sinapses (ECCLES, 1980). Outro passo importante consiste na descoberta da radiação de raios-X por Wilhelm Conrad Roentgen, em 1895, dando início a área de imagens médicas, oferecendo oportunidades nunca alcançadas antes para o diagnóstico, planejamento terapêutico e avaliação clínica (TULEIMAT, 2010).

No século XX a medicina foi profundamente afetada pelos avanços da eletrônica e da informática, proporcionando um grande avanço na instrumentação

clínica. Em 1902, o fisiologista William Einthoven desenvolveu o primeiro eletrocardiograma, permitindo a observação dos potenciais elétricos do coração. Três anos depois, Einthoven já transmitia os exames através de um cabo de telefone, dos hospitais para seu laboratório, iniciando o conceito de telemedicina (MOUKABARY, 2007). Já em 1929, o médico psiquiatra alemão Hans Berger desenvolve o eletroencefalograma, permitindo o registro gráfico das correntes elétricas espontâneas desenvolvidas no cérebro (ISHIKAWA; TAKATA; JOE, 2012).

Outras inovações também surgiram através de tecnologias desenvolvidas na Primeira Guerra Mundial. Uma das ferramentas mais importantes para a pesquisa biomédica foi o microscópio eletrônico. Este instrumento de análise foi inventado no começo dos anos 30 por dois grupos de pesquisa alemães, um deles pertencentes à universidade de Berlim e dirigido por Hans Hermann Knoll e Ernest Ruska, e o segundo grupo estava situado na Siemens-Schuckert (RUSKA, 1987). Em 1940, o uso do sonar na segunda guerra mundial possibilitou que esta técnica fosse aplicada na aquisição de imagens corporais, melhorando significativamente o diagnóstico clínico (RUSKA, 1987).

No final da década de 50, Hubert V. Pipberger usou um computador para análise de sinais de ECG adquiridos por um sistema com 3 eletrodos. Em 1960, o grupo de pesquisa de Pipberger já havia coletado mais de mil registros de ECG (RAUTAHARJU, 2007). Também houve interesse nos computadores híbridos, que combinavam circuitos digitais e analógicos. Em 1967, Louis Siegel apresentou um método para digitalização de gráficos registrados, que anos depois possibilitou que engenheiros biomédicos pudessem armazenar estes dados digitalizados em fitas magnéticas (NEBEKER, 2002; SIEGEL, 1967).

Nos anos 80 surgiram os primeiros equipamentos para aquisição de imagens através da MRI (*Magnetic Resonance Imaging*). Em 1983, 14 máquinas de MRI foram colocadas em funcionamento nos Estados Unidos. No ano seguinte este número cresceu para mais de 90 em virtude da aprovação concedida pelo FDA (Food and Drug Administration). A introdução de supercondutores em solenóides permitiu o aumento significativo do campo magnético produzido por esses equipamentos. Em virtude disto, em 1987 surgiram técnicas para obtenção mais rápida de imagens, possibilitando a criação de um vídeo mostrando o batimento cardíaco (NEBEKER, 2002).

Bertotti (2010) destaca que em virtude da grande evolução da engenharia biomédica nas últimas três décadas, o seu uso é indispensável na evolução contínua da medicina e da pesquisa neste ramo.

2.3. SONS CORPORAIS

Os sons corporais são de grande importância na prática médica, sendo utilizados em avaliações preliminares para formação do prontuário do paciente, assim como na decisão de tratamentos específicos para doenças do coração, sistema respiratório e gastrointestinal (RIZZO, 2014).

A ferramenta mais utilizada clinicamente para auscultação de sons corporais é o estetoscópio tradicional, devido a sua fácil portabilidade, baixo custo, rápido tempo de resposta e por ser não uma análise invasiva (PONTE, 2011). No entanto, o uso de um estetoscópio tradicional para diagnóstico depende fortemente da experiência do profissional responsável (HAIBIN, *et al.*, 2010). Ponte (2011) destaca que, com a utilização dos atuais recursos de Processamento Digital de Sinais (PDS), a auscultação dos sons corporais fornecem melhores diagnósticos, que excluem a necessidade da exposição à radiação raio-X, contribuindo para a saúde do paciente.

O foco de cada auscultação corporal é realizado na região da pele que apresenta menor interferência e atenuação acústica (GARCIA, 2002). As componentes espectrais dos sistemas analisados ocupam diferentes faixas de frequências. Dessa forma, os subtópicos a seguir apresentam uma breve descrição da biofísica de cada ausculta corporal.

2.3.1 Biofísica da Ausculta Cardíaca

De maneira geral, as patologias do coração podem ser identificadas em função de alterações nas bulhas cardíacas, ou pela interferência de sons anormais. Os principais tipos de sons anormais se relacionam a alteração da intensidade das bulhas, do desdobramento de bulha, os sopros e estalidos (GARCIA, 2002).

Na auscultação, a campânula deve ser usada para aquisição de sopros de baixa frequência (entre 30 a 150 Hz), sendo pressionada em determinados pontos do tórax (PESINATO, *et al.*, 2012). Esta faixa representa os sons da estenose mitral, tricúspide, terceira e quarta bulha cardíaca. Já o diafragma é usado em sons de maior frequência, como a primeira e segunda bulha (e seus desdobramentos), sopros e estalidos (PESINATO, *et al.*, 2012). Entre os diversos estudos da faixa de frequência em que os sons cardíacos são auscultados, Gretzinger (1996) destaca a maior incidência entre 30 a 400 Hz.

2.3.1 Biofísica da Ausculta Pulmonar

A ausculta pulmonar é uma técnica eficiente no diagnóstico clínico, devido as patologias do pulmão afetarem diretamente os sons das vias aéreas à superfície torácica. Um exemplo, são os pacientes com enfisema pulmonar, que apresentam sons de baixas frequências, enquanto nos acometidos pelo edema pulmonar cardiogênico, os sons tornam-se mais agudos (CARVALHO; SOUZA, 2007).

Os sons pulmonares são formados nas vias aéreas e nos alvéolos pulmonares, podendo ser classificado em som bronquial, som bronco vesicular e murmúrio vesicular. Estes segundo Gavriely, Nissan e Rubin (1995), apresentam espectros na faixa da frequência entre 150 a 1000 Hz.

2.3.1 Biofísica da Ausculta Gastrointestinal

A maioria dos sons provenientes do sistema gastrointestinal são de natureza normal do corpo, resultantes da digestão alimentar realizada pelo intestino. Mas nos casos que apresentar sons anormais, podem resultar em informações valiosas sobre a saúde do paciente. Estes presentes na faixa de frequência de 100 a 1000 Hz (MANSY; RICHARD, 2002).

Dessa forma a ausculta abdominal, pode identificar distúrbios como doenças da aorta, artéria renal ou mesentérica, tumores vascularizados, compressões

vasculares, infartos hepáticos e esplênicos, e ainda área intestinais com motilidade anormal e acúmulo de líquidos e gases (BARROS, 2011).

2.4. ESTETOSCÓPIO

2.4.1. Contexto Histórico

A auscultação corporal é uma prática que fascina os estudiosos desde o período hipocrático (460 a 370 a.c.), realizado através da aplicação do ouvido do profissional ao tórax ou abdômen do paciente, método denominado de ausculta direta (FERRAZ, *et al.*, 2011; CARVALHO; SOUZA, 2007). A partir de 1761 este exame começou a receber maior importância, com a obra *Inventum Novum*, introduzida pelo médico austríaco Leopold Auenbrugger, apresentando técnicas de diagnósticos clínicos para doenças do tórax (LOUZADA, 2006).

A ausculta direta mostrava uma grande dificuldade na realização de exames em pacientes obesos ou do sexo feminino, sobrando apenas o método da palpação para diagnóstico clínico (RIZZO, 2014). Em 1816, entretanto, o médico francês René Theophile Hacinthe Laënnec muda este contexto. Durante a consulta de uma jovem obesa que apresentava histórico de doenças cardíacas, Laënnec teve uma grande ideia utilizando-se de um cilindro formado por folhas de papel, aplicando a maior extremidade ao tórax da paciente e a outra em seu ouvido, obtendo uma significativa melhora do som auscultado (LOUZADA, 2006).

Com a surpresa no aperfeiçoamento da técnica de ausculta cardíaca, Laënnec começa o desenvolvimento de uma ferramenta que facilite o diagnóstico clínico, construindo o primeiro estetoscópio através um cilindro oco de madeira, como mostra a Figura 1. O nome foi originado de duas palavras gregas: στήθος (peito) e σκοπεῖν (examinar) (FERRAZ, *et al.*, 2011).



**Figura 1 – Primeiro estetoscópio, fabricado por Laënnec (1816).
Fonte: Ferraz, *et al.* (2011, p. 482).**

Desde 1819, quando Laennec desenhou o primeiro estetoscópio de madeira para melhorar a auscultação da ausculta cardíaca, o uso de tal ferramenta para os profissionais da área de saúde se tornou indispensável (SOUZA, *et al.*, 1995). Dessa maneira, o estetoscópio passa por diversas inovações na busca de um melhor desempenho e ergonomia, destacando-se o primeiro estetoscópio monoauricular parcialmente flexível, proposto em 1828 por Pierre Adolphe Piorry (LOUZADA, 2006; RIZZO, 2014). Com a introdução do látex, Charles James Blasius Williams lançou, em 1851, o primeiro estetoscópio biauriculares, incluiu uma membrana de borracha sobre a extremidade do receptor sonoro, possuindo o mesmo aspecto físico dos estetoscópios modernos (FERRAZ, *et al.*, 2011; LOUZADA, 2006; GEDDES, 2005). A Figura 2 apresenta os dois principais estetoscópios lançados no século XIX.



**Figura 2 – Principais estetoscópios do século XIX: (a) Piorry (1928) e (b) Williams (1951).
Fonte: Ferraz, *et al.* (2011, p. 483).**

2.4.2. Estetoscópio Littman

Atualmente, na prática médica, o estetoscópio mais utilizado é o modelo patenteado por David Littman, que segue os mesmos princípios dos seus antecedentes do século XIX. Este dispositivo é constituído por extensores de aço inoxidável (1), olivas que se encaixam no ouvido (2), tubo flexível de látex em formato de Y (3), e o receptor sonoro formado pela campânula e/ou diafragma, como mostra a Figura 3 (FERRAZ, *et al.*, 2011; GARCIA, 2002).

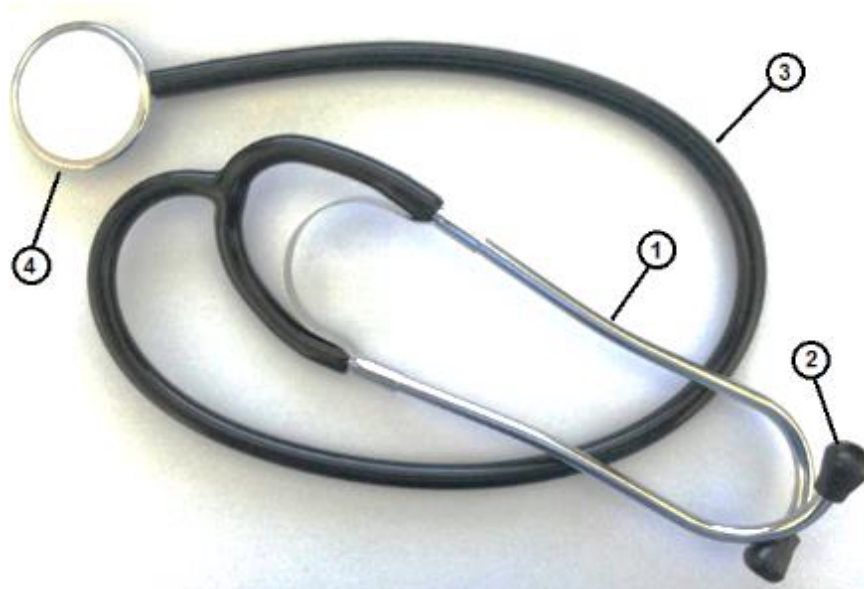


Figura 3 – Estetoscópio convencional e seus componentes.
Fonte: Autoria própria.

A diferença entre campânula e diafragma que formam o receptor sonoro está na captação das frequências ressonantes provenientes do paciente (LOUZADA, 2006). O diafragma possui uma membrana rígida sobre sua câmara, vibrando com maior intensidade quando entra em contato com o corpo do paciente, funcionando como um amplificador, sendo melhor na ausculta de sinais de alta frequência (OSOWSKI; SIWEK; SIROIC, 2011). Já a campânula possui a câmara aberta sem a presença da membrana, desse modo, a pele funciona como a fonte ressonante, produzindo com maior intensidade sinais de baixas frequências (GARCIA, 2002; LOUZADA, 2006). As diferenças físicas entre os modelos do receptor sonoro podem ser observadas na Figura 4.



**Figura 4 – Receptor sonoro de um estetoscópio convencional: (a) Diafragma e (b) Campânula.
Fonte: Autoria própria.**

Louzada (2006) também destaca que o diâmetro e comprimento do tubo flexível influenciam diretamente na eficiência do estetoscópio, devido a variação de pressão do meio em que o som é propagado. Experimentalmente, foi mostrado que o comprimento do tubo diminui a propagação de sons na faixa de frequência de 100Hz a 1000 Hz, que correspondem exatamente as faixas de interesse na ausculta corporal (GARCIA, 2002).

2.4.3. Estetoscópio Digital

A medicina foi profundamente afetada pelos avanços da eletrônica e da informática nas últimas três décadas, especialmente na instrumentação hospitalar devido ao surgimento da engenharia biomédica (BERTOTTI, 2010). Dessa maneira, a evolução e adaptação do estetoscópio fez com que técnicas de processamento digital fossem inseridas para melhorar a obtenção de diversos sinais corporais, capazes assim de promover diagnósticos mais precisos, formando o conceito de estetoscópio digital (IGARACHI, 2007).

O estetoscópio digital tradicionalmente usado, de acordo com Pereira (ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 2011) utiliza-se de um grande arranjo de

diversos componentes eletrônicos e microcontrolador, a fim de realizar a amplificação, filtragem e processamento digital dos sons biológicos, melhorando a qualidade e adicionando algumas funcionalidades conforme a evolução das técnicas empregadas.

A principal finalidade do estetoscópio digital, é melhorar a resolução do som, minimizando os ruídos de interferência, porém, o dispositivo ainda pode armazenar as auscultações e disponibilizar o sinal em um *display* (NUR HIDAYAH MALEK, *et al.*, 2013), permitindo um melhor monitoramento do paciente, garantindo diagnósticos mais precisos, levando em consideração a opinião de outros profissionais da área de saúde, através do intercâmbio das informações (PEREIRA, *et al.*, 2011).

2.5. PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

O processamento digital de sinais surge como uma alternativa ao processamento analógico de sinal, destacando-se por sua flexibilidade ao utilizar de circuitos ou processadores digitais que implementam técnicas, equacionamentos e algoritmos para representar, manipular e converter sinais (NALON, 2009).

2.5.1. Sinais Contínuos e Discretos

Um sinal pode ser representado como uma função que contém informações, obtidas através de sensores ou transdutores, sobre o comportamento ou natureza de um fenômeno, as quais podem ser processadas ou transmitidas, (WEEKS, 2012; OPPENHEIM; SCHAFER, 2010).

Os sinais representados no domínio do tempo são chamados de sinais contínuos, também conhecidos como sinais analógicos, cujos valores podem ser determinados em qualquer instante de tempo. Um sinal discreto, também conhecido como sinal digital, é definido em tempo discreto, existindo apenas para valores específicos do seu domínio (OPPENHEIM; SCHAFER, 2010).

Sinais contínuos representam informações que podem ser coletas em qualquer instante, entretanto, este tipo de sinal não é adequado para ser manipulado

e/ou armazenado por um processador digital devido a infinidade de valores que a função deste tipo de sinal pode assumir (WEEKS, 2012). Portanto para que esse tipo de sinal possa ser manipulado é necessário que este seja discretizado, ou seja, que um sinal discreto seja obtido a partir do respectivo sinal contínuo.

2.5.2. Conversão Analógico-Digital e Digital-analógico

Dispositivos digitais necessitam que os sinais analógicos sejam convertidos em sinais digitais através do processo de conversão analógico-digital (A/D). Desta maneira, a conversão pode ser obtida através do processo de amostragem.

O processo de amostragem consiste em armazenar os valores medidos em intervalos regulares, relacionando o número de amostras com o tempo de amostragem, isto é, armazena-se uma sequência que conterà os valores da função analógica nos tempos múltiplos do intervalo de amostragem. Desta maneira, o sinal é quantizado no tempo, dispondo de valores somente em momentos específicos. Em seguida, cada valor discretizado no processo de amostragem é codificado para que passa a ser representado por uma sequência de bits (OPPENHEIM; WILLSKY, 2010; NALON, 2009).

A conversão do sinal digital para analógico baseia-se em produzir um sinal analógico através das amostras discretizadas. Este processo é chamado de interpolação e converte um sinal digital em um trem de pulsos, gerando uma função degrau onde o tempo entre as duas amostras é preenchido pela primeira dentre as duas amostras (WEEKS, 2012). Outra opção é a interpolação linear, como na função triângulo em que baseia-se na variável tempo, onde o pulso sobe em forma de rampa até o ponto médio e em seguida desce novamente.

A reconstrução do sinal é o processo em que se obtém o sinal contínuo a partir das amostras do sinal discreto correspondente. O sinal contínuo resultante não é recuperado totalmente devido no processo de amostragem sofrer distorções ou parte de sua informação ser descartada. Contudo, o sinal pode ser reconstruído de maneira satisfatória caso seja limitado em frequência ou tenha sofrido filtragem adequada.

2.5.3. Teorema da Amostragem

Ao converter um sinal analógico para digital passa-se pelo processo de amostragem, que consiste na obtenção de uma sequência de amostras do sinal contínuo analisado, como mostra a Figura 5. Assim, se obtém um sinal discreto no tempo, possibilitando a aplicação das técnicas de PDS e possibilitando que o sinal de saída possa ser reconstruindo em um sinal contínuo no tempo.

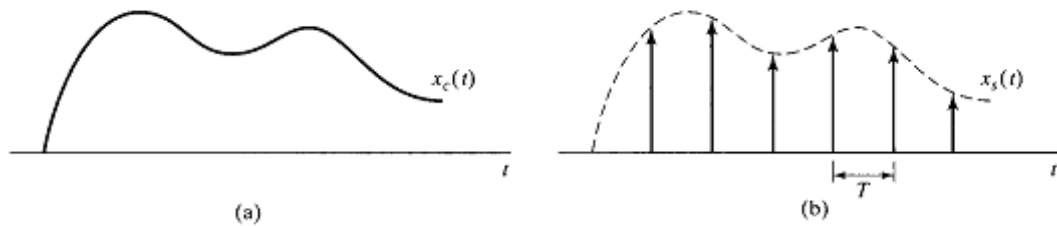


Figura 5 – Sinais: (a) Sinal contínuo e (b) Sinal amostrado.
Fonte: Oppenheim e Willsky (2010, p. 156).

A fim de se evitar inteiramente qualquer distorção, o Teorema da Amostragem, também conhecido como taxa de amostragem de Nyquist, determina que o sinal a ser amostrado deve ser limitado em certa frequência, de modo que a frequência de amostragem deve ser o dobro da maior frequência presente no espectro do sinal contínuo, impossibilitando qualquer sobreposição ou dobramento do sinal (OPPENHEIM; SCHAFER, 2010; WEEKS, 2012; NALON, 2009).

2.5.4. Filtros Digitais

Um filtro em sua essência é um sistema que seletivamente modifica a forma de onda de um sinal, sendo na amplitude e/ou na fase de determinadas faixas de frequências. Dessa forma, a implementação de filtros permite retirar ruídos ou interferências de um sinal.

A Figura 6 apresenta a resposta ideal de cada uma das quatro configurações básicas de filtro: passa-baixa, passa-alta, passa-faixa ou rejeita-faixa. As próprias denominações definem a característica desses filtros, atenuando determinadas frequências do espectro e permitindo a passagem das demais.

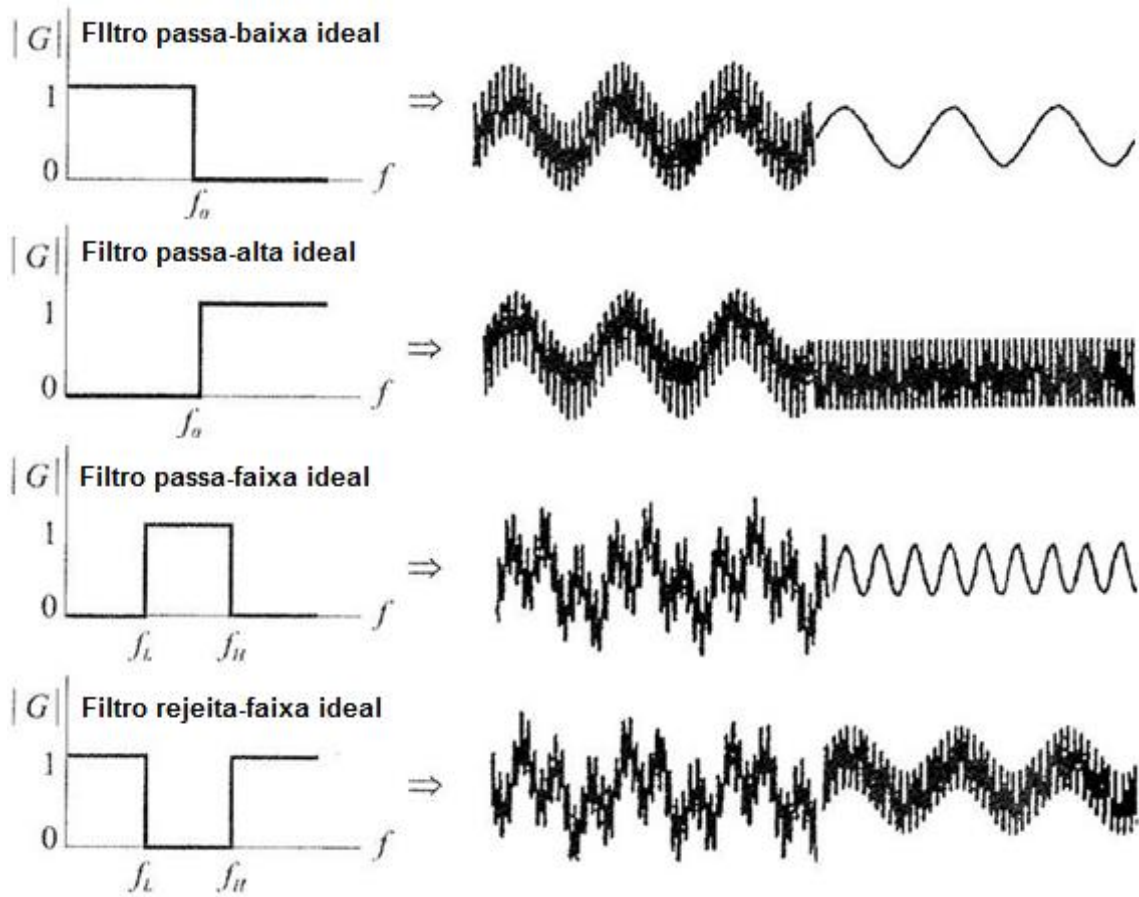


Figura 6 – Resposta ideal de cada tipo de filtro.
Fonte: Miguel (2010, p. 146).

O comportamento ideal da atenuação dos filtros não é alcançado na prática, sendo necessário a implementação de técnicas a partir de funções de aproximação, sendo que as mais utilizadas são Butterworth, Chebyshev e Cauer (filtro elíptico) (MIGUEL, 2010). A aproximação de Butterworth permite obter uma curva de atenuação em função da frequência sem *ripple* na banda passante e menor atenuação na banda de transição. A aproximação por Chebyshev apresenta uma melhor atenuação na faixa de transição, mas um elevado *ripple* na banda passante. Apesar de apresentarem uma boa atenuação na banda de transição, os filtros elípticos resultam em um considerável nível de *ripple* na banda passante e de corte. A Figura 7 mostra a resposta de filtros das aproximações mencionadas.

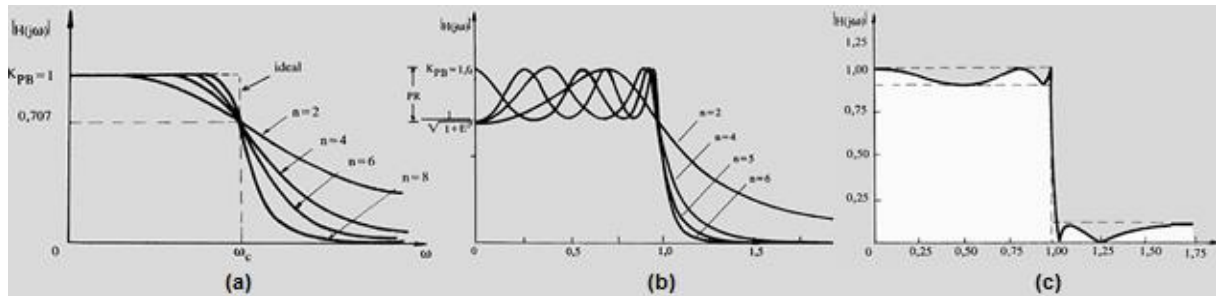


Figura 7 – Resposta de função de aproximação: (a) Butterworth, (b) Chebyshev e (c) Cauer.
 Fonte: Adaptação de Pertence (2003, p. 170-174).

Por fim, tem-se a tecnologia empregada na implementação dos filtros, podendo ser filtros passivos, ativos ou digitais. Os filtros passivos, também chamados de filtros RLC, por serem implementados a partir de resistores, capacitores e indutores, são utilizados geralmente para sinais com frequência acima de 1 MHz (MIGUEL, 2010; PERTENCE, 2003). Filtros ativos utilizam-se de amplificadores operacionais em sua implementação, fornecendo um filtro com alta impedância de entrada e baixa impedância de saída (MIGUEL, 2010; PERTENCE, 2003). Os filtros digitais, que representam um dos principais focos deste trabalho, são implementados a partir uma rotina matemática programada em um software, executada em um microprocessador ou microcontrolador (OPPENHEIM; SCHAFFER, 2010; PROAKIS; MANOLAKIS; G., 2007). A representação usual de uma aplicação genérica de um filtro digital é exibida na Figura 8.

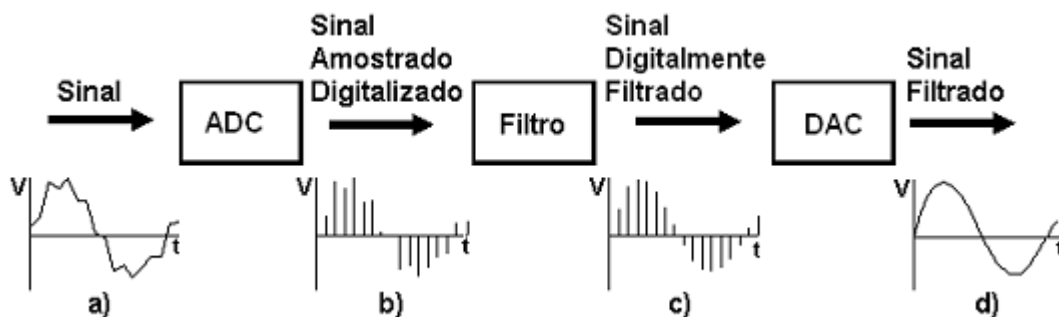


Figura 8 - Representação de um filtro digital: (a) Gráfico do sinal analógico original em função do tempo, b) Gráfico das amostras do sinal após a aplicação do ADC (c) Gráfico do sinal digital após a aplicação do filtro digital e (d) Gráfico do sinal após a aplicação do DAC.
 Fonte: Volpato (2005, p. 17).

De acordo com a Figura 8, o ADC converte o sinal analógico de entrada em um sinal digital, que representa as amostras sucessivas dos valores do sinal de entrada. Os dados então são transferidos para um processador, onde ocorrem os

cálculos numéricos do respectivo filtro digital implementado. Na saída do processador, se necessário, segue um DAC que recompõem o sinal analógico.

Os filtros digitais ainda apresentam como vantagem as seguintes características (IFEACHOR; W., 2007; OPPENHEIM; SCHAFFER, 2010; PROAKIS; MANOLAKIS; G., 2007):

- Diferentemente de filtros analógicos, filtros digitais não variam com as interferências do ambiente, como a variação de temperatura, eliminando a necessidade de calibragem constante;
- São Programáveis, o que permite a fácil alteração de seus parâmetros;
- Muitos canais de entrada podem ser filtrados por um único filtro sem a necessidade de replicação do hardware;
- Os dados em um sistema digital podem ser facilmente armazenados, diferentemente de um sistema analógico;
- A resposta de um filtro digital está limitada na resolução da palavra do microprocessador, permitindo respostas em frequência muito próximo do ideal;
- Quando implementadas em microprocessadores ou microcontroladores, o sistema utiliza-se de pouco volume e baixo consumo de energia;
- As atuais taxas de frequências dos microprocessadores permitem a implementação de algoritmos e softwares complexos com rápida velocidade de resposta.

De acordo com Oppenheim e Schaffer (2010), os filtros digitais se dividem basicamente em dois grupos: os filtros de resposta ao impulso finita ou FIR (*Finite Impulse Response*) e os filtros de resposta ao impulso infinita ou IIR (*Infinite Impulse Response*), os quais serão discutidos nos tópicos a seguir.

2.5.4.1. Filtros Digitais FIR e IIR

A principal diferença entre os filtros digitais está no fato de filtros FIR utilizarem apenas amostras atuais do sinal de entrada e de um número finito de amostras passadas, enquanto que os filtros IIR utilizam os sinais presentes e

passados na entrada, juntamente com os sinais de saída. Desta forma, os filtros IIR possuem uma resposta infinita, mesmo quando não há mais sinais na entrada (OPPENHEIM; SCHAFER, 2010; PROAKIS; MANOLAKIS; G., 2007). As principais diferenças entre os filtros são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Comparação das principais características entre Filtros FIR e IIR.

Filtros FIR	Filtros IIR
Sempre estáveis	Podem ser estáveis
Sem equivalência analógica	Equivalência analógica
Resposta de fase linear	Resposta de fase não linear
Ordem mais alta	Ordem mais baixa
Menos eficiente	Mais eficiente
Alta latência	Baixa latência

Fonte: Autoria Própria.

Os filtros FIR apresentam duas vantagens significativas, a estabilidade e resposta de fase linear. As desvantagens de eficiência e latência em relação ao filtro IIR, podem ser desprezadas com o uso de processadores mais potentes. Dessa maneira, para o presente trabalho foram implementados filtros FIR, seguindo a metodologia de projeto apresentada no tópico a seguir.

2.5.4.2. Projetos de Filtros FIR

O primeiro passo para implementação de Filtros FIR consiste na escolha do modelo. A Figura 9 apresenta a resposta no domínio da frequência de um filtro passa-baixa, com as respectivas características indicadas.

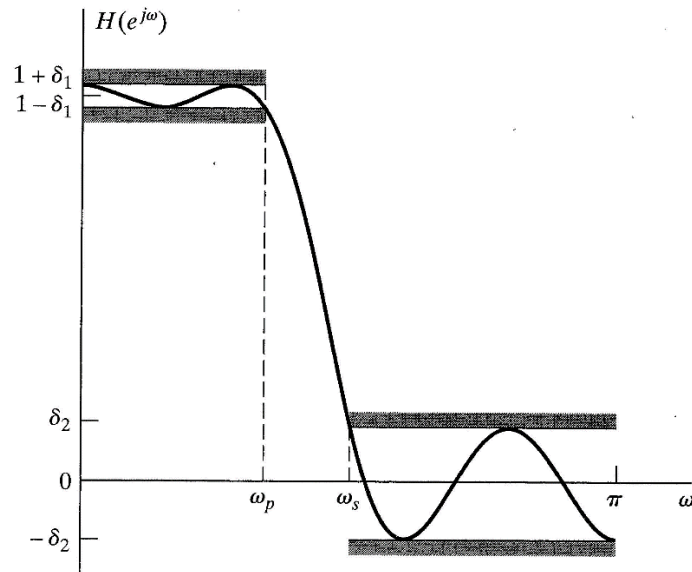


Figura 9 – Características da resposta no domínio da frequência do filtro passa-baixa.

Fonte: Oppenheim e Schaver (2010, p. 190).

A partir do modelo, tem-se as seguintes características a serem especificadas pelo projetista (OPPENHEIM; SCHAFER, 2010):

- F_S : Frequência de Amostragem;
- ω_p : Frequência limitante da banda de passagem;
- ω_s : Frequência limitante da banda de rejeição
- δ_1 : Amplitude dos *ripples* na banda de passagem;
- δ_2 : Amplitude dos *ripples* na banda de rejeição.

A F_S apesar de não ser apresentada no modelo, sua especificação é importante afim de respeitar o teorema de Nyquist, mencionado anteriormente.

A partir das especificações, o próximo passo consiste no cálculo dos coeficientes do filtro. Para tal, existem diversas maneiras, porém, o Método das Janelas é o mais utilizado entre os projetistas, que consiste em projetar o filtro ideal no domínio de tempo discreto e em seguida aplicar a transformada Z inversa (ROSA, 2009). A Figura 10 apresenta o modelo de um filtro passa-baixa ideal, e o vetor de coeficientes obtidos pelo Método das Janelas.

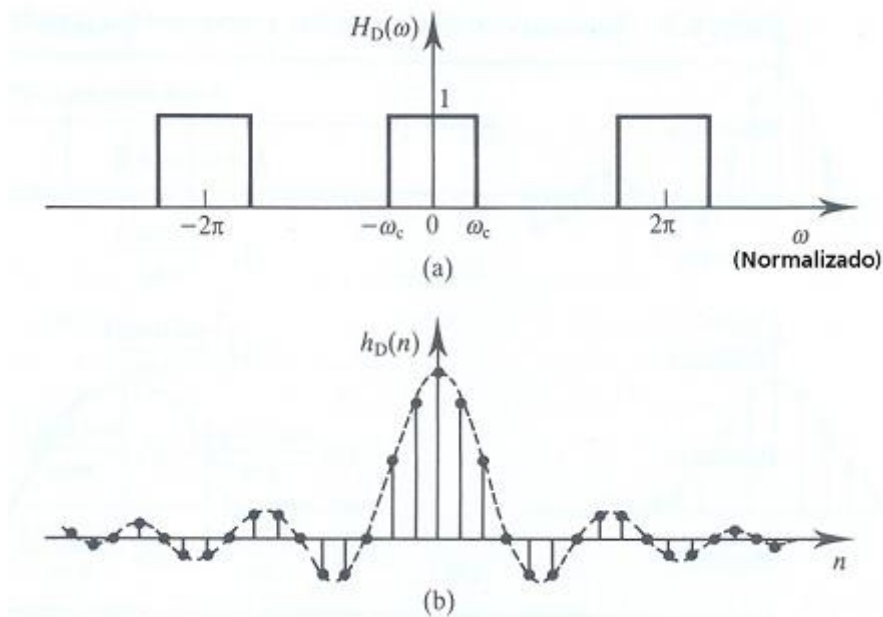


Figura 10 – Método das Janelas: (a) Filtro passa-baixa ideal e (b) Coeficientes do filtro. Fonte: Rosa (2009, p. 33).

No caso do filtro passa-baixa, temos equação (1) para o cálculo dos coeficientes.

$$h_D(n) = \frac{2 f_c \sin(n\omega_c)}{n\omega_c}, n \neq 0, -\infty \leq n \leq +\infty$$

Como o domínio n tende a $-\infty$ até $+\infty$, a função terá infinitas respostas para ambas as direções, refletindo em uma antítese geral entre limitação de banda e limitação de tempo (NEWCASTLE UNIVERSITY, 2002). A única solução é truncar o vetor em determinados pontos, ignorando os pequenos valores de amostra nas extremidades, como $n = (2M + 1)$, deslocando $h_D(n)$ para iniciar em $n = 0$, quando n for maior ou menor que M (ROSA, 2009). Entretanto, este método causa diversos *ripples* e *overshots* indesejáveis, conhecido como fenômeno de Gibbs. A Figura 11 apresenta as ondulações na resposta em frequência do filtro.

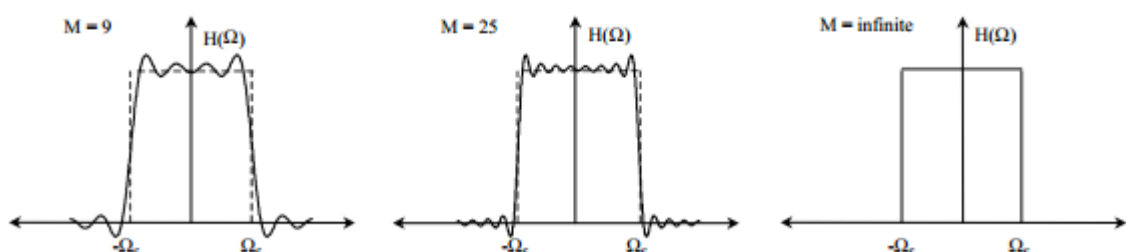


Figura 11 – Fenômeno de Gibbs. Fonte: Newcastle Univrsity (2002, p. 4.4).

Dessa maneira, a janela Gibbs consiste em um vetor do mesmo tamanho do vetor de coeficientes, o qual cada posição será multiplicada pela posição correspondente do vetor de coeficientes, fazendo com que os ripples e os overshoots sejam distribuídos nas outras regiões do filtro (ROSA, 2009; NEWCASTLE UNIVERSITY, 2002).

2.6. COMPUTAÇÃO MÓVEL

O termo computação móvel é utilizado para descrever uma variedade de tecnologias que permitem a mobilidade pessoal, com o contínuo acesso aos recursos que um computador pode oferecer. As tecnologias necessárias são uma combinação de diversos meios de comunicação, servidores de dados e computadores portáteis, que proporcionam ao usuário um ambiente de trabalho com o acesso a seus arquivos usuais, internet e softwares. Segundo Nixon e Cahill (1998), a mobilidade deve apoiar o movimento contínuo de pessoas, dados e aplicativos entre diferentes locais.

Neste contexto, os tópicos a seguir apresentam a evolução da computação móvel, destacando o surgimento de seu grande legado, os *tablets* e *smartphones*, assim como, os sistemas operacionais presentes nesses dispositivos e sua participação nas soluções aplicadas a área médica.

2.6.1. Contexto Histórico

Os atuais dispositivos móveis são o resultado da fusão de diversas tecnologias desenvolvidas nas últimas três décadas. Dessa maneira segundo Kjeldkov (2013), para se ter uma boa visão geral do legado construído pelas pesquisas em dispositivos móveis, a história da computação móvel pode ser dividida em sete principais ondas, cada uma caracterizada pelo desenvolvimento de uma tecnologia em particular. Embora não sejam restritamente sequenciais, os subtópicos a seguir fornecem uma breve descrição de cada onda de desenvolvimento.

2.6.1.1. Portabilidade

Com o objetivo de reduzir o tamanho do *hardware* permitir a criação de computadores que poderiam ser transportados com facilidade, Bill Moggridge desenvolveu, em 1981, o primeiro computador portátil, conhecido como GRiD Compass 1101. Este computador possuía um processador Intel 8086 de 16MHz, 256K de memória DRAM, tela plana de 320x240 pixels de 6 polegadas, pesava cinco quilos, e com seu próprio sistema operacional gráfico chamado GRiD OS (COOPER HEWITT, 2010), foi vendido principalmente para o governo dos Estados Unidos e utilizado até em missões espaciais da NASA (SHELLY, 2011). No ano seguinte, foi desenvolvido o Compaq Portable 1, produzido pela IBM® e com sistema operacional MS-DOS, visando e atingir o público em geral (DAHNIKE, 1983).

O design dobrável desenvolvido por Bill Moggridge foi tão inovador que permanece nos atuais computadores portáteis, como *notebooks* e *ultrabooks*. Em 1988, a Grade Systems também desenvolveu o primeiro computador estilo prancheta, o GRIDPAD, dando início a categoria *tablet* que deu origem a dispositivos portáteis como o Apple® Newton até o atual iPad (KJELDSKOV, 2013). A Figura 12 apresenta os principais lançamentos de computadores móveis da década de 1980.



Figura 12 - Computadores móveis da década de 1980: (a) GRiD Compass 1101, (b) Compaq portátil 1 e (c) GRIDPAD 1910.
 Fonte: Kjeldkov (2013).

2.6.1.2. Miniaturização

No início da década de 1990, o tamanho do hardware do computador chegou a um ponto, que permitiu novas e menores formas de computadores portáteis de mão, chamados de PDAs (*Personal Digital Assistants*). Estes pequenos e leves

dispositivos ofereciam aos usuários o acesso a alguns conteúdos dos *desktops* ou *laptops*, como calculadora, agenda e aplicativos, servindo como ferramenta complementar (WANT; BORRIELLO, 2000). O primeiro lançamento foi realizado pela Apple® em 1992, o PDA Newton como mostra a Figura 13, dando início a uma geração de dispositivos com novas formas de interação com o usuário, destacando-se a tela sensível ao toque, possibilitando acesso ao conteúdo diretamente pela tela, e inserção de texto por um teclado virtual ou softwares de reconhecimento de escrita (WELLAND, *et al.*, 1994).



**Figura 13 – PDA Newton da Apple®.
Fonte: Kjeldskov (2013).**

Com o desenvolvimento da tecnologia de PDAs, veio também novas categorias de aplicações desenvolvidas especificamente para dispositivos móveis e seus usuários. Logo se tornou disponível uma considerável quantidade de aplicações desenvolvidas por empresas de terceiros, possibilitando a compra ou download através da Internet. Então, em 1998 acontece a primeira Conferência sobre Interação Humano-Computador com dispositivos e serviços móveis (Mobile HCI'98) na Universidade de Glasgow, abordando especificamente o desafio emergente em relação a forma de interação e experiências de usuário para dispositivos móveis, como seus sistemas e serviços (KJELDSKOV, 2013).

2.6.1.3. Conectividade

A terceira onda teve suas origens nas comunicações sem fio, quando uma equipe liderada por Martin Motorola Cooper desenvolveu e patenteou um conceito de

telefone móvel portátil em 1973. Dez anos depois, é lançado o primeiro telefone celular comercial, o DynaTAC 8000X (MOTOROLA SOLUTIONS, INC, 2014). No início dos anos 90, com a introdução da tecnologia GSM (*Global System for Mobile Communications*), que também incluiu o serviço de SMS (*Short Message Service*), inspirou a tentativa do acesso à internet através do celular, levando ao desenvolvimento do WAP (*Wireless Application Protocol*), permitindo que sites fossem simplificados para serem visualizados em telas menores (KJELDSKOV, 2013). O primeiro telefone celular a contar com um navegador WAP foi o Nokia 7110, lançado em 1999, causando um grande impacto no futuro da computação móvel, fazendo com que os fabricantes de PDAs começassem a investir melhor na integração com os telefones celulares (DAVIES, 2011). Na Figura 14, são apresentados os modelos que marcaram a telefonia móvel.



**Figura 14 – Telefones celulares: (a) DynaTAC 8000X e (b) Nokia 7110.
Fonte: Kjeldskov (2013)**

2.6.1.4. Convergência

Uma das épocas mais interessantes da computação móvel, começou quando diferentes tipos de dispositivos móveis começaram a convergir em novos dispositivos híbridos (KJELDSKOV, 2013). A primeira fase foi o surgimento de telefones inteligentes, que combinavam a funcionalidade de uma PDA com a de um telefone celular. O primeiro telefone inteligente que possibilitou a realização de chamadas telefônicas, o acesso a calendários, endereços, notas, e-mail, fax e jogos, foi o IBM® Simon em 1994. Este dispositivo não possuía botões físicos, mas apenas uma tela sensível ao toque, como mostra a Figura 15 (BBC NEWS, 2014).



Figura 15 – IBM Simon (1992).
Fonte: BBC News (2014).

A segunda fase de convergência, combina telefones celulares com vários recursos de mídia, tais como câmeras digitais, players de música, gravação e reprodução de vídeo e recepção de rádio e televisão, se tornando atraente para o público geral que busca lazer, diversão e socialização (KJELDSKOV, 2013). A nova combinação ficou conhecida como "telefone multimídia", com o primeiro modelo da categoria lançado pela Sharp, o J-SH04 como mostra a Figura 16 (SHARP CORPORATION, 2014).



Figura 16 – Primeiro telefone celular com câmera, SHARP J-SH04 (2000).
Fonte: Sharp Corporation (2014).

2.6.1.5. Divergência

A tendência de divergência sugere uma única função ao dispositivo móvel, onde é projetado para executar melhor uma atividade específica, relacionada a música, fotografia ou escrita, surgindo um novo conceito chamado Aparelho de

Informação. A intenção é oferecer ferramentas especializadas em um único objetivo, ao invés de inúmeras funções gerais que acabam não atendendo as necessidades do usuário (WANT; BORRIELLO, 2000). Um grande exemplo, é o iPod da Apple®, lançado em 2001, que apesar de não ser o primeiro leitor móvel de música digital, mas por oferecer uma fácil interação com o usuário, integração com o iTunes e posteriormente ao iTunes Music Store, mudou a forma até do comércio mundial de músicas, devido ao seu grande sucesso, com mais de 290 milhões de unidades vendidas até 2010 (KJELDSKOV, 2013).

2.6.1.6. Aplicativos

Em junho de 2007, a Apple® lançou o iPhone, o primeiro telefone celular que permitiria a instalação de softwares produzido por terceiros. Como muitos de seus contemporâneos, este era um dispositivo móvel convergente funcionando como um telefone com câmera, *player* de mídia, um cliente de Internet com e-mail, navegação na web, conectividade de alta velocidade pela rede sem fio, métodos de entradas inovadores pela tela sensível ao toque, que permitia fácil manuseio apenas utilizando um dedo (GRØNLI, *et al.*, 2014). No entanto, em julho de 2008, a Apple® lança a App Store, que é um mecanismo pelo qual os usuários do iPhone poderia facilmente fazer o download dos aplicativos diretamente em seu dispositivo, incluindo conteúdos desenvolvidos por terceiros. Em dois anos a App Store registra mais de cinco bilhões de downloads, disponibilizando mais de 200.000 aplicativos criados por mais de 43.000 desenvolvedores (KIMBLER, 2010).

O sistema de comércio de aplicativos redefiniu a computação móvel e estabeleceu novos padrões e experiências com os usuários, forçando outras grandes empresas, como a Google e HTC, a desenvolver projetos de Sistemas Operacionais (SO) que incluíssem lojas de aplicativos online, afim de se igualar a Apple® (KJELDSKOV, 2013).

2.6.1.7. Ecossistemas Digitais

Segundo Kjeldskov (2013), a atual onda da computação móvel está no desenvolvimento de ecossistemas digitais, onde os dispositivos móveis

desempenham um papel principal em conjunto com outros recursos da computação. Além do uso dos dispositivos móveis, a maioria dos usuários também usam uma infinidade de sistemas computacionais fixos, como no local de trabalho, em casa, nos automóveis, bancos e outros sistema de atendimento automático. Neste contexto, os novos recursos da computação móvel devem apresentar amplos recursos de interação com outros dispositivos do ecossistema digital.

2.6.2. Sistemas Operacionais utilizados em Smartphones

O mercado de *smartphones* cresce absurdamente a cada ano, tendo um aumento de 25,3% no segundo trimestre de 2014, ultrapassando a marca de 300 milhões de unidades vendidas no mundo, com previsão de aumento para o próximo trimestre, representando um grande marco para a indústria (IDC, 2014). No presente trabalho, iremos abordar especificamente as três plataformas de desenvolvimento identificadas como líderes de mercado de *smartphones*, como mostra o Gráfico 1, que apresenta as cotações do mercado de sistema operacionais móveis.

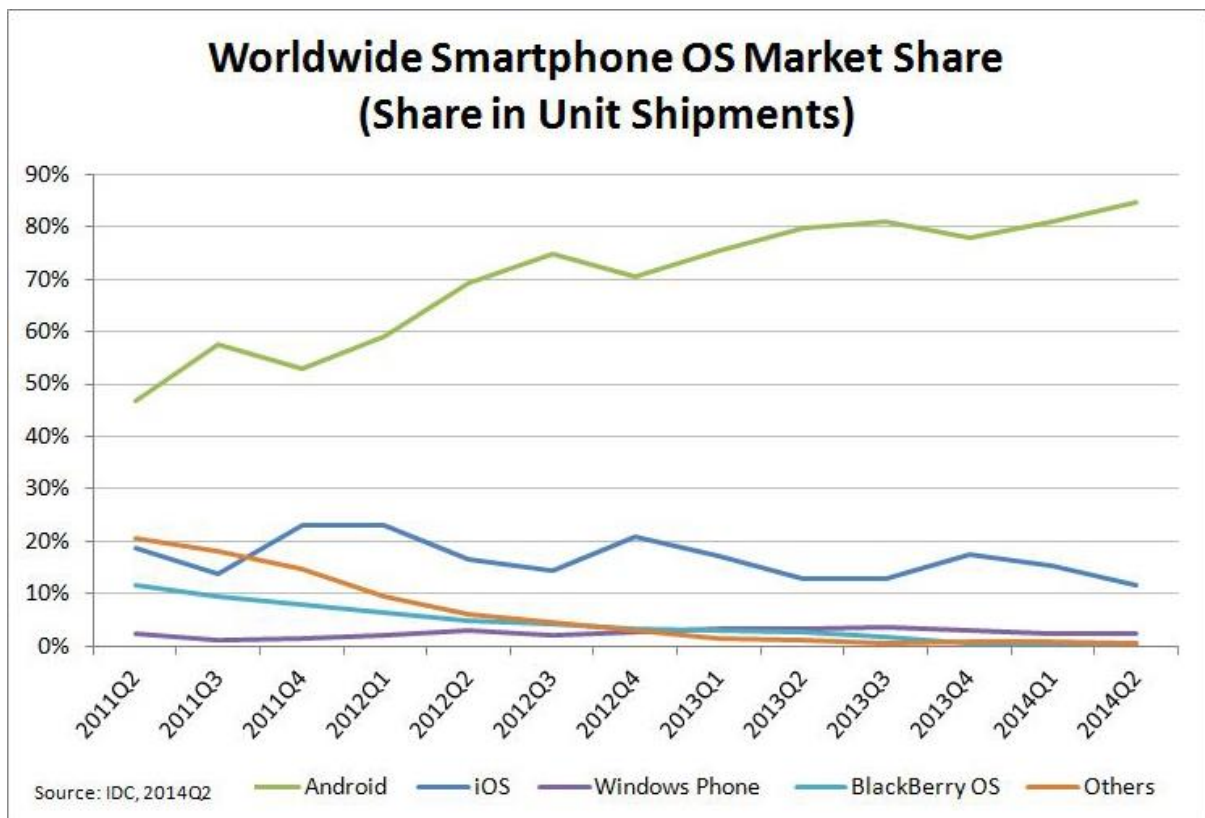


Gráfico 1 – Participação dos SO móveis no mercado mundial.
Fonte: International Data Corporation (2014).

O Android® é um SO móvel de código aberto baseado no kernel do Linux, permitindo aos desenvolvedores escrever códigos em linguagem Java utilizando as bibliotecas específicas para a plataforma, desenvolvidas pela própria Google, destacando-se as bibliotecas gráficas 2D e 3D e uso do sistema SQL (para armazenamento (STEELE, 2011).

Em relação as ferramentas de desenvolvimento para o SO Android®, três IDEs (*Integrated Development Environment*) se destacam: Eclipse®, Netbeans® e IntelliJ® IDEA. A API (*Application Programming Interface*) do SO Android® está em constante evolução e a versão atual 4.4 KitKat representa um considerável avanço em comparação com o número de recursos disponíveis a partir de versão 1.0 (GRØNLI, *et al.*, 2014). Atualmente, o SO Android® é líder disparado de mercado, com 85% da cotação, equivalente a mais de 255 milhões de unidades vendidas no segundo trimestre de 2014, devido a disponibilidade de aparelhos com um custo menor que US\$ 200 (IDC, 2014).

O sistema operacional iOS é utilizado especificamente nos dispositivos móveis da Apple®. A plataforma tem melhorado continuamente ao longo dos anos, sendo sempre a mais avançada, quando comparada com a de outros SO (PALMIERI; SINGH; CICCETTI, 2012). A Apple® utiliza a linguagem Objective-C, juntamente com o sistema ARC, que proporciona o gerenciamento automático da memória.

O desenvolvimento de aplicativos para iOS requer um computador com o Mac OS, onde é disponibilizado um ótimo editor, o iOS SDK e Xcode IDE, bem como uma ferramenta de análise e simulação (GRØNLI, *et al.*, 2014). A Apple® representa 11,7% no mercado de dispositivos móveis, devido ao alto valor de custo dos aparelhos, e mesmo com o lançamento do iPhone 5C, o consumidor médio continua fora de sua participação de mercado (IDC, 2014).

O atual sistema operacional para *smartphones* criado pela Microsoft® é o Windows Phone, apresentando uma grande evolução na sincronização com outro sistema operacional, no caso a plataforma Windows 8 desenvolvida para *desktops* (RUI; ZHIGANG; BAOLIANG, 2013). Este SO suporta duas plataformas de programação populares, a Silverlight, que fornece aos desenvolvedores a capacidade de criar interfaces de usuário sofisticadas, e a XNA, que consiste de uma plataforma de jogos da Microsoft® que suporta gráficos 2D e 3D (IDC, 2014).

Apesar das linguagens Visual Basic .NET e C serem utilizadas na programação para o Windows Phone, não há suporte para *plugins*, uma das principais limitações do sistema (GRØNLI, *et al.*, 2014). O Windows Phone representa apenas 2,5% da cotação de mercado e a maior parte de suas vendas ainda se deve a parceria realizada com a Nokia (IDC, 2014).

2.6.3. Dispositivo Móvel na Medicina

Como mencionado anteriormente, o mercado de aplicativos para dispositivos móveis está em constante crescimento, e este ano está sendo marcado por grandes lançamentos de soluções para área de saúde. As rivais Apple® e Samsung®, apresentaram acessórios em formato de pulseiras que fornecem registros e resultados de seus treinos, como mostra a Figura 17. O sistema realiza monitoramento do batimento cardíaco, registro de passos e outras atividades corporais, através de sensores infravermelhos e pedômetros (SAMSUNG, 2014; APPLE, 2014).



Figura 17 – Acessórios para Smartphones: (a) Samsung® Gearfit e (b) Apple® Watch.
Fonte: Adaptação de Samsung® (2014) e Apple® (2014).

Outros acessórios desenvolvidos por terceiros prometem melhores recursos, como case Wello lançado pela empresa americana Azoi, que em combinação com um aplicativo especialmente desenvolvido para a plataforma iOS,

permite monitorar em tempo real dados como pressão arterial, temperatura corporal, nível de oxigênio no sangue e capacidade pulmonar (AZOI, 2014).

O case Steth IO apresentado pela StratoScientific, foca os profissionais da área clínica, possibilitando ouvir e visualizar os sons do coração e transmitir os dados do paciente para clínicas remotas, armazenando registros médicos eletrônicos (STRATOSCIENTIFIC, 2014). A funcionalidade do sistema é apresentado na Figura 18.



Figura 18 – Funcionalidade do case Steth IO.
 Fonte: (STRATOSCIENTIFIC, 2014)

2.7. SISTEMA OPERACIONAL ANDROID®

O Android® é uma plataforma móvel inteligente composto por um sistema operacional embarcado no Linux. Foi desenvolvida inicialmente por uma pequena empresa de Palo Alto na Califórnia, sendo adquirida pela Google em 2005. Seu lançamento oficial foi realizado em novembro de 2007, sendo de responsabilidade da Open Handset Alliance, uma aliança fundada pela Google® em parceria com outras diversas empresas do setor, como Intel®, Acer®, Motorola®, Asus®, DoCoMo, HTC®, Sprint®, Kyocera®, T-Mobile®, LG®, Samsung®, Vodafone®, SonyEricsson®, Qualcomm® e NVidia® (BRITO; OGLIARI, 2012; ROGERS, *et al.*, 2009). O projeto foi tão influente que, antes mesmo de ser lançado o primeiro dispositivo móvel com sistema operacional Android®, o Dream 100 G1 da HTC® e T-Mobile®, apresentados na Figura 19, mais de 1 milhão de pessoas já haviam baixado o SDK do site da Google® (ROGERS, *et al.*, 2009).



**Figura 19 – Smartphone da HTC® e T-Mobile®, o Dream 100 G1 com SO Android® 1.0.
Fonte: PDADB (2014)**

Por ser um projeto de código aberto e o fato de ter o nome associado ao Google, em pouco tempo o Android® já estava presente em diferentes dispositivos, como sistema de navegação veicular, *netbooks* e até mesmo painéis multimídias de automóveis (BRITO; OGLIARI, 2012; ANSELMO, 2012).

2.7.1. Arquitetura de Software

Como mencionado anteriormente, o SO Android® consiste em uma pilha de softwares englobada em um sistema operacional baseado no Kernel Linux. Atualmente conta com a versão 3.0 (Android API Level 11 e posteriores), sendo responsável pelo gerenciamento de memória e processamento, realizando a comunicação entre software desenvolvido e o hardware do dispositivo (BRITO; OGLIARI, 2012; LEE, 2011). Para melhor compreensão, a arquitetura do SO Android® é apresentada na Figura 20.



Figura 20 – Arquitetura em camadas dos softwares do SO Android®.

Fonte: Grønli, et al. (ADVANCED INFORMATION NETWORKING AND APPLICATIONS (AINA),IEEE 28TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2014).

O Android Runtime é o conjunto de bibliotecas básicas do sistema, utilizadas pelas Libraries, que são o conjunto de bibliotecas C/C++ disponíveis ao desenvolvedor, por meio do Android Application Framework. As Libraries são utilizadas em diversos componentes e possuem funções específicas, apresentadas a seguir (BRITO; OGLIARI, 2012; LEE, 2011):

- SQLite: gerenciamento de banco de dados relacional disponível para todos os aplicativos;
- 3D Libraries: biblioteca baseada no OpenGL ES 1.0 APIs. Que são recursos de processamento gráfico 3D, presentes no hardware de alguns dispositivos;
- Media Libraries: baseada em PacketVideo's OpenCORE, permitindo a gravação e leitura de vários formatos de mídia;
- LibWebCore: o motor de browser, usado nos navegadores do sistema;
- Surface Manager: gerenciamento de subsistema de display;
- FreeType: renderização de fontes Bitmap e vetorial.

Por fim, os aplicativos são as ferramentas disponibilizadas ao usuário, de forma a não haver prioridade entre aplicativos nativos ou desenvolvidos por terceiros (STEELE, 2011).

2.7.2. Ambiente de Desenvolvimento

Atualmente existem diversas ferramentas de desenvolvimento Android[®], se destacando as IDEs Eclipse[®] e Netbeans[®], por serem disponibilizadas gratuitamente, atingindo a maiores comunidades de desenvolvedores (BRITO; OGLIARI, 2012).

A IDE Netbeans[®] é pioneira na implementação de ambiente visuais de dispositivos móveis, com sua primeira versão lançada em 2000, permitindo o desenvolvimento de aplicações *desktop* Java, móveis e Web e também aplicações HTML5 com HTML, JavaScript e CSS. Esta IDE disponibiliza um grande conjunto de ferramentas para desenvolvedores de PHP e C/C++ (ORACLE CORPORATION, 2013), é gratuita e tem código-fonte aberto, além de uma grande comunidade de usuários em todo o mundo.

Já o Eclipse[®] tem como principal vantagem o apoio da Google e da principal comunidade de desenvolvedores, a Android Developers. A ferramenta disponibiliza um fácil gerenciamento de plug-ins, permitindo um ambiente com inúmeras funcionalidades, além de possuir um excelente editor de código (BRITO; OGLIARI, 2012).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 APRESENTAÇÃO DO SISTEMA

Para uma melhor compreensão do trabalho desenvolvido, o sistema de aquisição e processamento de sinais biológicos está representado de forma simplificada pelo diagrama em blocos da Figura 21, com os principais componentes que foram desenvolvidos para a construção do protótipo.

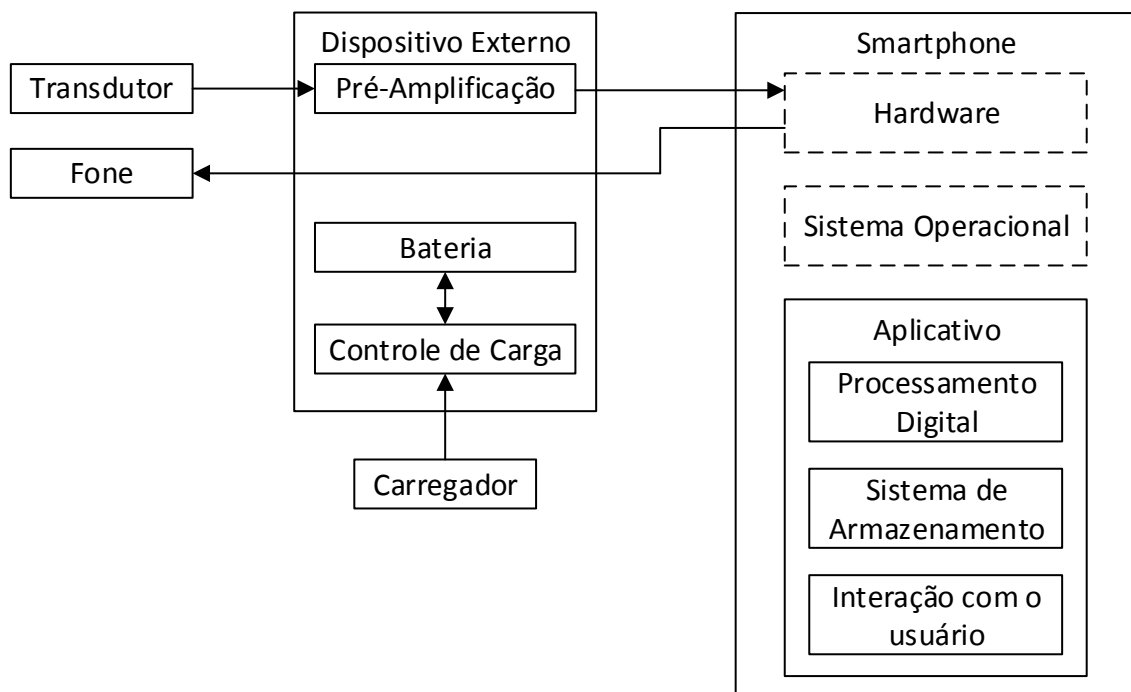


Figura 21 – Diagrama de Blocos do Sistema de Aquisição.
Fonte: Autoria própria.

Inicialmente, a etapa de aquisição do sinal corporal é realizada através de um transdutor, formado por um microfone de eletreto de alta sensibilidade, acoplado a membrana e campana de um estetoscópio convencional.

O dispositivo externo realiza o condicionamento do sinal provindo do transdutor para a entrada de microfone externo do *smartphone*. O sistema amplifica e polariza o sinal do microfone, através de um amplificador de controle automático de ganho, e elimina as componentes de alta frequência através de um filtro *anti-aliasing*. Este dispositivo ainda fornecerá conector para fones de ouvidos, para facilitar a

auscultação dos sons corporais no momento da captação, de modo a tornar um dispositivo robusto e de fácil mobilidade. Por se tratar de um dispositivo portátil, este será alimentado por uma bateria de íons de lítio que possui uma melhor durabilidade, fornecendo o nível de carga através de um dispositivo de controle de carga, que efetuará também a recarga do dispositivo através de um carregador externo.

Ao receber o sinal proveniente do dispositivo externo, o hardware do *smartphone* efetuará a conversão do sinal analógico para digital, permitindo o sistema operacional acessar o canal do microfone na forma de dados. A partir dos dados acessados pelo sistema operacional, o aplicativo a ser desenvolvido realizará o processamento digital do sinal de entrada, permitindo que o usuário, através de uma interface dinâmica, selecione um determinado filtro para o sinal de modo a enfatizar o som corporal a ser analisado, podendo ser sons cardíacos, pulmonares e intestinais. O som processado será enviado pelo aplicativo ao sistema de áudio do aparelho para que seja convertido em sinal analógico para que o usuário possa ouvi-lo usando fones de ouvido conectados ao dispositivo externo.

Assim, para promover um melhor diagnóstico a partir do sinal obtido, as auscultações poderão ser armazenadas de modo a incluir estes resultados em um prontuário médico, permitindo ao usuário criar um prontuário e salvar os dados no nome do paciente, com data e local da auscultação, para posteriormente ouvir e visualizar os sons obtidos.

A intenção é desenvolver um dispositivo externo simples e de baixo custo para fornecer um sinal adequado, através de um cabo com conexão padrão de entrada e saída de áudio, aproveitando a conexão de entrada existente nos *smartphones*, permitindo a leitura do sinal corporal.

3.2 MATERIAIS

3.2.1 Dispositivo Externo

Para aquisição do sinal foi escolhido o microfone de eletreto da Panasonic, modelo WM-61A, que possui alta sensibilidade na faixa de frequências de 20 a 20kHz,

baixa tensão de operação (2 V), baixo custo e de pequenas dimensões, como mostra a Figura 22 (PANASONIC CORPORATION, 2011). Também foi utilizado um estetoscópio convencional, possibilitando adaptações com o microfone, afim de melhorar a captação dos sons corporais.

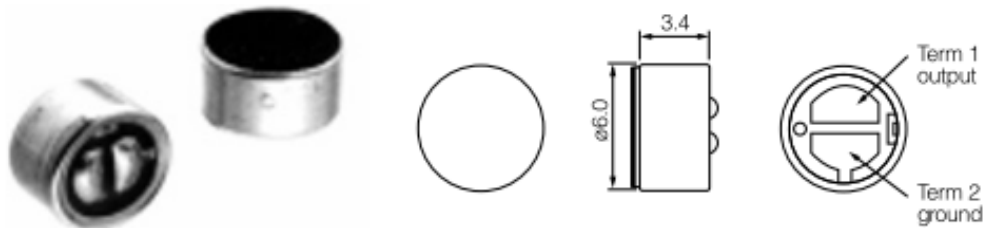


Figura 22 – Microfone de Eletreto WM-61A.
Fonte: Panasonic (2011).

O principal componente para construção do dispositivo externo é o amplificador de áudio para o microfone MAX9814 da Maxim Integrated Products, ideal para aplicações de comunicação celular e alta qualidade para gravadores portáteis, sendo consideradas as seguintes características relevantes para o projeto (MAXIM INTEGRATED, 2009):

- Controle Automático de Ganho (AGC);
- Três ajustes de ganho (40dB, 50dB, 60dB);
- Tensão de alimentação na faixa de 2.7V a 5.5V;
- Baixa densidade de ruído ($30\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$);
- Baixa distorção harmônica total (THD típico de 0,04%);
- Polarização (em 2V) de microfone com baixo ruído;
- Encapsulamento TDFN (3mm x 3mm) com 14 pinos.

Devido ao encapsulamento TDFN, foi necessário o uso de um adaptador SMD (DDFN-14 para DIP-18), o modelo IPC0084 da Proto Advantage, possibilitando implementações em matriz de contato e placas de circuito impresso.

Para implementação dos filtros de condicionamento de sinal foi utilizado o software FilerPro *Desktop*, disponibilizado pela Texas Instruments, utilizando o componente TLV274, que possui quatro amplificadores operacionais com as seguintes características fundamentais para o projeto (TEXAS INSTRUMENTS, 2004): Alta Taxa de excursão ($2.4\text{ V}/\mu\text{s}$);

- Tensão de alimentação na faixa de 2,7 V a 16 V;

- Baixa densidade de ruído ($39 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$);
- Polarização de entrada de 1 pA ;
- Encapsulamento de pequenas dimensões.

No sistema de alimentação foi utilizado uma bateria de íons de lítio com tensão de $3,7 \text{ V}$, juntamente com o dispositivo que efetua o controle de carga e recarga da bateria, ambos apresentados na Figura 23.

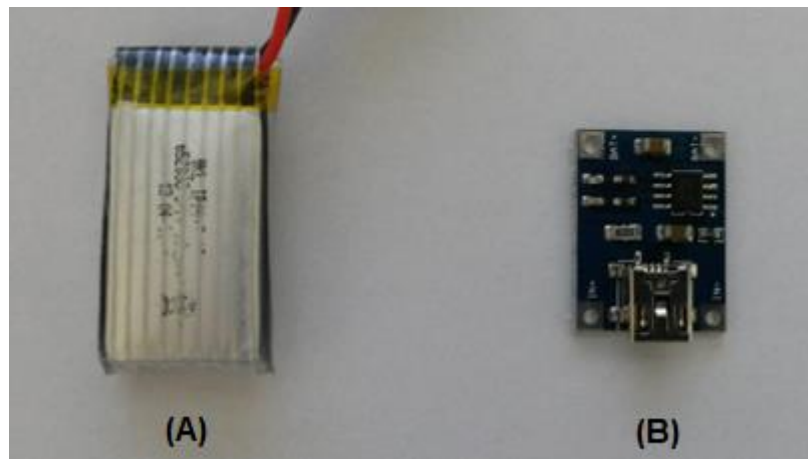


Figura 23 – Sistema de alimentação: (a) Bateria íons de lítio e (b) Dispositivo de recarga.
Fonte: Autoria própria.

Para a elaboração do layout da PCI do protótipo, foi utilizado o software EAGLE 7.1, desenvolvido pela empresa CadSoft Computer, devido a distribuição de uma versão livre e grande quantidade de materiais de apoio disponíveis. Na confecção, foi utilizado diversos componentes SMD e placa de fibra de vidro com dupla face cobreada, com o objetivo de diminuir as interferências eletromagnéticas.

3.2.2 Ferramentas para desenvolvimento do aplicativo

Para o desenvolvimento do aplicativo, foi necessário, primeiramente, a construção de um ambiente padrão de desenvolvimento Java, sendo este o JDK (Java Development Kit), o kit de desenvolvimento Java padrão e o Android SDK, e o kit de desenvolvimento Android® padrão. A IDE de desenvolvimento escolhida foi o Eclipse®, devido ao fato do próprio Google® e do principal site de desenvolvimento Android® (developer.Android.com) indicarem esta ferramenta que, ainda, tem como vantagem

a facilidade de gerenciamento de plug-ins, possibilitando um ambiente configurável para um grande número de funcionalidades, além de possuir um excelente editor de código comparado a outros compiladores (BRITO; OGLIARI, 2012).

Para testes reais do funcionamento do aplicativo, também foi utilizado um *smartphone*, o Galaxy Grand Duos da Samsung®, com a versão 4.2.2 (Jelly Bean) do sistema operacional Android®. O aparelho é equipado com um processador dual core de 1,3 GHz de clock e resolução de 480x800 pixels na tela de 5 polegadas.

3.3 METODOLOGIA

3.3.1 Dispositivo Externo

Como já mencionado, na aquisição de sinal utilizamos o microfone adaptado ao tubo de látex de um estetoscópio convencional, constituindo o transdutor que entra em contato direto com o corpo do paciente, como mostra a Figura 24. A alimentação e captação do sinal do microfone é feita pela conexão de um cabo blindado com o dispositivo externo, afim de diminuir os efeitos da interferências eletromagnética.

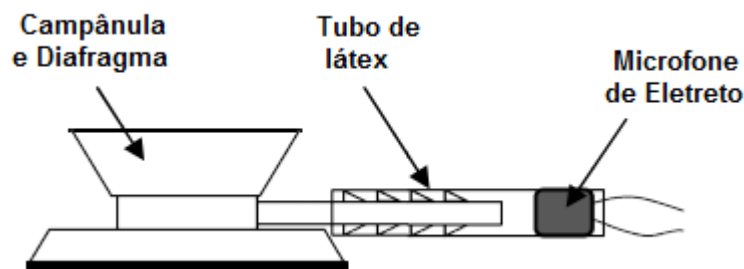


Figura 24 – Projeto de implementação do transdutor.

Fonte: Prasanga, *et al* (IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY, 2011).

Como a amplificação do sinal do microfone é a principal função do dispositivo externo, os estudos se iniciaram na compreensão do funcionamento do amplificador MAX9814. O dispositivo foi soldado no adaptador SMD para possibilitar

a implementação em matriz de contato, e para testes iniciais, foi utilizado o esquemático sugerido pelo datasheet do fabricante, como mostra a Figura 25.

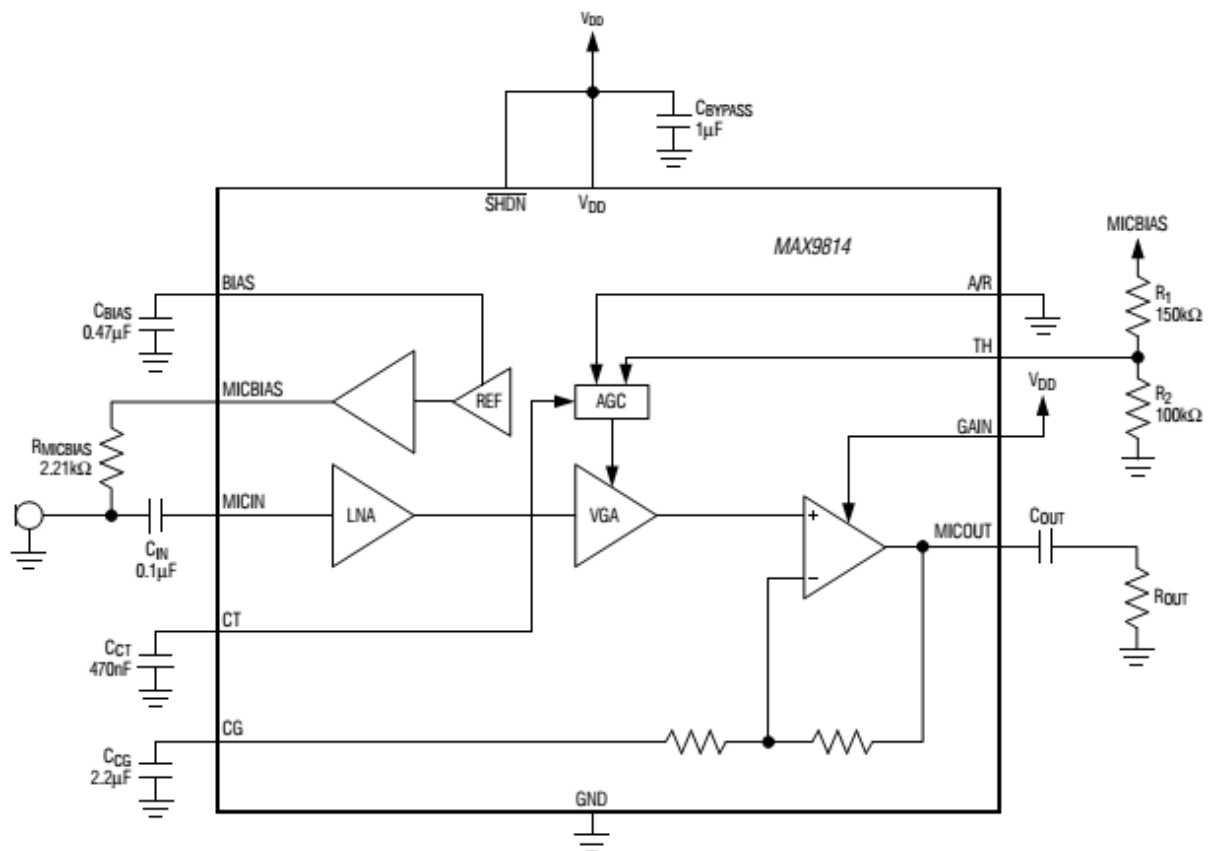


Figura 25 – Circuito sugerido para implementação do amplificador.
Fonte: Maxim Integrate (2009)

Após a amplificação do sinal, visto que o mesmo apresentava um offset de 500mV, foi necessário grampear o sinal em um nível mais elevado. Dessa maneira, foi implementado um buffer como mostra a Figura 26, fornecendo um sinal deslocado em $V_{cc}/2$ para o filtro *antialiasing*.

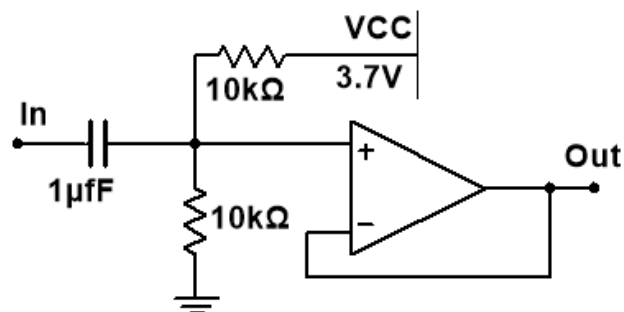


Figura 26 – Buffer para grampear o sinal em $V_{cc}/2$.
Fonte: Autoria própria.

Utilizando o software *FilterPro Desktop*, foi implementado um filtro *antialiasing* Butterworth de 4ª ordem com frequência de corte em 1,5kHz. O circuito do filtro é apresentado na Figura 27.

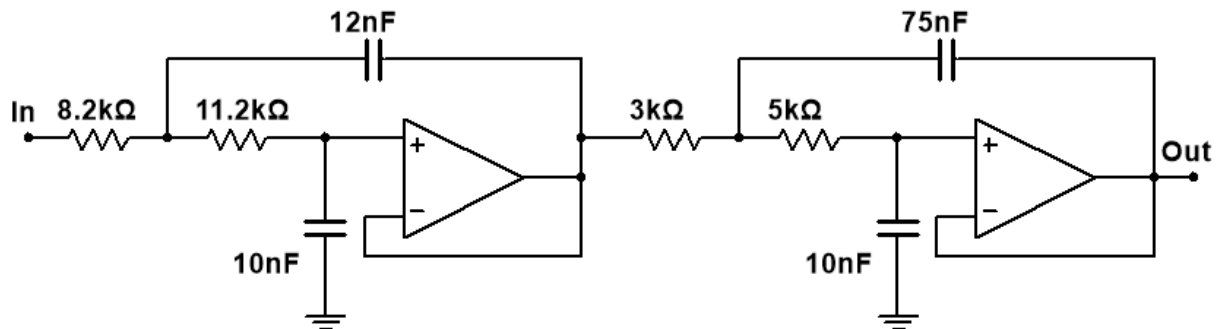


Figura 27 – Filtro antialiasing.
Fonte: Autoria própria.

Para fornecer um nível de sinal adequado à entrada de áudio do *smartphone*, foi utilizado um circuito de condicionamento de sinal com o intuito de ajustar o melhor ganho através de um potenciômetro, como mostra a Figura 28.

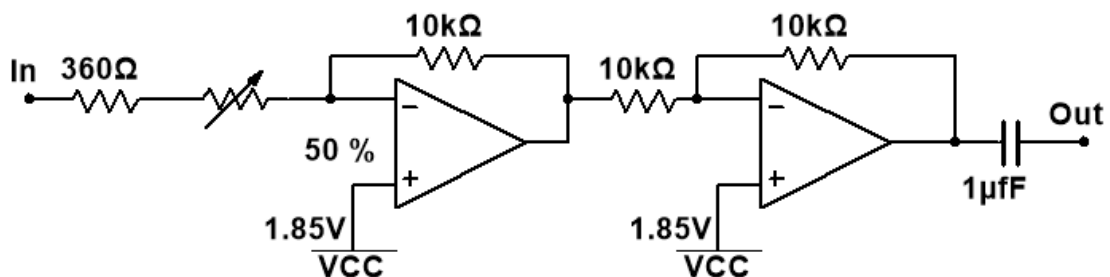


Figura 28 – Circuito de condicionamento de sinal desenvolvido.
Fonte: Autoria própria.

Como foi utilizado o conceito de GND virtual para evitar o uso de tensão negativa de alimentação para os circuitos de condicionamento, foi necessário desenvolver um circuito para fornecer a tensão $V_{cc}/2$ (GND virtual). Este circuito é apresentado na Figura 29.

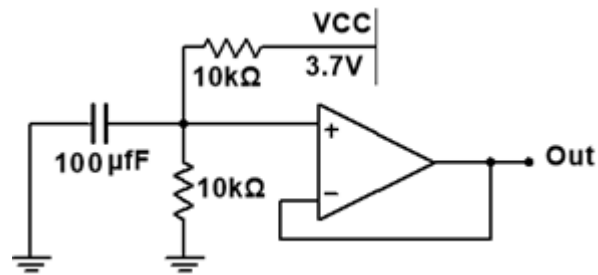


Figura 29 – Circuito de alimentação Vcc/2.
Fonte: Autoria própria.

Concluindo os circuitos que realizam o condicionamento de sinal, inicia-se o desenvolvimento de layout de uma PCI utilizando componentes SMD, afim de minimizar o tamanho da unidade externa e reduzir os ruídos causado por interferência eletromagnética. Antes de começar a implementação do esquemático, fez-se necessário a inclusão de uma biblioteca com componentes específicos do projeto no software Eagle, como mostra a Figura 30.

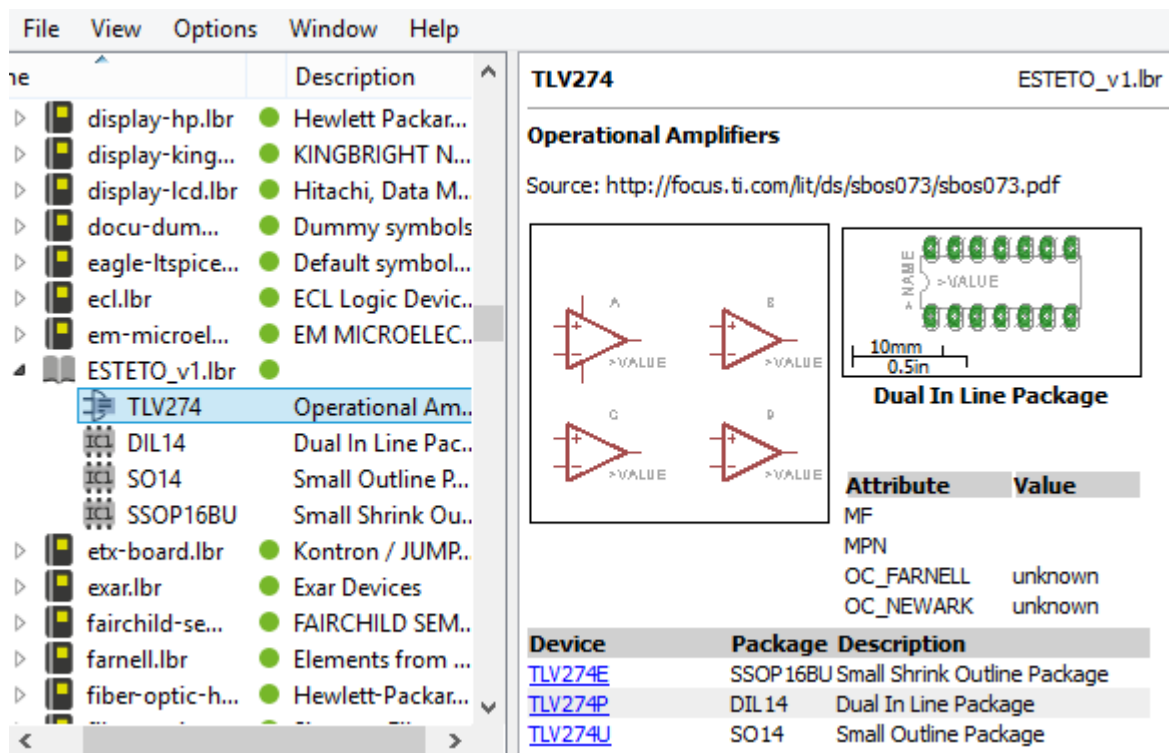


Figura 30 - Inclusão da biblioteca ESTETO_v1 no software Eagle.
Fonte: Autoria própria.

A fase seguinte foi a captura do esquemático, sendo adicionado mais alguns capacitores de acoplamentos e jumpers entre os circuitos, permitindo a realização de testes da influência de cada etapa do condicionamento de sinal. O esquemático implementado é apresentado no Apêndice A. Assim, foi desenvolvido o

serem apresentados na tela, necessitando de um planejamento nos layouts, pois telas com muitos componentes visuais refletem no uso de barras de rolagens, dificultando consideravelmente o uso da aplicação.

Dessa maneira, foi projetado uma interface dinâmica com diversas telas que apresentam de maneira simples os principais recursos a serem utilizados em cada etapa do aplicativo. Outras funcionalidades menos utilizadas, como acesso a edição de informações do prontuário, estão ocultas dentro de menu de contexto, que quando pressionado apresenta um menu *pop-up* semelhante ao que existe na programação *desktop*. A interface ainda deve apresentar notas de erros, caso necessário, informando o usuário a falta de campos preenchidos que podem comprometer o funcionamento do aplicativo.

A tela principal é a primeira a ser apresentada ao executar o aplicativo, permitindo o acesso às principais funções através de três botões: Realizar Auscultação, Acessar Prontuário e Criar Prontuário.

Supondo a primeira inicialização do programa pelo usuário, a função a ser selecionada é Criar Prontuário, que exibe a tela onde entra as informações referentes ao paciente e relevantes para prontuário médicos, como nome, sexo, idade, estado civil, procedência, religião, grupo sanguíneo, nacionalidade, raça e outras informações.

Na função Realizar Auscultação, abre uma nova tela permitindo a seleção do paciente a ser analisado, através de um campo inteligente de autopreenchimento dos prontuários já cadastrados. Em seguida, é definido qual auscultação será enfatizada durante a gravação, como também a escolha entre dois métodos de gravação: 1 - manual, que permite quando o usuário irá iniciar e finalizar a auscultação; ou 2- automática, que permite definir um determinado tempo de gravação do sinal. Com o paciente selecionado, o usuário clica em no botão “Avançar” e a tela de Gravação é acessada, disponibilizando botões representados por ícones dinâmicos com as seguintes funções: iniciar e finalizar gravação, ouvir auscultação gravada e acessar o prontuário do paciente.

Para um melhor acesso às informações, a tela Acessar Prontuário apresenta um campo de pesquisa inteligente com autopreenchimento para o nome do paciente, listando os possíveis nomes. Desta forma, o usuário pressiona o botão “Avançar” e a tela Prontuário é exibida com os dados do paciente em um layout com barra de rolagem, permitindo a visualização de todas as informações. Para melhorar

a praticidade, foi adicionado no menu de ferramentas da tela, botões que possibilitando alternar para tela de Realizar Auscultação com o paciente já selecionado, acessar as auscultações gravadas do paciente.

3.3.2.2 Processamento Digital de Sinal

O sinal proveniente do dispositivo externo é acessado pelo SO Android®, através da *framework* multimídia (*package Android.midia*), que inclui suporte para a captura e codificação para uma variedade de formatos comuns de áudio, e ainda possibilita realizar efeitos de equalização. Utilizando-se das classes e interfaces disponibilizadas no pacote, foi possível realizar as gravações de áudio (manual e automático), e salvar o arquivo para reprodução posterior. Para uma melhor organização dos dados de áudio, os mesmos são salvos em diretórios específicos com o nome dos pacientes, incluindo data e horário da realização da ausculta no nome do arquivo através de uma *string* que é atualizada pela classe *date* do Android®. Infelizmente, não foi encontrado qualquer guia ou exemplo de aplicação de processamento digital de sinais de áudio utilizando-se a *framework* multimídia do SO Android®.

Dessa maneira, iniciou-se os estudos em relação a compreensão de processamento digital de sinais em projetos Java, o que foi relativamente fácil em relação aos projetos Android®, devido a maior disponibilidade de material. Nas filtragens de sinais é utilizado uma biblioteca que realiza a Transformada Discreta de Fourier, onde a biblioteca JTransforms é a base da maioria dos projetos desenvolvidos. A limitação foi encontrada no momento de reescrever os códigos no projeto Android®, pois a biblioteca JTransforms é escrita puramente para Java, além de utilizar-se de diversas classes de *framework* multimídia do Java que não estão presentes no projeto Android®.

Por fim, a solução encontrada para filtrar os sinais corporais e permitir o usuário ouvir os sinais simultaneamente foi a partir da utilização da biblioteca TarsosDSP (construída a partir da JTransforms), que permite o processamento de áudio em tempo real em projetos Java e, recentemente, com a versão 2.0 se tornou compatível com os projetos Android®. Importando alguns projetos de código aberto

disponibilizado pelo autor da biblioteca, foi possível compreender o funcionamento da biblioteca, que utiliza-se de filtros IIR para filtragem de sinais.

4. RESULTADOS

4.1. DISPOSITIVO EXTERNO

De acordo com os passos descritos no Capítulo 3, inicialmente implementamos o transdutor apresentado na Figura 32, adaptando o microfone ao tubo de látex de um estetoscópio.



Figura 32 – Transdutor do protótipo.
Fonte: Autoria própria.

Na confecção da PCI foi utilizado tinta foto sensível para transferência do layout, que garantiu excelentes trilhas ao final do processo de corrosão, possibilitando a implementação com componentes SMDs. A Figura 33 apresenta os resultados de cada etapa. Mesmo procurando todos os recursos disponíveis para confecção de uma PCI de qualidade, a mesma apresentou uma grande quantidade de ruídos causadas por interferências externas. Buscou-se algumas soluções implementando-se algumas blindagens a placa, mas sem sucesso. A conexão do microfone diretamente a entrada de áudio do *smartphone* apresentou uma ausculta muito melhor que utilizando-se a PCI.

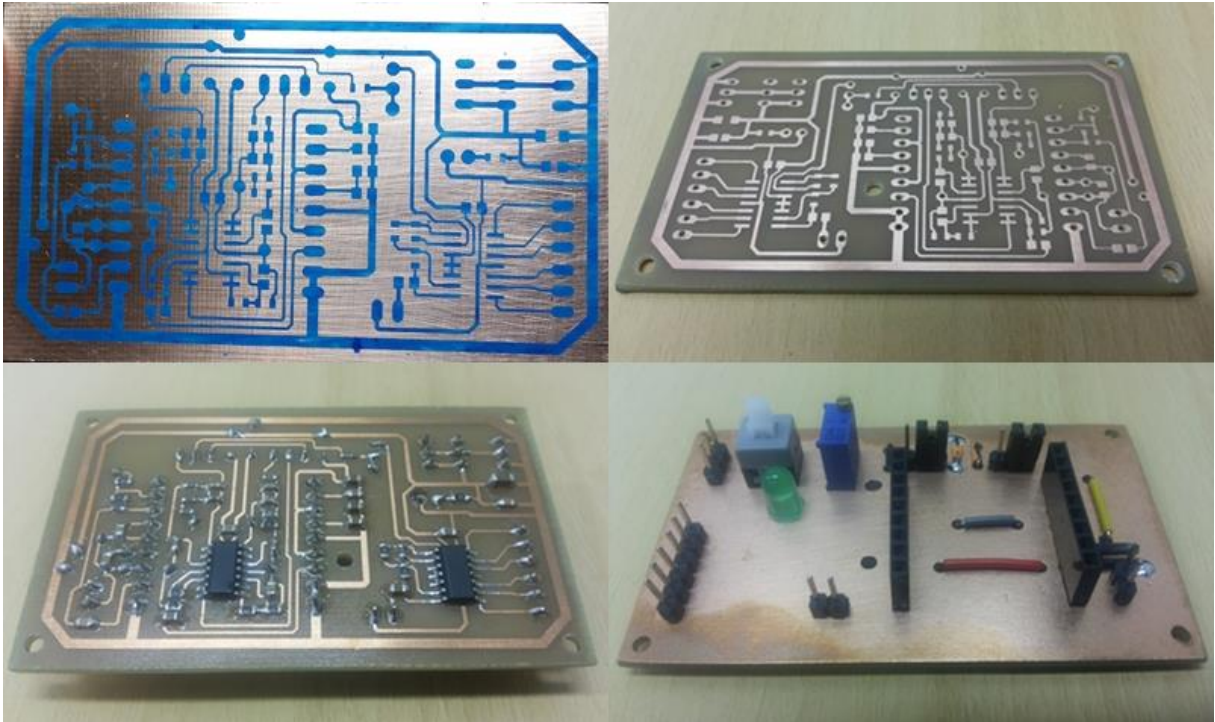


Figura 33 – Etapas da confecção da PCI.
Fonte: Autoria própria.

4.2. APLICATIVO

4.2.1 Interface Do Usuário

Com o início do desenvolvimento do aplicativo, a primeira etapa foi elaborada utilizando-se apenas os recursos nativos do SO Android®. As Figuras 34 e 35 apresentam os *layouts* desenvolvidos para interface com o usuário, lembrando que nesta etapa também foi possível realizar a gravação e a reprodução dos sons corporais, mas sem a possibilidade de realizar a filtragem dos sinais a partir das técnicas de processamento digital.

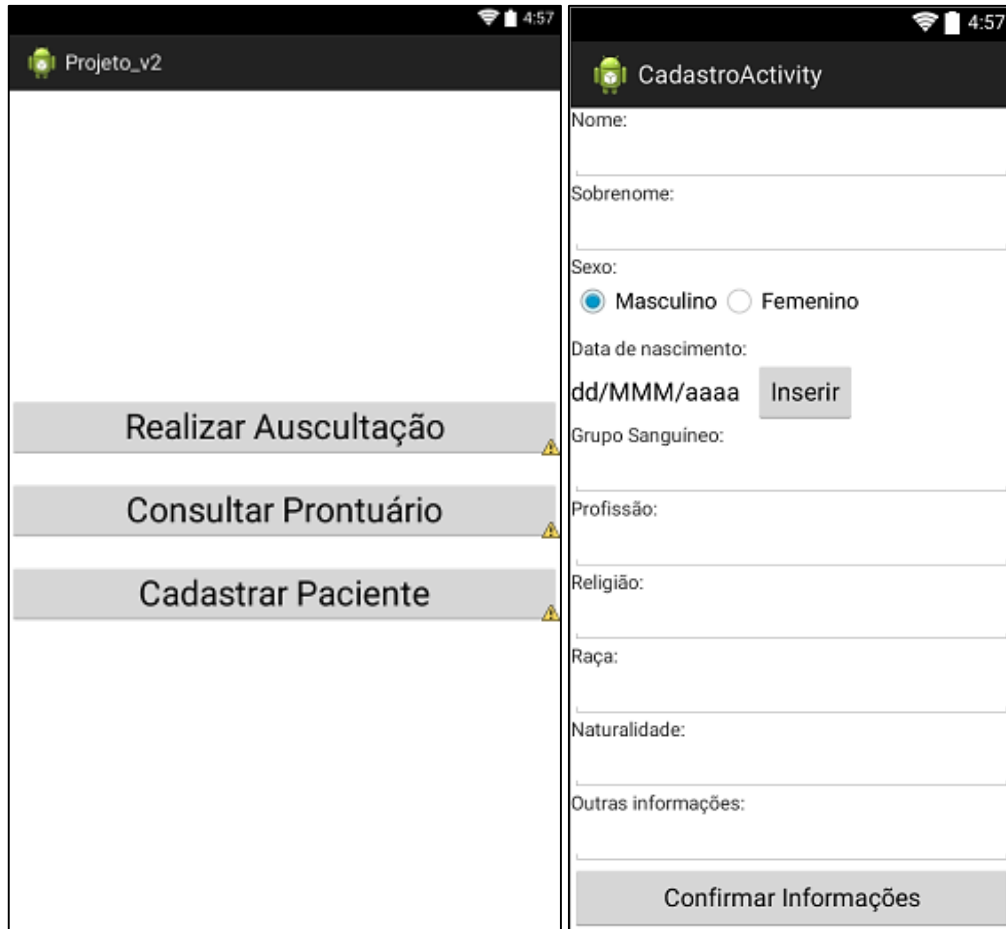


Figura 34 – Tela Principal e de Cadastro do aplicativo.
Fonte: Autoria própria.

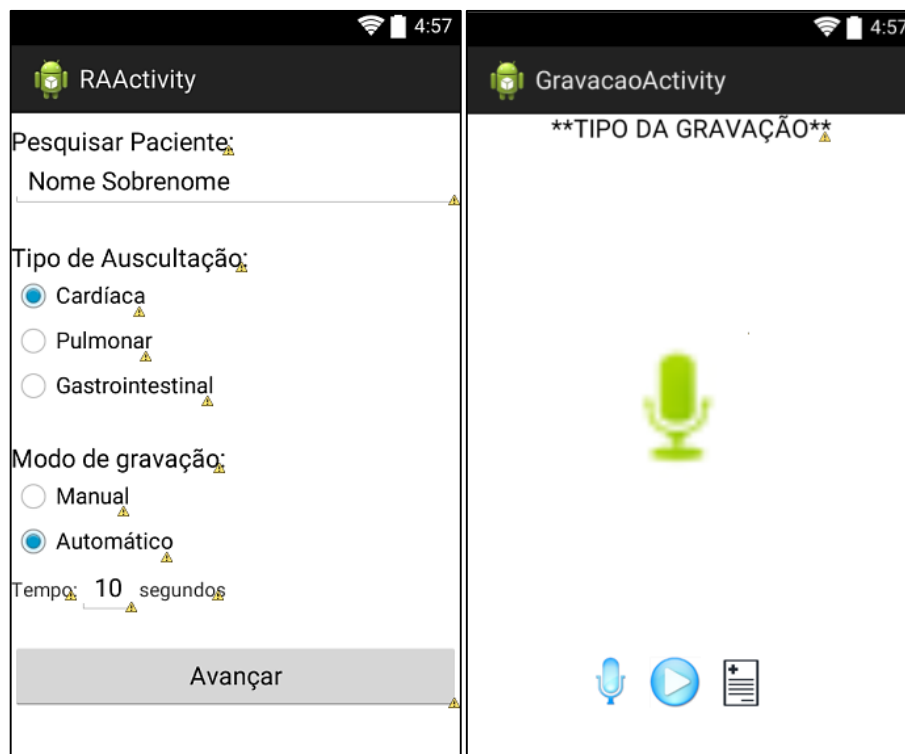


Figura 35 - Tela para configuração e realização da Ausculta.
Fonte: Autoria própria.

4.2.2 Processamento Digital de Sinal

A partir do desenvolvimento da interface, diversos testes foram realizados com o intuito de verificar o funcionamento do processamento digital de sinal a partir da biblioteca TarsosDSP no SO Android®. Para tal, a resposta em frequência dos filtros foi avaliada com o uso de um gerador de funções programável. Um osciloscópio digital foi utilizado para obter a resposta em frequência do sinal na saída do filtro passa-baixa, proveniente dos fones de ouvido. As Figuras 36 e 37 apresentam a resposta dos filtros IIR em diferentes faixas de frequência.

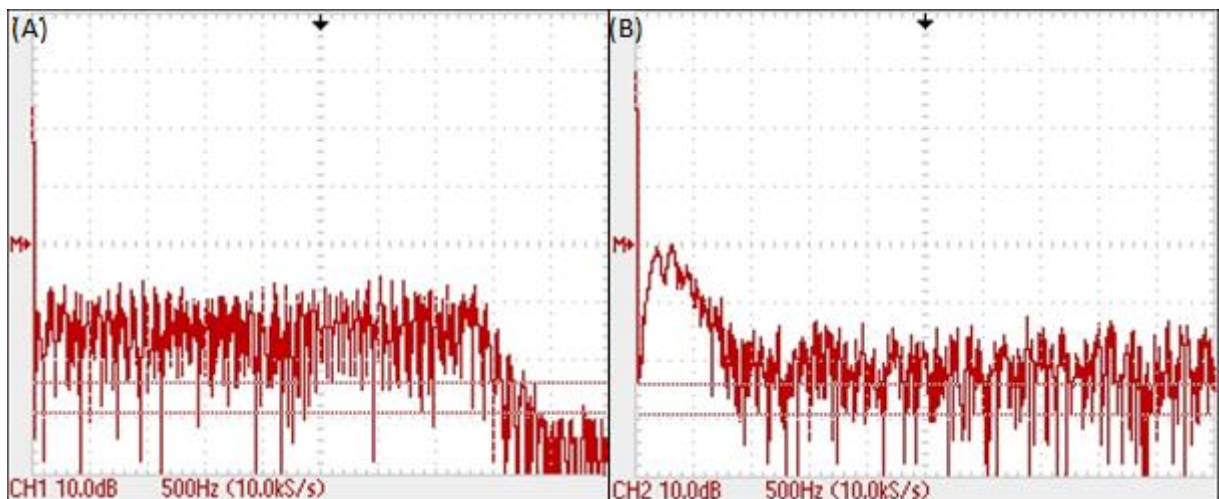


Figura 36 – Resposta em frequência para frequência de corte de: (a) 4 kHz e (b) 500Hz.
Fonte: Autoria própria.

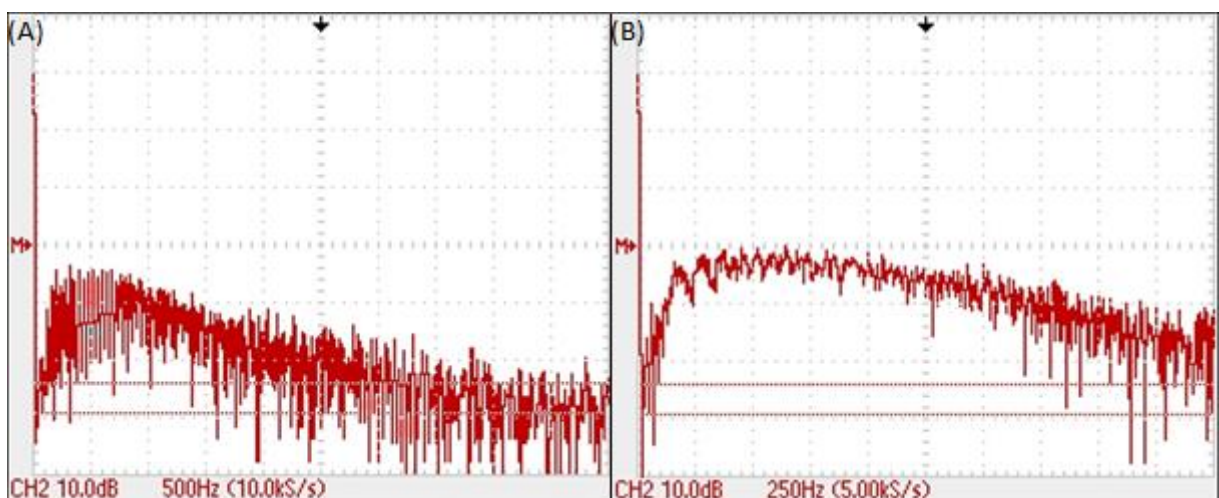


Figura 37 – Resposta em frequência para frequência de corte de 1 kHz na margem de: (a) 5 kHz e (b) 2.5 kHz
Fonte: Autoria própria.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Primeiramente, é necessário recordar os objetivos, geral e específicos, definidos no início do trabalho. O objetivo geral consistia no desenvolvimento de um sistema de baixo custo capaz de efetuar a aquisição e o armazenamento de sinais corporais, utilizando apenas um dispositivo externo conectado a um *smartphone* com o aplicativo desenvolvido. Enquanto os objetivos específicos tratavam do estudo das teorias de aquisição e amplificação de sinais corporais para desenvolvimento do dispositivo externo, e implementação de filtros digitais a partir das técnicas de processamento digital de sinais no SO Android®, necessárias para desenvolvimento do aplicativo.

De maneira geral, é possível afirmar que todos os objetivos específicos foram atingidos. Vale ressaltar que o estudo das teorias de aquisição e amplificação dos sinais biológicos, que permitiram o desenvolvimento do dispositivo externo, e apesar de não ser utilizado no protótipo final, o mesmo proporcionou um aprofundamento das técnicas estudadas. Com destaque, o estudo das técnicas de processamento digitais, mais especificamente para o SO Android®, que não há muita abordagem por parte da literatura.

Com o desenvolvimento do sistema de aquisição e processamento de sinais e dos circuitos eletrônicos necessários para construção do dispositivo externo, foi possível alcançar parcialmente o último dos objetivos específicos, que dizia a respeito à implementação eficaz do protótipo de um estetoscópio digital utilizando *smartphone*, de modo que alguns testes funcionais mostraram que é possível empregar as diversas técnicas de processamento digitais de sinais no SO Android®, e não apenas se limitando a filtragem de sinais, possibilitando a implementação de outras técnicas de PDS. Contudo, vale lembrar também que foi determinado como objetivo que se obtivesse um parecer da avaliação clínica realizada por um profissional da saúde, o qual não foi possível de realizar, devido a falhas no gerenciamento de tempo durante o desenvolvimento do trabalho e dificuldades na aplicação das técnicas de PDS no SO Android®, que acabaram por atrasar a finalização do protótipo e impossibilitar a sua avaliação diante aos profissionais da saúde.

Dessa forma, pode-se concluir que o objetivo geral foi alcançado, com ressalvas de que ainda são necessários mais alguns testes e implementação para que seja possível definir de fato se o protótipo desenvolvido cumpre com todas as exigências de desempenho existentes em relação a um equipamento para fins médicos. Com isso, é necessário identificar as principais dificuldades encontradas durante a realização do trabalho, que residem no fato deste se encontrar envolto em teorias, como a de processamento digital de sinais em *smartphones*, que não fazem parte da matriz curricular do curso de engenharia elétrica. Apesar da disciplina de Computação Móvel ser ofertada pela Universidade, são abordados apenas os métodos de interface visual, persistência de dados e a utilização de recursos da web (*webservices*).

Assim, acaba-se evidenciando as principais falhas cometidas no desenvolvimento do trabalho, que consistem em erros no gerenciamento de tempo e de recursos. Por se tratar de um trabalho com algumas de suas fundamentações teóricas não apresentadas durante a graduação, poderia ter destinado maior tempo para o seu estudo e compreensão, principalmente pela falta de materiais na literatura. As falhas a respeito do gerenciamento de recursos se deram durante a aquisição dos componentes necessários para o desenvolvimento dos circuitos eletrônicos do dispositivo externo, que também acabaram por atrasar o trabalho devido à demora na entrega de alguns componentes, e até mesmo a não concretização da primeira compra, que exigiu que outras aquisições fossem realizadas, além de diversos produtos não corresponderem as especificações dadas pelos fornecedores.

Todo o processo de realização do trabalho acabou por levar a vários aprendizados, como a obtenção de novos conhecimentos relacionados a teorias antes não estudadas, ao aprimoramento de técnicas já desenvolvidas durante a graduação, principalmente na confecção das PCI, a familiarização com novos softwares, como o Eagle® e o Eclipse®, e as técnicas de programação até então não estudadas, como as linguagens em Java e XML.

Por fim, é necessária uma análise final sobre a relevância do trabalho desenvolvido dentro do meio acadêmico, e do possível aprimoramento do protótipo. Como já mencionado anteriormente, a engenharia biomédica vem avançando consideravelmente nos últimos anos, e estudos voltados a aplicações na área possuem uma importância considerável para continuidade desse desenvolvimento,

principalmente pela inovação da utilização do *smartphone* como ferramenta de diagnóstico clínico.

Embora já existam alguns produtos similares que foram apresentados em 2014, o desenvolvimento de um protótipo similar pode abranger técnicas de processamento digital diferenciadas e com a utilização de outros recursos disponíveis no *smartphones*, podem representar grandes inovações nessa área, principalmente em relação a telemedicina. Assim, torna-se atrativo futuros projetos que envolvam o reconhecimento dos sons auscultados, identificando automaticamente possíveis distúrbios e patologias através das técnicas de inteligência artificial, que irão interferir diretamente no modo em que é feita as avaliações e procedimentos clínicos.

REFERÊNCIAS

- ALDHABAN, F. **Exploring the adoption of Smartphone technology: Literature review**. In: PROCEEDINGS OF PICMET '12: TECHNOLOGY MANAGEMENT FOR EMERGING TECHNOLOGIES, 2012, Vancouver, BC. Vancouver, BC: IEEE, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6304292>>. Acesso em: 03 out. 2014.
- ANDROID DEVELOPERS. API Guide Android. **Site Android Developers**, 2014. Disponível em: <<http://developer.Android.com/guide/index.html>>. Acesso em: 05 nov. 2014.
- ANSELMO, Fernando. **Android Em 50 Projetos**. Florianópolis: Visual Books, 2012.
- APPLE. Apple Watch. **Site da Apple**, 2014. Disponível em: <<https://www.apple.com/br/watch/>>. Acesso em: 02 nov. 2014.
- AZOI, Inc. Case Wello. **Site da Azoi**, 2014. Disponível em: <<https://azoi.com/>>. Acesso em: 04 nov. 2014.
- BARROS, Ivan D. C. **Exame do Abdome**. 2011. Universidade Federal Fluminense. Faculdade de Medicina. Rio de Janeiro, 2011.
- BBC NEWS. First Smartphone Turns 20: Fun Facts About Simon. **BCC Technology**, p. 15, jul. 2014. Disponível em: <<http://www.bbc.com/news/technology-28802053>>. Acesso em: 26 Outubro 2014.
- BERTOTTI, Fábio L. **Sistema de biotelemetria passiva e técnica de medição para aquisição da impedância elétrica de tecido post mortem**. 2010.[s.n.]. Curitiba, 2010.
- BRITO, Robison C.; OGLIARI, Ricardo D. S. **Android - Do Básico ao Avançado**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2012.
- BURDETTE, Steven D.; HERCHLINE, Thomas E.; OEHLER, Richard. Practicing Medicine in a Technological Age: Using Smartphones in Clinical Practice. **Clinical Infectious Diseases**, Dayton, v. 47, n. 1, p. 117-122, jul. 2008. ISSN 1537-6591. Disponível em: <<http://cid.oxfordjournals.org/content/47/1/117.full>>. Acesso em: 03 out. 2014.
- CARVALHO, V. O.; SOUZA, G. E. C. O estetoscópio e os sons pulmonares: uma revisão da literatura. **Revista Médica de São Paulo**, São Paulo, v. 86, n. 4, p. 224-231, out. 2007. Disponível em: <http://medicina.fm.usp.br/gdc/docs/revistadc_128_224-231%20864.pdf>. Acesso em: 31 out. 2014.

COOPER HEWITT, Smithsonian D. M. **Smithsonian Institution**. Laptop Computer Prototype, "GRiD Compass". Disponível em: <<https://collection.cooperhewitt.org/objects/18732295/>>. Acesso em: 22 out. 2014.

DAHNIKE, Mark. The Compaq Portable. **Byte**, New York, NY, v. 8, p. 30-36, jan. 1983. Disponível em: <<http://blog.modernmechanix.com/byte-reviews-the-compaq-first-pc-clone/>>. Acesso em: 28 out. 2014.

DAVIES, Trevor. NOKIA 7110: The Phone That Changed The World. **conversations.nokia.com**, 20 out. 2011. Disponível em: <<http://conversations.nokia.com/2011/10/20/nokia-7110-the-phone-that-changed-the-world/>>. Acesso em: 2014 out. 03.

ECCLES, John C. **O Conhecimento do Cérebro**. 1. ed. São Paulo: Atheneu, 1980.

FERRAZ, Alberto P. et al. A história do estetoscópio e da ausculta cardíaca. **Revista Médica De Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, v. 21, n. 4, p. 479-485, out. 2011. ISSN 2238-3182. Disponível em: <<http://www.medicina.ufmg.br/rmmg/index.php/rmmg/article/viewFile/461/447>>. Acesso em: 28 out. 2014.

GARCIA, Eduardo A. C. **Biofísica**. 2002. 387p. 1 - Sarvier. São Paulo, 2002.

GAVRIELY, N.; NISSAN, M.; RUBIN, A. H. Cugell DW. Spectral characteristics of chest wall breath sounds in normal subjects. **Thorax**, v. 50, n. 12, p. 1292-1300, jul. 1995.

GEDDES, L.A. Birth of the stethoscope. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, v. 24, n. 1, p. 84-86, jan. 2005. ISSN 0739-5175. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1384105>>. Acesso em: 31 out. 2014.

GEDDES, L.A. Engineering contributions to the life sciences. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, v. 25, n. 4, p. 88-91, Julio-Agosto 2006. ISSN 0739-5175. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1657796>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

GOEBEL, Stefan. **An Overview of Battery Development placed in a historical Context and future Aspects**. In: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TELECOMMUNICATION - ENERGY SPECIAL CONFERENCE (TELESCON), 2009, Vienna, Austria. Vienna, Austria: VDE, 2009. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5758949>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

GRETZINGER, D. T. K. **Analysis of Heart Sounds and Murmur by Digital Signal Manipulation (Tese)**. 1996.[s.n.]. Canada: University of Toronto, 1996.

GRØNLI, T.-M. et al. **Mobile Application Platform Heterogeneity: Android vs Windows Phone vs iOS vs Firefox OS**. In: ADVANCED INFORMATION NETWORKING AND APPLICATIONS (AINA), IEEE 28TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 2014, Victoria, BC. Victoria, BC: IEEE, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6838724>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

HAIBIN, Wang et al. **Heart Sound Analysis based on Autoregressive Power Spectral Density**. In: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIGNAL PROCESSING SYSTEMS, 2010, Dalian. Dalian: IEEE, 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5555823>>. Acesso em: 26 out. 2014.

IDC, International D. C. **Smartphone OS Market Share, Q2 2014**. 2014.[s.n.], 2014. Disponível em: <<http://www.idc.com/prodserv/smartphone-os-market-share.jsp>>. Acesso em: 31 out. 2014.

IFEACHOR, E. C.; W., Jervis B. **Digital Signal Processing: A Practical Approach**. 1. ed. New York: Addison-Wesley Publishing Company, 2007.

IGARACHI, Massaki D. O. **Utilização de Filtros Para Remoção de Interferência de Sinais de Eletrocardiograma**. 2007. 67p.[s.n.]. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://professor.ufabc.edu.br/marcio.eisencraft/Artigos/TGIMassaki.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2014.

ISHIKAWA, Y.; TAKATA, M.; JOE, K. **Constitution and phase analysis of alpha waves**. In: BIOMEDICAL ENGINEERING INTERNATIONAL CONFERENCE, 2012, Ubon Ratchathani. Ubon Ratchathani: IEEE, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6465482>>. Acesso em: 06 nov. 2014.

KIMBLER, K. App store strategies for service providers. In: 14TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENCE IN NEXT GENERATION NETWORKS (ICIN), 2010, Berlin. Berlin: IEEE, 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=5640947>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

KJELDSKOV, Jesper. Mobile Computing.

KUO, Sen M.; LEE, Bob H.; TIAN, Wenshun. **Real-Time Digital Signal Processing**. 1. ed. Chichester, Inglaterra: John Wiley & Sons, Ltd., 2013.

LEE, Wei-Meng. **Beginning Android™ Application Development**. Indianapolis, IN: Wiley Publishing, Inc., 2011.

LIU, Ya-Lin; TSENG, Fang-Mei. **Combining scenario analysis with the diffusion model and the competitive model for analyzing the development of the Smartphone operating system**. In: PROCEEDINGS OF PICMET '12:

TECHNOLOGY MANAGEMENT FOR EMERGING TECHNOLOGIE, 2012, Vancouver, BC. Vancouver, BC: IEEE, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6304175>>. Acesso em: 03 out. 2014.

LOUZADA, Daniel R. **Desenvolvimento de um transdutor de pressão de alta sensibilidade, baseado no fenômeno de Magnetoimpedância Gigante, para aplicação biomédica.** 2006. 107p.[s.n.]. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/Busca_etds.php?strSecao=resultado&nrSeq=9237@1>. Acesso em: 29 out. 2014.

MANSY, H.A.; RICHARD, H.S. Bowel-sound signal enhancement using adaptive filtering. **IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine**, v. 16, n. 6, p. 105 - 117, jul. 2002. ISSN 0739-5175. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=637124>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

MAXIM INTEGRATED. **MAX9814 Microphone Amplifier with AGC and Low-Noise Microphone Bias.** 2009.[s.n.], 2009. Disponível em: <<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX9814.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2014.

MIGUEL, Mercedes G. **Instrumentación Electrónica:** Transductores y Acondicionadores de Señal. Textos universitarios Univeridad de Cantabria. ed. Santander, ES: PubliCan, 2010.

MOTOROLA SOLUTIONS, INC. Cell Phone Development. **Motorola Solutions**, 2014. Disponível em: <<http://www.motorolasolutions.com/US-EN/About/Company+Overview/History/Explore+Motorola+Heritage/Cell+Phone+Development>>. Acesso em: 2014 nov. 2014.

MOUKABARY, Talal. Willem Einthoven (1860-1927): Father of electrocardiography. **Cardiology Journal**, Polónia, v. 14, n. 3, p. 316-317, 2007. ISSN 1897-5593. Disponível em: <<http://czasopisma.viamedica.pl/cj/article/download/21712/17316>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

NALON, José A. **Introdução ao Processamento Digital de Sinais.** Rio de Janeiro: LTC, 2009.

NEBEKER, F. Golden Accomplishments in Biomedical Engineering. **Engineering in Medicine and Biology Magazine**, Piscataway, NJ, U.S.A., v. 21, n. 3, p. 17 - 47, ago. 2002. ISSN 0739-5175. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=1016851>>. Acesso em: 02 nov. 2014.

NEWCASTLE UNIVERSITY. **Digital Signal Processing, EEE305 & EEE801 ("Part A").** Newcastle: Newcastle University, 2002. Disponível em:

<<https://www.staff.ncl.ac.uk/oliver.hinton/eee305/Chapter4.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

NIXON, Paddy; CAHILL, Vinny. Mobile Computing: Technologies for a Disconnected Society. **Internet Computing, IEEE**, v. 2, p. 19 - 21, fev. 1998. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=656061>>. Acesso em: 20 out. 2014.

NUR HIDAYAH MALEK, S. et al. **Design and development of wireless stethoscope with data logging function**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL SYSTEM, COMPUTING AND ENGINEERING, 2013, Mindeb. Mindeb: IEEE, 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6719946>>. Acesso em: 31 out. 2014.

OLIVER, M.S.; PIETERSE, H. Android botnets on the rise: Trends and characteristics. In: INFORMATION SECURITY FOR SOUTH AFRICA, 2012, Johannesburg, Gauteng. Johannesburg, Gauteng: IEEE, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6320432>>. Acesso em: 03 out. 2014.

OPPENHEIM, A. V.; WILLSKY, A. S. **Sinais e Sistemas**. 2. ed. São Paulo: Pearson, 2010.

OPPENHEIM, Alan V.; SCHAFER, Ronald W. **Discrete-Time Signal Processing**. 3. ed. Saddle River, New Jersey: Pearson Education, Inc., 2010.

ORACLE CORPORATION. NetBeans IDE Features. **NetBeans IDE**, 2013. Disponível em: <https://netbeans.org/features/index_pt_BR.html>. Acesso em: 06 nov. 2014.

OSOWSKI, S.; SIWEK, K.; SIROIC, R. Neural system for heartbeats recognition using genetically integrated ensemble of classifiers. **Computers in Biology and Medicine**, v. 41, n. 3, p. 173-180, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010482511000175>>. Acesso em: 28 out. 2014.

OZDALGA, E.; OZDALGA, A.; AHUJA, N. The Smartphone in Medicine: A Review of Current and Potential Use Among Physicians and Students. **J Med Internet Res**, v. 14, 27 set. 2012. Disponível em: <<http://www.jmir.org/2012/5/e128/>>. Acesso em: 03 Outubro 2014.

PALMIERI, M.; SINGH, I.; CICCHETTI, A. **Comparison of cross-platform mobile development tools**. In: 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENCE IN NEXT GENERATION NETWORKS (ICIN), 2012, Berlin. Berlin: IEEE, 2012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6376023>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

PANASONIC CORPORATION. **Omnidirectional Back Electret Condenser Microphone Cartridge - Datasheet**. 2011.[s.n.], 2011. Disponível em: <<http://industrial.panasonic.com/www-data/pdf/ABA5000/ABA5000CE22.pdf>>.

Acesso em: 21 out. 2014.

PDADB. T-Mobile G1 (HTC Dream 100) Specs. **The Largest Mobile Database**, 2014. Disponível em: <http://pdadb.net/index.php?m=specs&id=1495&c=t-mobile_g1_htc_dream_100>. Acesso em: 07 nov. 2014.

PEREIRA, Daniel et al. **DigiScope – Unobtrusive Collection And Annotating of Auscultations in Real Hospital Environments**. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IEEE ENGINEERING IN MEDICINE AND BIOLOGY SOCIETY, 2011, Boston. Boston: IEEE, 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6090280>>. Acesso em: 03 out. 2014.

PERTENCE, Antônio. **Eletrônica Analógica: Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos: Teoria, Projetos, Aplicações e Laboratório**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

PESINATO, Raphael M. et al. A expertise clássica da ausculta cardíaca para o diagnóstico do prolapso da valva mitral. **Revista da Sociedade Brasileira de Clínica Médica**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 222-225, jul. 2012. Disponível em: <<http://files.bvs.br/upload/S/1679-1010/2012/v10n3/a2887.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2014.

PONTE, Daniel F. D. **Aquisição e processamento de sons crepitantes para auxílio ao diagnóstico de enfermidades pulmonares**. 2011. 162p.[s.n.]. Florianópolis, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/95349>>. Acesso em: 21 out. 2014.

PRASANGA, D.K. et al. **Auscultation based stethoscopic diagnostic device for cardiac murmur identification**. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL TECHNOLOGY, 2011, Auburn, AL. Auburn, AL: IEEE, 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=5754404>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

PROAKIS, John G.; MANOLAKIS; G., Dimitris. **Digital Signal Processing**. 4. ed. Saddle River, New Jersey: Pearson Education, In., v. 1, 2007.

RAUTAHARJU, P. M. The birth of computerized electrocardiography: Hubert V. Pipberger. **Cardiology Journal**, v. 14, n. 4, p. 420-421, 2007.

RIZZO, Victor H. D. **Sistema de Aquisição e Processamento Digital de Sinais**. 2014. 67p. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

ROGERS, E.M. **Diffusion of innovations**. New York: Free Press, 2003. 177 p.

ROGERS, Rick et al. **Android Application Development**. 1. ed. Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc., v. 1, 2009.

ROSA, Diego L. D. **Sistema de Processamento de Sinais Biomédicos: Filtragem de Sinais do Eletroencefalograma**. 2009. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92766/267133.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01 nov. 2014.

RUI, Hou; ZHIGANG, Jin; BAOLIANG, Wang. **Comparison of Windows Phone 8 & Windows 8**. In: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT NETWORKS AND INTELLIGENT SYSTEMS (ICINIS), 2013, Shenyang. Shenyang: IEEE, 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6754670>>. Acesso em: 02 nov. 2014.

RUSKA, E. The development of electron microscope and of electron microscopy. **Reviews of modern physics. The nobel fundation**, v. 5, n. 3, p. 627-638, jul. 1987.

SAMSUNG. Samsung Gear. **Site da Samsung**, 2014. Disponível em: <http://www.samsung.com/global/microsite/gear/gearfit_features.html>. Acesso em: 03 nov. 2014.

SHARP CORPORATION. Sharp Corporation Info. **World Sharp**, 2014. Disponível em: <http://sharp-world.com/corporate/info/his/h_company/2000/>. Acesso em: 28 out. 2014.

SHELLY, Katie. The GRiD Compass Laptop and the Space Shuttle. **Cooper Hewitt**, New York, EUA, 21 jul. 2011. Disponível em: <<http://www.cooperhewitt.org/2011/07/21/the-grid-compass-laptop-and-the-space-shuttle/>>. Acesso em: 20 Outubro 2014.

SIEGEL, L. Digitizing graphic records for computer analysis. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, BME, v. 14, jan. 1967.

SMITH, Steven W. **Digital signal processing: a practical guide for engineers and scientists**. Burlington, MA: Elsevier, 2003.

SOUZA, E. C. C. et al. O estetoscópio. **Revista de Ciências Médicas**, Campinas, v. 4, n. 3, p. 112-118, set. 1995. Disponível em: <<http://periodicos.puc-campinas.edu.br/seer/index.php/cienciasmedicas/article/download/1406/1380>>. Acesso em: 03 Outubro 2014.

STEELE, James. **The Android Developer's Cookbook: Building Applications with the Android SDK**. 2. ed. Boston, MA: Pearson Education, Inc., 2011.

STRATOSCIENTIFIC, Inc. Steth IO. **Site do Stethio**, 2014. Disponível em: <<http://www.stethio.com/>>. Acesso em: 07 nov. 2014.

TEXAS INSTRUMENTS. **TLV271-Q1, TLV272-Q1, TLV274-Q1 FAMILY OF 550- μ A/Ch 3-MHz RAIL-TO-RAIL OUTPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**. 2004.[s.n.], 2004. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv274.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2014.

TJONDRONEGORO, S.; SOEGIJOKO, S. **Development of a new Biomedical Engineering Education Program at Institut Teknologi Bandung**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEACHING, ASSESSMENT AND LEARNING FOR ENGINEERING (TALE), 2013, Bali. Bali: IEEE, 2013. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpls/icp.jsp?arnumber=6654536>>. Acesso em: 28 out. 2014.

TULEIMAT, M.S. **Biomedical & clinical engineering in arabic countries between concepts, reality, challenges & expectations**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIOINFORMATICS AND BIOMEDICAL TECHNOLOGY, 2010, Chengdu. Chengdu: IEEE, 2010. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=5478963>>. Acesso em: 04 nov. 2014.

VOLPATO, Edgar C. **Processamento Digital de Eletrocardiograma: Estudo e Implementação de um Detector de Arritmias Cardíacas**. 2005. 83p.[s.n.], 2005. Disponível em: <<http://www-app.inf.ufsm.br/bdtg/arquivo.php?id=28&download=1>>. Acesso em: 03 nov. 2014.

WANT, R.; BORRIELLO, G. Survey on information appliances. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 20, n. 3, p. 24-31, maio 2000. ISSN 0272-1716. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=844369>>. Acesso em: 05 nov. 2014.

WANT, R.; BORRIELLO, G. Survey on information appliances. **Computer Graphics and Applications, IEEE**, v. 20, p. 24-31, maio 2000. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=844369>>. Acesso em: 30 out. 2014.

WEEKS, Michael. **Processamento Digital de Sinais: Utilizando Matlab e Wavelets**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

WELLAND, Robert et al. **The Newton Operating System**. In: CONFERÊNCIA DA COMPCON SPRING '94, DIGEST OF PAPERS., 1994, San Francisco, CA, USA. San Francisco, CA, USA: IEEE, 1994. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=282932>>. Acesso em: 26 out. 2014.

APÊNDICE A – Esquemático Da PCI Desenvolvida

