



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”



**Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”
Campus de Ilha Solteira**

JEAN VITOR DE PAULO

**DESENVOLVIMENTO DE UM APLICATIVO ANDROID E DE UMA INTERFACE
BLUETOOTH PARA UM DINAMÔMETRO BIOMÉDICO**

Ilha Solteira

2014



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Ilha Solteira

JEAN VITOR DE PAULO

Desenvolvimento de um aplicativo Android e de uma interface bluetooth para um
dinamômetro biomédico

Orientador: Prof. Dr. Aparecido Augusto de Carvalho

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia - UNESP – Campus de Ilha
Solteira, para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Elétrica.

Área de Conhecimento: Automação.

Ilha Solteira

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P331d Paulo, Jean Vitor de.
Desenvolvimento de um aplicativo android e de uma interface bluetooth para um dinamômetro biomédico / Jean Vitor de Paulo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2014
93 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Automação, 2014

Orientador: Aparecido Augusto de Carvalho
Inclui bibliografia

1. Dinamômetro. 2. Bluetooth. 3. Android. 4. Mãos. 5. Lesão.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Desenvolvimento de um Aplicativo Android e de uma Interface Bluetooth para um Dinamômetro Biomédico

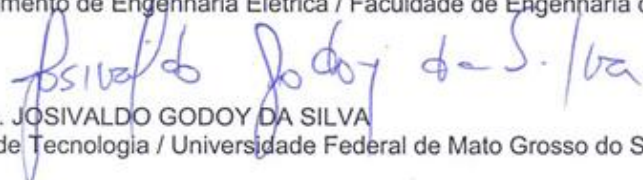
AUTOR: JEAN VÍTOR DE PAULO

ORIENTADOR: Prof. Dr. APARECIDO AUGUSTO DE CARVALHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica ,
Área: AUTOMAÇÃO, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. APARECIDO AUGUSTO DE CARVALHO
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. CARLOS ANTONIO ALVES
Departamento de Engenharia Elétrica / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. JOSIVALDO GODOY DA SILVA
Centro de Tecnologia / Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Data da realização: 05 de junho de 2014.

Aos meus amigos, família e todos que acreditaram neste trabalho

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor Dr. Aparecido Augusto de Carvalho pelas oportunidades que me proporcionou, conselhos, disponibilidade e por acreditar em meu potencial.

À toda minha família, em especial meu maior amigo e companheiro, meu pai Roberto, pela gigantesca empatia, sempre me aconselhando e acatando minhas escolhas. Aos meus avós Maria José e Nelito Paulo pelo apoio, por me tornarem quem sou e por serem as sensacionais pessoas que são. À minha sempre presente mãe, Rita. À minha madrasta Genilda, aos meus irmãos Jacqueline e Igor.

À minha noiva Larissa, pelos bons momentos, risadas, apoio psicológico e por sempre acreditar e compartilhar de minhas decisões.

Ao autor da versão original do dinamômetro utilizado neste estudo, Prof. Elcio Alteris dos Santos, sempre disposto a sanar as dúvidas que surgiram.

Aos grandes amigos Uiliam e Caroline pela amizade e companheirismo.

Aos colegas de laboratório Mateus, Renan, Marcelo Sanches, Maria Inês e Luís Henrique que estavam sempre dispostos a contribuir com este trabalho.

Aos também companheiros de laboratório Pedro Capelotti e Guilherme Pereira que auxiliaram na confecção do novo circuito para esse estudo.

À equipe do CEREST de Ilha Solteira, em especial à Aline, Paula e Máisa por fornecer e disponibilizar um local adequado para os ensaios práticos bem como o equipamento e experiência necessárias para validar as medidas.

À fisioterapeuta Carol, pelo auxílio e acompanhamento das medições nos voluntários

A todos os voluntários que ajudaram a testar o dinamômetro.

Aos professores Dr. Carlos Alves e Profa. Dr^a. Érica Regina Marani Daruichi Machado pelas contribuições.

À CAPES pelo auxílio financeiro.

A todos que contribuíram indiretamente para a realização deste trabalho.

"Se enxerguei mais longe, foi porque me apoiei nos ombros de gigantes."

Isaac Newton

RESUMO

Neste trabalho, implementou-se um aplicativo para o sistema operacional Android para recebimento das informações transmitidas de um dinamômetro biomédico eletrônico por meio de uma interface *bluetooth*. Com esta finalidade, uma instrumentação contendo um microcontrolador PSoC e um adaptador Zuchi ZT-05 foi utilizada para transmitir os dados. O *software* desenvolvido é provido de diversos módulos de cadastros, configurações e visualização de informações e foi capaz de realizar o correto manuseio dos dados. Para avaliar o funcionamento do sistema, realizou-se a medição da força de preensão de 20 voluntários, sendo 10 hígidos e 10 com patologias nas mãos. O *software* desenvolvido gerenciou adequadamente os exames de todos os voluntários. Utilizando o dinamômetro implementado, mediu-se pela primeira vez, pelo que é de nosso conhecimento, a força exercida pelos músculos lumbricais de um paciente. Pode-se constatar que as análises das forças de preensão foram melhor e mais facilmente realizadas graças aos recursos que o aplicativo fornece.

Palavras-Chave: Dinamômetro. Bluetooth. Android. Mão. Lesão.

ABSTRACT

In this work an application for the Android operating system was implemented for receiving data from a biomedical electronic dynamometer sent via a bluetooth interface. For this purpose, an instrumentation having the PSoC microcontroller and a Zuchi ZT-05 adapter was used to transmit the data. The developed software is provided with many different modules, like registrations, settings and information display and was able to make a proper data handling. To evaluate the system's operation, the grip strength of 20 volunteers, 10 healthy and 10 with pathologies hands, was measured. The developed software properly managed all the volunteers exams. Using the implemented dynamometer, for the first time, to the best of our knowledge, the force exerted by the lumbrical muscles of a patient was measured. It can be verified that the analysis of the grip strength were better and more easily achieved with the resources that the software provides.

Keywords: Dynamometer. Bluetooth. Android. Hand. Injury.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Dinamômetro Jamar modelo Digital.....	14
Figura 2	- Dinamômetro cilíndrico.....	14
Figura 3	- Dinamômetro esférico <i>Grip-ball</i>	15
Figura 4	- Diagrama de execução de um <i>software</i> na plataforma Java.	19
Figura 5	- Camadas com seus respectivos módulos de funcionamento.	22
Figura 6	- Comparação da execução do Java convencional a) e do Java para Android b).....	23
Figura 7	- Estrutura básica de um projeto para Android.	25
Figura 8	- Exemplificação de casos de comunicação com o <i>bluetooth</i>	32
Figura 9	- Estrutura óssea da mão.	34
Figura 10	- Articulações do punho e mão direita.	35
Figura 11	- Musculatura do complexo mão-punho-antebraço, vista palmar.....	36
Figura 12	- Músculos da mão direita na camada superficial (a) e segunda camada (b).	37
Figura 13	- Tipos de preensão de força.	39
Figura 14	- Tipos de preensão de precisão.	40
Figura 15	- Movimento de medição de força de preensão palmar em um dinamômetro.	42
Figura 16	- Dinamômetro biomédico.	47
Figura 17	- Moldes para avaliação da força de preensão.	47
Figura 18	- Moldes para avaliação dos músculos lumbricais.....	48
Figura 19	- Moldes para avaliação da força flexora do polegar.	48
Figura 20	- Circuito de condicionamento de sinais e interfaceamento do projeto original.....	49
Figura 21	- Circuito de aquisição de dados.	50
Figura 22	- Diagrama esquemático do novo circuito de condicionamento de sinais, aquisição e interfaceamento.....	52
Figura 23	- Tablet utilizado no estudo.....	53
Figura 24	- Projeto do banco de dados contendo tabelas, campos e relacionamentos.	55
Figura 25	- Tela visualizada ao inicializar o aplicativo.....	57
Figura 26	- Tela de cadastro de pacientes.	58
Figura 27	- Tela de pesquisa.....	59
Figura 28	- Tela de cadastro de avaliadores.	60
Figura 29	- Exames de um determinado paciente.....	61
Figura 30	- Exibição dos dados brutos de um exame.....	61

Figura 31 - Visualização de um exame.	62
Figura 32 - Tela de aquisição de dados.	63
Figura 33 - Inserção da senha na tela de aquisição de dados.	63
Figura 34 - Fluxograma dos passos executados para a aquisição <i>bluetooth</i>	65
Figura 35 - Tela de análise de pacientes.	65
Figura 36 - Gráficos com mais de uma série de exames inseridos.	66
Figura 37 - Tela de configurações do sistema.	67
Figura 38 - Curva do processo de carregamento.	68
Figura 39 - Curva do processo de descarregamento.	69
Figura 40 - Curva de calibração.	70
Figura 41 - Avaliação da precisão do sistema.	71
Figura 42 - Força de preensão máxima de voluntários hígidos, dia 1.	72
Figura 43 - Força de preensão máxima de voluntários hígidos, dia 2.	73
Figura 44 - Força de preensão máxima de voluntários com LER, dia 1.	74
Figura 45 - Força de preensão máxima de voluntários com LER, dia 2.	74
Figura 46 - Valores de força de preensão médios de voluntários com trauma, dia 1.	75
Figura 47 - Valores de força de preensão médios de voluntários com trauma, dia 2.	76
Figura 48 - Força dos músculos lumbricais em voluntários com LER.	77
Figura 49 - Força dos músculos lumbricais em voluntários hígidos.	78
Figura 50 - Exame de preensão palmar da mão direita de um voluntário hígido.	79
Figura 51 - Exame de preensão palmar da mão direita de um voluntário com patologia.	79
Figura 52 - Dinamômetro Saehan disponível no CEREST de Ilha Solteira.	80
Figura 53 - Comparação com o dinamômetro Saehan, primeiro dia, voluntária 1.	81
Figura 54 - Comparação com dinamômetro Saehan, primeiro dia, voluntária 2.	82
Figura 55 - Comparação com dinamômetro Saehan, segundo dia, voluntária 1.	82
Figura 56 - Comparação com dinamômetro Saehan, segundo dia, voluntária 2.	83

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	ASPECTOS DE SOFTWARE PARA A PROGRAMAÇÃO ANDROID.....	18
2.1	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JAVA	18
2.1.1	Máquina Virtual Java	18
2.2	ORIENTAÇÃO A OBJETOS	20
2.3	XML	20
2.4	SISTEMA OPERACIONAL ANDROID	21
2.4.1	Definição	21
2.4.2	Arquitetura	22
2.4.2.1	<i>Kernel Linux</i>	<i>22</i>
2.4.2.2	<i>Bibliotecas</i>	<i>23</i>
2.4.2.3	<i>Android Runtime</i>	<i>23</i>
2.4.2.4	<i>Frameworks de aplicações</i>	<i>24</i>
2.4.2.5	<i>Aplicações</i>	<i>24</i>
2.4.3	Programação para Android.....	24
2.4.3.1	<i>Plataforma de programação</i>	<i>25</i>
2.4.3.2	<i>Activity</i>	<i>26</i>
2.4.3.3	<i>Intents</i>	<i>26</i>
2.4.3.4	<i>Broadcast Receiver</i>	<i>27</i>
2.4.3.5	<i>Services</i>	<i>27</i>
2.4.3.6	<i>Content Provider</i>	<i>27</i>
2.5	BANCO DE DADOS	27
2.5.1	Elementos básicos	28
2.5.2	Modelos de dados	29
2.5.3	Cardinalidades	29
2.5.4	Linguagem de banco de dados.....	30
2.5.5	Banco de dados SQLITE.....	30
2.6	BLUETOOTH	31
2.6.1	Arquitetura	32
2.6.2	Descoberta de dispositivos e pareamento	33
3	CARACTERÍSTICAS OSTEOMIOARTICULARES DA MÃO.....	34
3.1	ANATOMIA ÓSSEA.....	34
3.2	ANATOMIA ARTICULAR.....	35
3.3	ANATOMIA MUSCULAR	36
3.4	PREENSÃO PALMAR.....	38
3.4.1	Preensão de força.....	38
3.4.2	Preensão de precisão	39
3.4.3	Fases da preensão	40
3.4.4	Atribuições dos quirodáctilos na preensão.....	41
3.5	AVALIAÇÃO DA MÃO COM UM DINAMÔMETRO	41
3.6	LESÕES TRAUMÁTICAS NA MÃO	43
3.7	LESÃO POR ESFORÇO REPETITIVO	43
3.7.1	Grupos de Risco	44
3.7.2	Sintomas	44
3.7.3	Outras afecções causadas por LER no complexo punho-mão.....	44

4	MATERIAIS E METODOS	46
4.1	DINAMÔMETRO	46
4.1.1	Características ergonômicas	46
4.1.2	Características técnicas	48
4.1.3	Implementação original	49
4.1.4	Implementação atual	51
4.1.4.1	<i>Circuito de condicionamento de sinais</i>	51
4.1.4.2	<i>Circuito de aquisição e interfaceamento</i>	52
4.2	ASPECTOS DE SOFTWARE	53
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
5.1	SOFTWARE DESENVOLVIDO	55
5.1.1	Estrutura do Banco de dados	55
5.1.1.1	<i>Tabela Pessoa</i>	55
5.1.1.2	<i>Tabela Avaliador</i>	56
5.1.1.3	<i>Tabela Exames</i>	56
5.1.1.4	<i>Tabela Parâmetros</i>	56
5.2	FUNCIONALIDADES E INTERFACE DE USUÁRIO	57
5.2.1	Cadastro de Pacientes	57
5.2.2	Pesquisas	58
5.2.3	Cadastro de Avaliadores	59
5.2.4	Aquisição	60
5.2.5	Evolução	65
5.2.6	Módulo de Configurações	66
5.3	CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA	67
5.4	AVALIAÇÃO DE PACIENTES	71
5.4.1	Avaliação de voluntários sem patologia	72
5.4.2	Avaliação de voluntários com patologias nas mãos	73
5.4.3	Avaliação dos músculos lumbricais	76
5.4.4	Exibição das informações adquiridas em um exame	78
5.4.5	Comparação com o dinamômetro Saehan	80
6	CONCLUSÃO	84
	REFERÊNCIAS	86
	ANEXOS	91

1 INTRODUÇÃO

A mão é um órgão capaz de executar diversas ações devido a sua principal função, que é a de exercer força de preensão. Esta capacidade a torna um instrumento adequado para realizar diversos movimentos, ações e atos gestuais (SANTOS, 2009).

De acordo com Kapandji (1990), a mão não é apenas um órgão que somente executa várias funções. Ela é também um receptor ativo extremamente sensível e preciso, cujos dados são imprescindíveis para a sua própria ação.

A grande necessidade de utilização e movimentação dos indivíduos, no cotidiano, torna-a um membro exposto a uma ampla incidência de lesões (HOPPENFELD, 1993). Essas afecções ocasionalmente diminuem a capacidade funcional do membro, causando dependência, frustração e problemas psicológicos (HOPPENFELD, 1993; SANTOS 2009).

O dinamômetro biomédico é o dispositivo mais adequado aos terapeutas ocupacionais, fisioterapeutas e médicos para realizar uma avaliação quantitativa e precisa da mão. Seu uso possibilita criar terapêuticas apropriadas para cada paciente, através de uma avaliação biomecânica que pode abranger diversos tipos de preensão, que podem sofrer alterações devido à cirurgias, patologias ou acidentes (SANTOS, 2009).

Atualmente o dinamômetro mais aceito para realizar a avaliação funcional da mão é o produzido pela empresa Jamar, recomendado pela Sociedade Americana de Terapeutas de Mão (SATM) e pela Sociedade Americana para a Cirurgia da Mão (SACM) (REIS; ARANTES, 2011; STEPHENS; PRATT; MICHLOVITZ, 1996; FESS, 1992).

Sua estrutura se baseia em duas barras de metal interligadas, nas quais a pessoa a ser examinada irá exercer sua força de preensão. Com a força exercida, as barras sofrem alterações estruturais, modificando a resistência elétrica dos sensores. A força de preensão é geralmente apresentada em quilograma-força (kgf) ou em libra-força (MOREIRA et al., 2003). Há dois modelos de dinamômetros, um com exibição digital e outro com um marcador analógico e ambos necessitam que os valores medidos sejam manualmente anotados. Pode-se visualizar, na Figura 1, o modelo com *display* digital.

Figura 1 - Dinamômetro Jamar, modelo digital.



Fonte: (PHYSIO SUPPLIES, 2013).

Contudo, mesmo havendo aparelhos comerciais já consagrados, os dinamômetros biomédicos têm se mantido como um objeto de estudos constantes, com novas abordagens e técnicas variadas de apreensão e de análise das medidas.

Estudos realizados por Wimer et al. (2009) culminaram em um dinamômetro com formato cilíndrico capaz de mensurar forças aplicadas em todas as direções. Na Figura 2 é mostrada uma foto deste dinamômetro.

Figura 2 - Dinamômetro cilíndrico.



Fonte: (WIMER et al., 2009).

O cilindro é formado pela união de 6 partes independentes, cada uma fornecendo sua própria medida de força. Os valores de força são visualizados por meio de uma interface

computacional desenvolvida com o programa LabVIEW. Tais valores são iguais por toda a extensão do cilindro, independente da região onde ocorre a preensão. Para a validação de seu funcionamento, foram realizados testes com aparelhos comerciais similares, com foco na comparação das medidas com o dinamômetro Jamar. Wimer et al. (2009) não encontraram correlação confiável entre os dois dispositivos, porque a força exercida pela pessoa no cilindro é intensificada devido ao atrito entre sua superfície e a mão, o que não acontece no dispositivo Jamar. Os autores concluíram que o dinamômetro cilíndrico proporciona uma medida mais confiável de força total de preensão, visto que a área de contato da mão é maior.

A variedade de dispositivos disponíveis, tanto comercialmente como nos laboratórios de pesquisa, fez com que Santos (2009) analisasse diversos modelos de dinamômetros disponíveis e estudasse possíveis melhorias que poderiam ser implementadas. Com isso, desenvolveu um dinamômetro biomédico composto por duas hastes metálicas que possibilitam a utilização de moldes ergonômicos intercambiáveis para mensurar a força de preensão. Este aparato permite que uma ampla gama de exames sejam executados com o mesmo dispositivo.

Santos (2009) também desenvolveu um *software* para avaliação das informações adquiridas durante os exames através de uma interface computacional em LabVIEW.

Há relatos de pesquisas sobre dinamômetros com formato esférico. Um destes é conhecido por *Grip-ball* e foi desenvolvido por Jaber, Hewson e Duchêne (2012). Ele é constituído de uma esfera de plástico inflável e maleável onde estão contidos sensores de temperatura e pressão. O dispositivo também dispõe de conexão *bluetooth* para se comunicar com qualquer aparelho capaz de realizar a aquisição dos dados. Uma foto deste dinamômetro é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Dinamômetro esférico *Grip-ball*.



Fonte: (JABER; HEWSON; DUCHÊNE, 2012).

O foco principal de Jaber, Hewson e Duchêne (2012) foi construir um dinamômetro que pudesse ser utilizado para medir as forças de preensão palmar sem a necessidade de acompanhamento de um profissional clínico. A esfera pode ser inflada conforme as necessidades da avaliação, podendo-se alterar sua rigidez e dinâmica. Contudo, algumas desvantagens são apontadas pelos autores, como por exemplo a taxa de amostragem de 15 Hertz, considerada baixa, e também o valor máximo mensurável de 200 Newtons, devido à pressão interna da esfera.

A modernização e simplificação de instrumentos de análise e diagnóstico é uma constante necessidade no âmbito biomédico. Os métodos convencionais aplicados na avaliação de preensão palmar, através de dinamômetros biomédicos dependem em sua grande maioria de anotações manuais (CARLO; BARTALOTTI, 2001). Os autores afirmam que para que se obtenham informações fidedignas e seguras, o profissional de saúde deve desenvolver metodologias consistentes de avaliação. Assim, um *software* que consiga armazenar e agregar esses dados de uma forma que apresente informações detalhadas, torna-se uma ferramenta útil para uma melhor avaliação funcional dos pacientes.

Devido à facilidade e comodidade proporcionada atualmente pelas tecnologias de transmissão sem fio, como o *bluetooth*, e dispositivos móveis, como os *tablets* e *smartphones* com sistema operacional Android, é importante que estas tecnologias sejam incorporadas, quando possível, nos instrumentos biomédicos.

A utilização dessa categoria de dispositivos tem se propagado na Engenharia e Informática Biomédica tanto na aquisição de sinais produzidos por sensores, quanto no interfaceamento e apresentação dos valores das grandezas medidas em telas de computadores e outros dispositivos.

O estudo realizado por Dai et al. (2010) objetivou a criação de um sistema autônomo que utilizava um dispositivo móvel contendo o sistema operacional Android para monitorar constantemente uma pessoa visando avaliar seu risco de queda, emitindo alertas conforme o usuário configurasse. O sistema foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação Java e o ambiente de desenvolvimento Eclipse. Resultados experimentais, obtidos com o dispositivo situado no bolso do paciente, foram satisfatórios, e mostraram que o sistema superou soluções comerciais na medição de falsos positivos (quando o usuário não cai mas o sistema indica uma queda) e falsos negativos (quando o usuário cai e o sistema não identifica).

No que diz respeito à exibição de informações biomédicas transmitidas de fontes externas, Jung, Mylilla e Chung (2013) desenvolveram um sistema de aquisição utilizando o sistema operacional Android para interfacear sinais produzidos por sensores, que são transmitidos por meio da *internet*. Através desse sistema, é possível aferir constantemente os sinais vitais de pessoas, proporcionando dados consistentes para uma avaliação mais precisa por parte do profissional de saúde.

Com a possibilidade da adaptação de dispositivos biomédicos para esses novos paradigmas, neste trabalho o objetivo foi o de adaptar o dinamômetro biomédico desenvolvido por Santos (2009) para que este possa transmitir as informações provindas de um exame de avaliação funcional da mão em tempo real, via *bluetooth*, para um aplicativo executado no sistema operacional Android. É necessário que este aplicativo seja apto a receber as informações e capaz de armazená-las e organizá-las adequadamente visando avaliações funcionais das mãos.

Utilizando o dinamômetro com o aplicativo mencionado, efetuou-se medições da força de preensão de voluntários de ambos os sexos, hígidos e com patologias nas mãos.

No capítulo 2, são expostos conceitos necessários ao desenvolvimento de aplicativos para a plataforma Android.

Conceitos de anatomia do membro superior, com ênfase à estrutura osteomioarticular da mão, são apresentados no Capítulo 3.

No Capítulo 4, são expostos os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

O *software* de aquisição, a interface do usuário e as características do sistema implementado são descritos no Capítulo 5. Neste capítulo são também apresentados e discutidos os resultados obtidos na avaliação das forças de preensão exercidas por pacientes hígidos e com patologias na mãos.

Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões desta dissertação.

2 ASPECTOS DE SOFTWARE PARA A PROGRAMAÇÃO ANDROID

2.1 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO JAVA

A Linguagem Java foi idealizada inicialmente por James Gosling e Patrick Naughton da SUN Microsystems, em 1991. A premissa inicial foi o desenvolvimento de uma linguagem computacional de arquitetura neutra, independente de *hardware* (HORSTMANN, 2003).

Sua rápida adoção ocorreu em um período de grande crescimento da *internet*. Em 1993, a SUN iniciou a utilização do Java para adicionar conteúdo dinâmico à páginas de *internet*, o que contribuiu para fornecer uma nova abrangência para a linguagem (DEITEL, 2010).

A portabilidade do Java tornou a linguagem amplamente utilizada, empregada tanto em aplicações que vão além do ambiente convencional do computador de mesa, quanto em *softwares* corporativos de grande porte, servidores *Web* e sistemas móveis.

Abaixo, algumas estatísticas de utilização da linguagem disponíveis em JAVA (2013):

- 1,1 bilhão de *desktops* executando aplicativos Java;
- 930 milhões de *downloads* a cada ano;
- 9 milhões de desenvolvedores;
- 125 milhões em aparelhos de TV;
- 3 bilhões em telefones celulares.

2.1.1 Máquina Virtual Java

A linguagem Java possui um ciclo de execução que segue um meio não convencional, uma vez que além de ser compilada pelo ambiente de programação, é necessário que o sistema operacional utilizado realize uma interpretação do código gerado através de uma máquina virtual conhecida por Java *Virtual Machine* (JVM), que é a base da plataforma Java (DEITEL, 2010).

De acordo com Deitel (2010), uma máquina virtual é um programa que simula um sistema operacional, mas oculta o *software* e o *hardware* subjacentes dos programas que interagem com ela. O que torna os programas criados em linguagem Java independentes de plataforma é a JVM, visto que a Máquina Virtual Java é o componente de *software* responsável

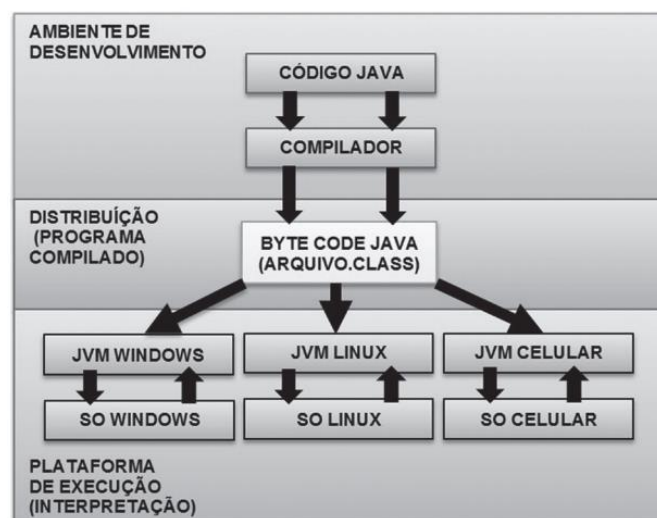
pela execução dos programas. Essa portabilidade provém do compilador Java, que gera uma codificação através do código fonte do *software*, conhecida por *bytecode*, com as tarefas a serem executadas pela Máquina Virtual Java durante a fase de execução. O *bytecode* pode ser executado em qualquer plataforma contendo uma JVM (DEITEL, 2010).

Os passos para a execução de um programa Java, desde a codificação, seguem a seguinte ordem (DEITEL, 2010):

- O programa é criado em um editor e armazenado com um nome possuindo a terminação *.java*;
- O compilador gera um código, o *bytecode* e, logo em seguida, o mesmo é armazenado com a terminação *.class*;
- Ao executar o programa, uma verificação do *bytecode* é feita automaticamente com o intuito de analisar a integridade do código;
- Por fim, a máquina virtual Java lê o *bytecode* e o traduz para uma linguagem que o computador seja capaz de entender e só então o programa é executado.

A Figura 4 apresenta essa sequência em formato de um diagrama.

Figura 4 - Diagrama de execução de um *software* na plataforma Java.



Fonte: (COELHO, 2012).

2.2 ORIENTAÇÃO A OBJETOS

É uma forma de realizar projetos de *software* no qual os módulos de programação são modelados em termos semelhantes ao que as pessoas descrevem objetos do mundo real (DEITEL, 2010).

A linguagem Java, por ser essencialmente orientada a objetos, depende diretamente da utilização desse paradigma para a criação de seus códigos (COELHO, 2012).

Os conceitos que regem a programação orientada a objetos são apresentados por Coelho (2012) como a seguir:

- Classe: modelo ou especificação que define um objeto. É formada por atributos, operações e funcionalidades.
- Atributo: variável comum, contida dentro da classe e contextualizada para receber informações a ela associada.
- Objeto: classe instanciada na memória do dispositivo, ou seja, é um modelo para reservar um espaço de memória para manter e transformar os dados. O Objeto apresenta um agrupamento de dados e procedimentos definidos na classe.
- Método: blocos de programação responsáveis pelo comportamento da classe no *software*. Pode modificar atributos apenas alterando seus valores.
- Herança: conceito de uma classe herdar todos os atributos e métodos de outra classe, que então passa a ser considerada uma superclasse. A classe que herda suas funcionalidades torna-se uma subclasse.
- Polimorfismo: quando uma classe assume um papel diferente dentro do *software* de acordo com a necessidade que o mesmo apresenta.

2.3 XML

XML é um acrônimo para *eXtensive Markup Language*. Teve seu início no esboço de um documento da empresa que cria os padrões da internet, a W3C ou *World Wide Web Consortium*. Esse esboço descrevia a necessidade de uma linguagem de marcação que pudesse ser lida por *software*, que também fosse capaz de proporcionar uma distribuição ampla na *internet* e ser legível por seres humanos (TITTEL, 2002).

O XML conforme dito explicitamente por seu nome, é uma linguagem de marcação, que é um paradigma de programação no qual são realizadas marcações em um texto de forma que ele seja sintaticamente distinguível. Ou seja, é um conjunto de códigos aplicados a dados computacionais com a finalidade de adicionar informações particulares sobre esse dado (DEITEL, 2003).

Essas marcações são conhecidas por *tags*, e podem, de acordo com Tittel (2002), ser personalizadas para atender a uma necessidade específica e estruturada de tal modo que possa ser facilmente compreendida.

As características essenciais da linguagem são: a independência de dados, a separação de conteúdo, e sua apresentação, por ser completamente textual.

O XML essencialmente só descreve dados, criando arquivos sem instruções de formatação, facilitando assim a análise sintática. Isso o torna diretamente uma estrutura de referência que pode ser usada para o intercâmbio de informações (DEITEL, 2003).

Tais características tornaram-na uma linguagem com alto grau de interoperabilidade, possibilitando a descrição de um determinado conteúdo independente do seu formato ou necessidades (TITTEL, 2002; DEITEL, 2003).

2.4 SISTEMA OPERACIONAL ANDROID

2.4.1 Definição

A literatura especializada, como Gargenta (2011) e também Ostrander (2012), define o sistema Android como um Sistema Operacional (S.O.) de código aberto, baseado em Linux, e voltado para dispositivos móveis, com todo seu código interno podendo ser tanto acessado quanto modificado.

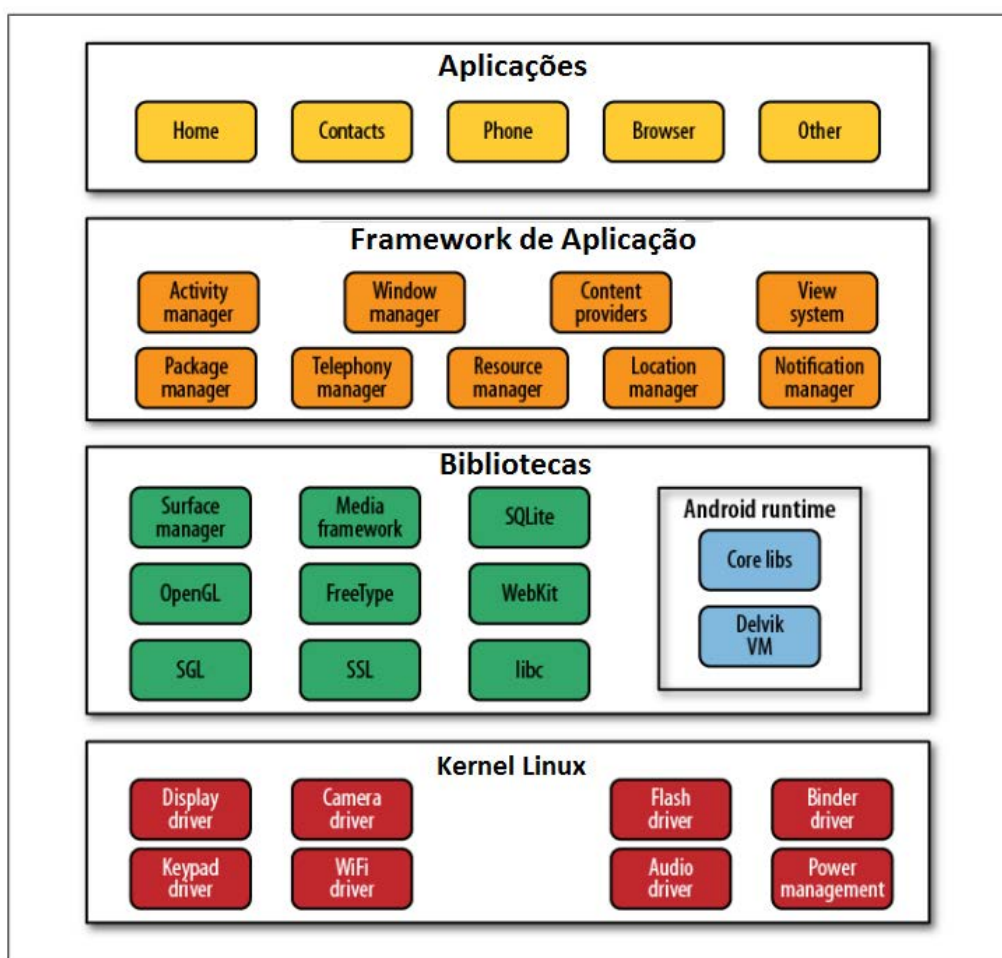
Liderado pela Google em parceria com um grupo de empresas denominado *Open Handset Alliance*, sua proposta é separar o *hardware* do *software* em execução no dispositivo, possibilitando assim um sistema com alta portabilidade e interoperabilidade.

É um sistema operacional focado em dispositivos móveis, e como em sua maioria, são alimentados por bateria, possuem tela em tamanho reduzido e também um poder de processamento razoavelmente menor do que o convencional. O S.O. Android possui uma arquitetura focada a conseguir extrair o máximo dessa categoria de dispositivos, levando em consideração essas limitações.

2.4.2 Arquitetura

O sistema operacional Android é composto por várias camadas (GARGENTA, 2011). Cada uma com uma funcionalidade e propósitos específicos. As camadas são exibidas na Figura 5.

Figura 5 - Camadas com seus respectivos módulos de funcionamento.



Fonte: (GARGENTA, 2011).

2.4.2.1 Kernel Linux

O Android, por ser baseado em Linux, manteve seu núcleo (*Kernel*). Por ser a parte mais próxima do *hardware*, o *Kernel* é uma camada de abstração entre o dispositivo e o *software*. Nele estão contidos diversos recursos necessários para a execução de aplicações, como gerenciamento de memória, gerenciamento de processos, pilha de protocolos de rede e módulo de segurança de infraestrutura (GARGENTA, 2011).

2.4.2.2 Bibliotecas

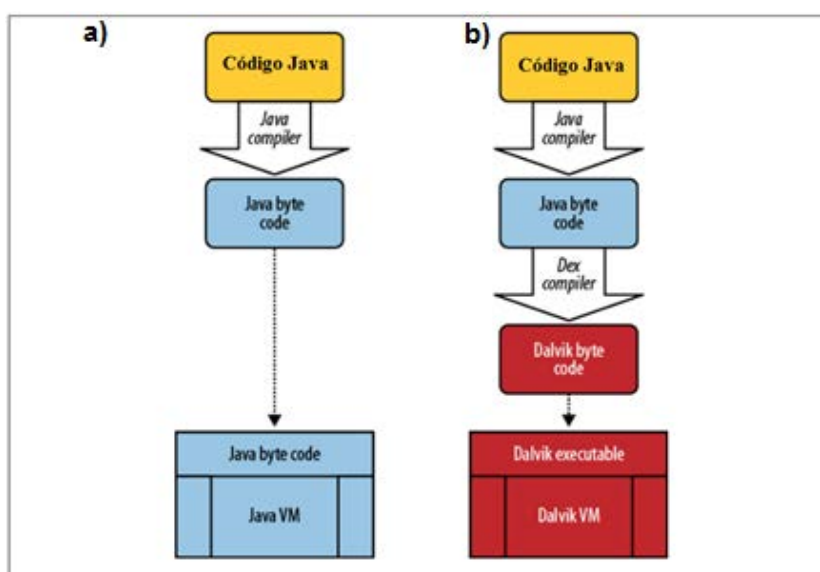
Nessa camada são gerenciadas as bibliotecas do sistema. Em sua grande maioria, fornecem as funcionalidades e serviços necessários para a camada de aplicação. Inclui, dentre outras, as bibliotecas de comunicação com o banco de dados e funcionalidades gráficas (GARGENTA, 2011).

2.4.2.3 Android Runtime

É a divisão responsável pela execução das aplicações, criando e gerenciando módulos responsáveis por essas tarefas. É gerenciada pela *Dalvik Virtual Machine* que é uma máquina virtual Java com modificações (MEDNIEKS et al., 2012).

A *Dalvik Virtual Machine* é desenvolvida diretamente para a plataforma Android, portanto, gerando um *bytecode* distinto do comumente gerado pelo compilador Java, além de permitir que diversas instâncias distintas sejam executadas simultaneamente. Isso se dá devido ao compilador Java para Android possuir mais uma camada em relação ao fluxo comum do Java, que transforma o *bytecode* Java em um *bytecode* específico para a plataforma, chamado *Dex Bytecode* (MEDNIEKS et al., 2012). A Figura 6 ilustra um diagrama de comparação entre a linguagem Java executada em sistemas operacionais convencionais e em sistemas Android.

Figura 6 - Comparação da execução do Java convencional a) e do Java para Android b).



Fonte: (GARGENTA, 2011).

O Dex *bytecode* possui otimizações sendo duas vezes mais eficiente no armazenamento, o que reduz pela metade a memória exigida pela alocação de classes para cada processo (GARGENTA, 2011).

2.4.2.4 Frameworks de aplicações

É a camada responsável por fornecer as ferramentas para o desenvolvedor. Ou seja, é um conjunto de serviços e sistemas que gerenciam os recursos de *software* provido pelo Android (GARGENTA, 2011).

2.4.2.5 Aplicações

No topo da hierarquia encontram-se as aplicações, que podem ser as nativas que acompanham o sistema Android ou as desenvolvidas por terceiros.

As aplicações são distribuídas em um pacote com o formato de arquivo com a extensão APK, que possui duas partes essenciais (GARGENTA, 2011):

- Executável Dalvik: é o código da aplicação Java compilado para ser executado na plataforma Android.
- *Resource*: tudo que está contido na aplicação que não é código Java. Como por exemplo imagens, pacotes de linguagem e os arquivos XML da interface gráfica.

O arquivo APK pode opcionalmente conter bibliotecas de programação nativas em linguagem C/C++ incorporadas.

2.4.3 Programação para Android

O Android possui como linguagem de programação para o desenvolvimento de aplicativos nativos o Java, que funciona diretamente interconectado ao XML.

A aplicação do XML em conjunto com o Java proporciona um sistema mais robusto e estável, no qual o XML é responsável pela interface gráfica e arquivos de configuração e o Java proporciona a funcionalidade a esses módulos (OSTRANDER, 2012).

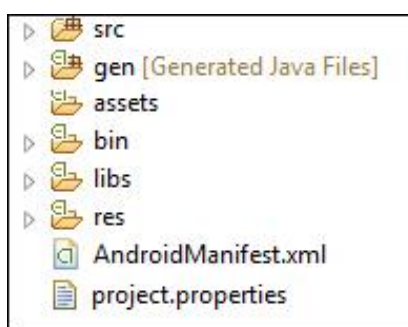
2.4.3.1 Plataforma de programação

No repositório oficial de desenvolvimento da plataforma, é disponibilizado um pacote conhecido por *Android ADT Bundle*, que possui todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento.

Este pacote inclui uma versão customizada do *software* Eclipse voltada para o desenvolvimento Android, um emulador para a realização de testes e todos os pacotes e bibliotecas necessárias para a programação (ANDROID DEVELOPERS, 2013).

Os projetos de programação para a plataforma Android possuem uma arquitetura básica de arquivos e pastas, conforme pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Estrutura básica de um projeto para Android.



Fonte: do próprio autor.

De acordo com a Android Developers (2013), as funções de cada diretório são, respectivamente, as seguintes:

- **Src:** diretório responsável por armazenar os arquivos contendo os códigos da aplicação;
- **Gen:** contém todos os arquivos gerados automaticamente pelo Ambiente de desenvolvimento. Nesse diretório encontra-se o arquivo responsável pela interface entre a codificação Java e XML, chamado *R.java*;
- **Assets:** diretório comumente vazio, a ser preenchido pelo desenvolvedor com arquivos diversos. Os arquivos aqui salvos mantêm o mesmo nome e formato mesmo após a compilação;

- Bin: armazena a saída final do projeto, como o arquivo APK;
- Libs: pasta que armazena as bibliotecas de terceiros que estão em uso no projeto;
- Res: salva arquivos diversos que podem ser imagens, arquivos de *layout* e XML com configurações variadas;
- AndroidManifest.xml: arquivo que descreve a natureza de uma aplicação e que contém expressamente cada um de seus componentes, além de ser responsável por definir permissões, bibliotecas, versão do sistema e componentes de *software* que a aplicação necessitar;
- Project.properties: arquivo de configuração gerado automaticamente que contém informações como a versão do pacote a ser utilizado para compilação.

As aplicações também possuem componentes que são implementados em tempo de codificação, diretamente no ambiente de desenvolvimento para a criação de aplicativos.

2.4.3.2 Activity

É a unidade mais básica do *software* em execução no Android. Comumente, cada aplicativo pode conter diversas *Activities*, sendo elas completamente isoladas umas das outras.

Activities podem ser consideradas, simultaneamente, uma unidade de interação com o usuário, visto que é apresentada na forma de tela contendo objetos como botões e campos de texto e também uma unidade de execução, já que é responsável por todas as funcionalidades da tela. É orientada a ações que o usuário realiza, como cliques e seleções (MEDNIEKS et al., 2012).

A alocação e limpeza de memória, criação e remoção dos processos bem como a busca dos componentes de XML para a criação de uma *Activity* são executadas na camada de *Framework* de Aplicação através do módulo conhecido por *Activity Manager* (MEDNIEKS et al., 2012).

2.4.3.3 Intents

É a representação de uma descrição abstrata de uma operação onde uma *Activity* faz a requisição sobre o que outra deve fazer. Também pode fazer com que dados sejam transmitidos

entre *Activities* distintas, fazendo assim com que sejam capazes de conduzir resultados de operações entre si (MEDNIEKS et al., 2012).

São componentes assíncronos, o que significa que o código que realizar seu uso não necessitará que toda a operação de passagem de informação seja realizada imediatamente para que o programa continue sua execução (GARGENTA, 2011).

2.4.3.4 Broadcast Receiver

Receptor passivo de informações externas provenientes de outros aplicativos. Ele se mantém em um estado inativo, até que um evento ao qual deve estar previamente programado a esperar aconteça, disparando assim uma série de atividades descritas pelo programador (GARGENTA, 2011).

2.4.3.5 Services

São componentes que executam em plano de fundo sem conter qualquer interface de interação com o usuário. São utilizados para executar tarefas independente do que está sendo exibido na tela do dispositivo. São equiparáveis às *Activities* quanto a sua capacidade de execução e funcionalidades (GARGENTA, 2011).

2.4.3.6 Content Provider

Por padrão, o Android executa cada aplicação isoladamente, onde cada qual possui seus próprios dados que são manipulados internamente e sem interferências externas. A classe *Content Provider* permite que tais dados sejam compartilhados entre diferentes instâncias de aplicativos, podendo ser passados em grandes quantidades em uma única solicitação. Assim como os *Services*, também não possuem interface de interação com o usuário (GARGENTA, 2011).

2.5 BANCO DE DADOS

São sistemas computacionais que armazenam informações em meio eletrônico para consulta, alteração ou exclusão futura (DATE, 2004). Tais informações são inter-relacionadas

com finalidade de abstrair mais eficientemente os dados armazenados e, conseqüentemente, prover consultas mais eficientes no conteúdo armazenado.

Conforme descrito por Silberschatz, Korth e Sudarshan (2006), é usual que os desenvolvedores necessitem criar estruturas de dados complexas e ocultá-las do usuário para que tal eficiência seja alcançada. Esse procedimento é feito através da criação de camadas de abstração habitualmente divididas em:

- **Nível Físico:** Descreve em detalhes as estruturas de dados que são armazenadas;
- **Nível Lógico:** Esse nível de abstração tem por finalidade realizar a definição dos dados que serão armazenados, bem como as relações existentes entre eles;
- **Nível View:** É o mais próximo do usuário e descreve apenas parte do banco de dados. Existe para simplificar a interação com o sistema, fornecendo diversas visões diferente para o mesmo banco de dados.

2.5.1 Elementos básicos

A estrutura de um banco de dados é baseado no âmbito dos conceitos de tabelas, registros, chaves e índices (LEITE, 2008).

- **Registro:** coleção de informações armazenadas sequencialmente em campos contextualizados. Cada campo é considerado uma coluna (LEITE, 2008);
- **Tabelas:** estruturas construídas através de uma aglomeração de diversas colunas, cada uma com seu nome distinto, para armazenar para recuperação futura os registros. Normalmente são contextualizadas para receber informações com a mesma finalidade (LEITE, 2008);
- **Chaves:** registros especificados para identificar uma linha inteira de um determinado registro. Podem ser classificadas em chave primária, que é responsável pela identificação de um registro, chave secundária que diferente da chave primária, pode se repetir e é habitualmente usada para dar uma melhor organização aos campos. E, por fim, a chave estrangeira, que é um campo que pode realizar a relação entre duas tabelas diferentes (LEITE, 2008);
- **Índices:** fornecem um acesso mais rápido à um registro de uma tabela durante uma pesquisa, eliminando a necessidade de uma varredura completa da tabela em questão (FREEMAN, 2005).

2.5.2 Modelos de dados

Um modelo de dados descreve o projeto de um banco de dados para os níveis físico, lógico e View através de uma coleção de conceitos de descrição de dados, relações, semântica e restrições das informações (SILBERSCHATZ; KORTH; SUDARSHAN, 2006). De acordo com Silberschatz, Korth e Sudarshan (2006), os modelos podem ser definidos como:

- Modelo relacional: Utiliza-se de tabelas no qual cada uma possui um nome e armazena registros de formato fixo de vários tipos diferentes. Usualmente, cada tabela contém registros de um tipo específico de informações;
- Modelo Entidade/Relacionamento: É estruturado através da criação de abstrações que representam a relação entre objetos conhecidos como entidades. Entidades podem ser a representação de um objeto do mundo físico;
- Modelo de dados baseado em objetos: é uma extensão do modelo de Entidade/Relacionamento que utiliza conceitos de Orientação a objeto para estender seus recursos;
- Modelo de dados semi-estruturado: No modelo de dados semi-estruturado é possível que dados do mesmo tipo possam ter diferentes conjuntos de atributos. Usualmente é utilizado por meio da linguagem XML.

2.5.3 Cardinalidades

Cardinalidade é a quantificação do relacionamento entre tabelas. O conceito se baseia em definir quantas vezes um determinado registro em uma entidade pode ocorrer em relação à outra diretamente relacionada. Elas são classificadas de acordo com sua ocorrência e, de acordo com Leite (2008), podem ser:

- Cardinalidade 1:1: um relacionamento entre tabelas pode ser classificado como 1:1 quando o registro em uma entidade A ocorre apenas uma vez na entidade relacionada B. Assim como a tabela B, possui também apenas um registro relacionado à tabela A (LEITE, 2008);
- Cardinalidade 1:N: ocorre quando uma entidade A ocorre diversas vezes em uma entidade relacionada B. Contudo, a tabela B ocorre uma única vez na tabela A (LEITE, 2008);

- Cardinalidade N:M: quando duas entidades são relacionadas de forma que vários registros sejam compartilhados, então esse relacionamento pode ser considerado N:M (LEITE, 2008).

2.5.4 Linguagem de banco de dados

A linguagem de consulta estruturada ou *Structured Query Language* (SQL) é a linguagem de banco de dados mais utilizada pelo modelo de dados relacional (RAMAKRISHNAN; GEHRKE, 2008). O SQL pode ser dividido em duas categorias, que são de acordo com Silberschatz, Korth e Sudarshan (2006):

- Linguagem de manipulação de dados: Conhecida pela sigla DML (*Data manipulation Language*) é responsável pela manipulação das informações no banco de dados através de operações de inserção, exclusão, alteração e recuperação de dados;
- Linguagem de definição de dados Ou DDL (*Data Definition Language*): é a codificação que define o esquema do banco de dados, bem como especifica propriedades adicionais dos dados em questão.

2.5.5 Banco de dados SQLITE

O sistema Android contém um banco de dados nativo, conhecido por SQLite, e com isso, também são fornecidas bibliotecas para realizar operações de manipulação de dados (GARGENTA, 2011).

O SQLite é um banco de dados estável, de código aberto, amplamente utilizado em dispositivos com limitações no volume de memória ou armazenamento (SQLITE, 2014; GARGENTA, 2011). Seu diferencial consiste na ausência de um processo executando no sistema operacional exclusivo para o servidor. Isso acontece porque o SQLite escreve diretamente em arquivos comuns no sistema de armazenamento (SQLITE, 2014).

Um *software* Android se conecta com o SQLite através de uma interface normalmente chamada “DbHelper”. Para criar tal interface, é necessário que se crie uma classe auxiliar que realize a conexão através da utilização de outra classe contida no *framework* do sistema Android chamada “SQLiteOpenHelper”, que retorna uma instância do tipo “SQLiteDatabase” (GARGENTA, 2011).

As operações básicas de inserção, alteração, remoção e execução de consultas personalizadas estão presentes como parte da plataforma. Elas podem ser acessadas através de funções contidas no *framework* do sistema operacional. As funções, quando executadas, retornam um conjunto de colunas para um ponteiro do tipo Cursor contendo as informações solicitadas no código, no qual é possível acessar uma por vez por meio de comandos (GARGENTA, 2011).

2.6 BLUETOOTH

É uma tecnologia de comunicação sem fios que teve seu desenvolvimento iniciado pela empresa Ericsson, no ano de 1994, com o intuito de construir um padrão não proprietário, de baixo consumo e baixo custo para dispositivos móveis (THOMPSON; KLINE; KUMAR, 2008).

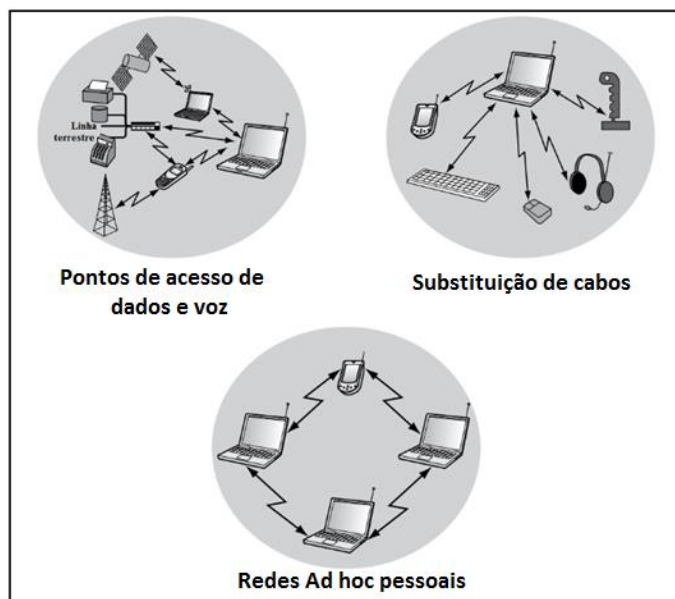
Em 1998, a Ericsson criou um grupo chamado *Bluetooth Special Interest Group*, ou SIG, com participação das empresas Intel, *International Business Machines* (IBM), Nokia e Toshiba. Surgiu a especificação aberta da tecnologia, e em 1999 lançaram a versão 1.0 do *bluetooth* (THOMPSON; KLINE; KUMAR, 2008).

Atualmente o *bluetooth* encontra-se disponível na versão 4.1, lançada em 03 de dezembro de 2013 (BLUETOOTH, 2014). De acordo com Thompson, Kline e Kumar (2008) as principais características dessa tecnologia são:

- Tem a especificação pública e aberta, sendo livre de qualquer licenciamento;
- Comunica-se por meio de ondas de rádio em distâncias de até 100 metros;
- Devido a comunicação ser de pequeno alcance, os transmissores consomem pouca energia, tornando-se assim adequados para o uso em dispositivos portáteis dependentes de baterias;
- É capaz de transmitir informações tanto de voz como de dados, permitindo que dispositivos se comuniquem de ambas as formas;
- Funciona na frequência de 2.4 Gigahertz, operando em todo o mundo devido ao licenciamento dessa frequência;
- Possui espectro esférico;
- Consumo de 10 W e transmissão de informações a 3 Megabits por segundo;
- Suporta até 8 dispositivos ativos e 200 passivos.

As possibilidades proporcionadas pela tecnologia *bluetooth* fez com que uma grande quantidade de cenários de comunicação fossem possíveis. Alguns dos possíveis estão ilustrados na Figura 8.

Figura 8 – Exemplificação de casos de comunicação com o *bluetooth*.



Fonte: (THOMPSON; KLINE; KUMAR, 2008).

2.6.1 Arquitetura

Essencialmente, a arquitetura *bluetooth* pode ser dividida em duas categorias: *bluetooth Host* e *bluetooth Controller* que tem sua intercomunicação realizada através do *Host Controller Interface* (HCI) que é uma interface padronizada entre essas duas camadas (THOMPSON; KLINE; KUMAR, 2008).

Bluetooth Controller: também chamada de *Bluetooth radio* ou camada física, normalmente é um módulo de *hardware*, como por exemplo um adaptador, ou mesmo uma parte já integrada no dispositivo. Interage com o sistema *host* a partir do módulo por meio da entrada/saída padrão ou através de módulos UART (*Universal Asynchronous Receiver-Transceiver* ou transmissor-receptor assíncrono universal) ou USB (*Universal Serial Bus*) (THOMPSON; KLINE; KUMAR, 2008; GEHRMANN; PERSSON; SMEETS, 2004).

Bluetooth Host: também chamada de camada superior, é implementada em *software* e geralmente é integrada ao sistema operacional, conecta o dispositivo ao *Bluetooth Controller*. (THOMPSON; KLINE; KUMAR, 2008; GEHRMANN; PERSSON; SMEETS, 2004).

2.6.2 Descoberta de dispositivos e pareamento

Por padrão, um dispositivo com conexão *bluetooth* deve ser dinamicamente capaz de localizar outros aparelhos que também disponham de tal tecnologia, bem como determinar quais serviços o mesmo possui. Quando a ação de localizar é solicitada por um aparelho, todos os dispositivos ao alcance respondem esse requerimento de acordo com seu Modo de Descoberta, que diz se o mesmo pode ser encontrado por outros aparelhos ou não, fornecendo informações de endereço e identificação do dispositivo e serviços disponíveis (THOMPSON; KLINE; KUMAR, 2008).

Após a descoberta, se o dispositivo está habilitado a receber conexões, é então possível realizar o pareamento, que é um procedimento necessário para que os comunicadores em questão possam trocar informações, podendo ser considerado um delimitador que é responsável por transmitir dados apenas nos dispositivos conectados. Opcionalmente, é possível que aparelhos solicitem a confirmação de identidade para se usar mecanismos de autenticação e criptografia para proteger a informação transmitida (GEHRMANN; PERSSON; SMEETS, 2004).

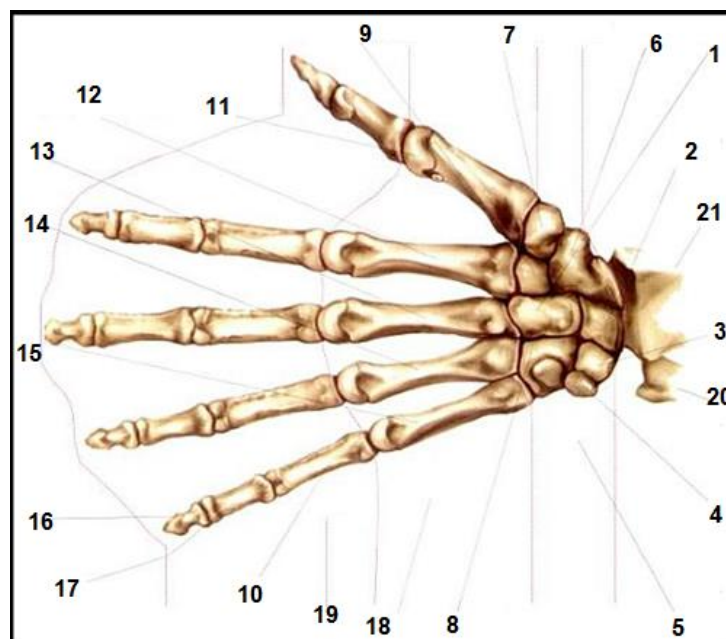
3. CARACTERÍSTICAS OSTEOmioARTICULARES DA MÃO

A mão é a porção terminal do membro superior humano. É formada por um conjunto de estruturas ósseas, musculares, vasculares e nervosas, tornando-a assim, um órgão extremamente complexo (NEUMANN, 2010).

3.1 ANATOMIA ÓSSEA

A estrutura óssea da mão é dividida em três grupos de ossos: carpo, metacarpo e falanges. Nessa estrutura estão contidos ossos do antebraço, a ulna e o rádio, bem como 8 ossos do carpo, 5 do metacarpo e 14 falanges. O carpo é dividido em duas linhas, a proximal e a distal (MARIEB; HOEHN, 2009). A proximal que contém os ossos escafoide, semiulnar, piramidal e pisiforme e a linha distal, composto por trapézio, trapezoide, capitato e hamato (MARIEB; HOEHN, 2009). A Figura 9 ilustra a estrutura óssea, organizada da seguinte forma: (1) Capitato, (2) semiulnar, (3) piramidal, (4) pisiforme, (5) carpo, (6) escafoide, (7) trapézio, (8) hamato, (9) trapezoide, (10) falange proximal, (11) metacarpal I, (12) metacarpal II, (13) metacarpal III, (14) metacarpal IV, (15) metacarpal V, (16) falange distal, (17) falange media, (18) Metacarpo, (19) Falanges, (20) ulna, (21) rádio (FERRON; RANCANO, 2007).

Figura 9 - Estrutura óssea da mão.



Fonte: (FERRON; RANCANO, 2007).

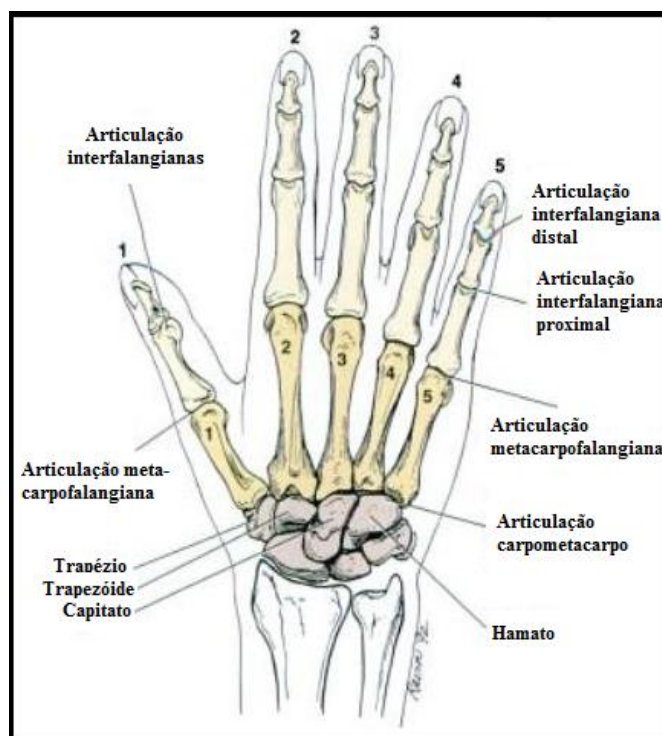
3.2 ANATOMIA ARTICULAR

Na extremidade do membro encontra-se o elo do antebraço com a mão, a articulação radiocárpica que é formada pela extremidade distal do rádio e pelos três ossos da fileira proximal do carpo (BONTRAGER; LAMPIGNANO, 2005).

Na extremidade do carpo, a união com os metacarpos criam as articulações carpometacarpais. Por sua vez, os ossos do metacarpo articulam-se com as falanges em suas proximidades distais formando assim as articulações nomeadas metacarpofalangianas (BONTRAGER; LAMPIGNANO, 2005).

Na região dos dedos, cada um deles, com exceção do polegar, possuem três falanges, portanto, contendo três articulações. Na porção mais distal a articulação é chamada interfalagiana distal, seguida da interfalagiana proximal e por fim a articulação metacarpofalangiana. No que se diz respeito ao polegar, conter apenas duas falanges também diminui sua articulação, que são duas: a interfalagiana e a metacarpofalangiana. A Figura 10 ilustra tais articulações (BONTRAGER; LAMPIGNANO, 2005).

Figura 10 - Articulações do punho e mão direita.



Fonte: (BONTRAGER; LAMPIGNANO, 2005).

3.3 ANATOMIA MUSCULAR

Devido à sua capacidade de movimentação, a mão depende de uma ampla quantidade de músculos espalhados no decorrer do membro superior. Tais músculos são classificados como intrínsecos, que são os músculos que se originam na mão e inserem-se na mesma, e os extrínsecos, que tem a sua origem no antebraço para só então inserirem-se na mão (TORTORA; GRABOWSKI, 2003).

Os músculos extrínsecos possuem uma subdivisão que os caracteriza como músculos do compartimento interior e músculos do compartimento posterior. Os músculos do compartimento interior são flexores que se originam no úmero e no antebraço e inserem-se no carpo, metacarpo e falanges. Toda essa musculatura pode ser visualizada na Figura 11 estando organizada da seguinte forma: (1) músculo bíceps, (2) músculo braquial, (3) músculo supinador, (4) músculo extensor radial breve do carpo, (5) músculo braquiorradial, (6) músculo flexor longo do polegar, (7) tendão do flexor radial do carpo, (8) tendão do abdutor longo do polegar, (9) tendão do flexor longo do polegar, (10) músculo abdutor breve do polegar, (11) cabeça superficial do flexor breve do polegar, (12) septo intermuscular medial, (13) epicôndilo medial do úmero, (14) cabeça umeral do pronador teres, (15) músculo pronador teres (inserção no rádio), (16) músculo flexor profundo dos dedos, (17) tendão do flexor ulnar do carpo, (18) músculos lumbricais, (19) tendões do flexor profundo dos dedos, (20) tendões do flexor superficial dos dedos, (21) tendões do flexor profundo dos dedos, atravessando os tendões do flexor superficial dos dedos (ROHEN; YOKOCHI, 1993).

Figura 11 - Musculatura do complexo mão-punho-antebraço, vista palmar.



Fonte: (SANTOS, 2009).

3.4 PREENSÃO PALMAR

Preensão palmar é a capacidade de utilizar a mão como uma pinça ou garra. Devido às suas variações e músculos utilizados, é possível que ocorra uma classificação dos tipos de preensão.

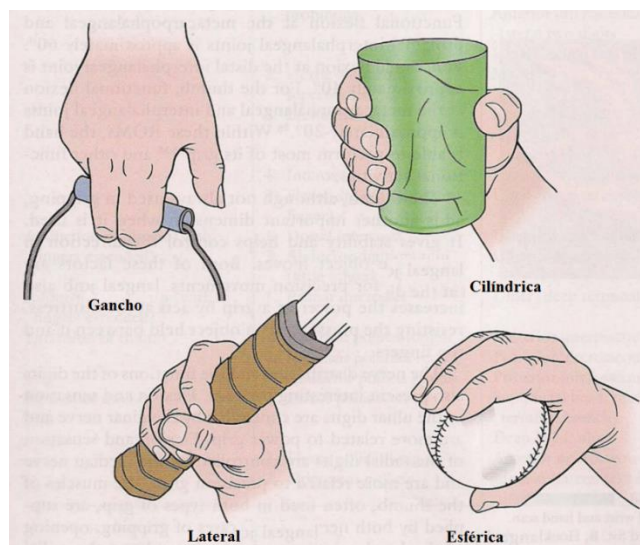
Napier (1956) descreve dois principais tipos de preensão: preensão de força e preensão de precisão.

3.4.1 Preensão de força

Ocorre quando é necessária a utilização de força completa da mão, com o intuito de transmitir força ao objeto manipulado. Consiste na ação de flexionar os dedos contra a região palmar da mão, realizando uma aproximação das duas regiões (MAGEE, 2005). Konin (2006), classificou a força de preensão em quatro tipos distintos:

- Preensão cilíndrica: através dos músculos flexor profundo dos dedos, flexor longo do polegar auxiliados pelos músculos flexores superficiais dos dedos e intraósseos. É utilizada para segurar objetos mais volumosos como um copo, por exemplo.
- Preensão esférica: é semelhante à preensão cilíndrica, porém com um contato palmar pleno, normalmente ao segurar uma bola, é necessário a utilização desse tipo de preensão.
- Preensão em gancho: envolve a ação dos músculos flexores profundo e superficial dos dedos parcialmente flexionados. São utilizados todos os dedos e não é utilizado o polegar. É comumente utilizada para segurar a alça de uma mala, por exemplo.
- Preensão lateral: a mão envolve um objeto geralmente fino, para isso utilizando principalmente os músculos intraósseos. A Figura 13 ilustra todas as categorias de forças de preensão descritas.

Figura 13 - Tipos de preensão de força.



Fonte: (MAGEE, 2005).

3.4.2 Preensão de precisão

É o tipo de preensão que envolve a necessidade de uma manipulação minuciosa das mãos, no qual o objeto manipulado necessite de um manuseio preciso. É executado através do ato de segurar um objeto entre a face palmar ou lateral dos dedos e do polegar oposto (MOURA, 2009; NAPIER, 1956).

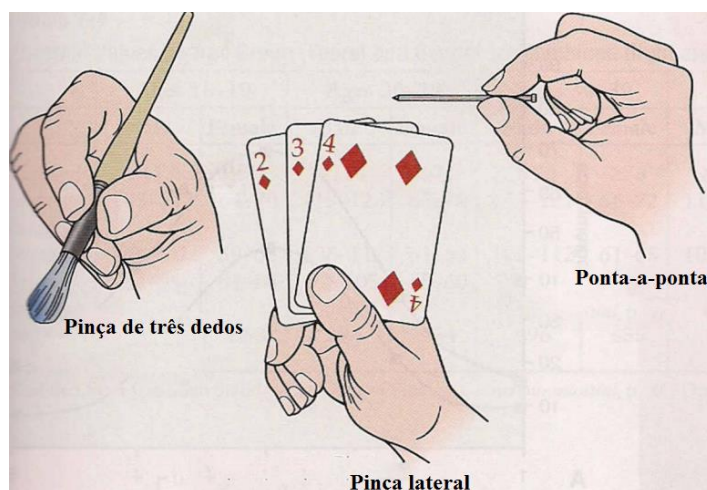
Magee (2005), classifica esse tipo de preensão como contendo três principais variações:

- **Pinça de três dedos:** Também chamada de preensão digital, tripode ou tridigital. Para realizá-la é necessário a oposição do polegar em relação aos dedos, indicador e médio. Para que se efetive a preensão, é necessário que o músculo flexor superficial do segundo e terceiro dedos estabilize as falanges médias e que os músculos tênares estabilizem a falange proximal do polegar em flexão (MAGEE, 2005; CAETANO, 2000);
- **Pinça lateral:** O polegar e o indicador entram em contato. É utilizada para segurar chaves ou cartas, por exemplo. O primeiro intraósseo dorsal atua sobre o indicador que também é auxiliado pelo apoio dos outros dedos ulnares e o polegar pela ação dos músculos da região tênar e pelo flexor longo (MAGEE, 2005);
- **Preensão ponta-a-ponta:** É a preensão que ocorre quando a face digital do polegar entra em contato com a face digital de outro dedo. É utilizada quando se precisa de

coordenação, sendo a mais delicada e precisa das preensões de precisão (MAGEE, 2005).

Os três tipos de preensão de precisão estão ilustrados na Figura 14.

Figura 14 - Tipos de preensão de precisão.



Fonte: (MAGEE, 2005).

3.4.3 Fases da preensão

É descrito por MAGEE (2005) que a preensão ocorre em quatro estágios:

- Por meio da ação simultânea dos músculos intrínsecos e extensores longos, a mão abre-se;
- Através dos músculos flexores e de oposição intrínsecos e extrínsecos os dedos e o polegar são fechados para manipular o objeto e adequar-se à sua forma;
- Ainda por meio dos músculos utilizados no passo anterior, a força necessária é então exercida, variando de acordo com características do objeto manipulado;
- Por fim, ocorre a liberação do objeto. Como é uma ação também de abertura da mão, os músculos utilizados são exatamente os mesmos.

3.4.4 Atribuições dos quirodáctilos na preensão

Os quirodáctilos são as extremidades articuladas da mão, responsáveis por grande parte de suas funcionalidades.

O polegar é definido como o quirodáctilo mais importante devido a sua relação com os outros, sendo bastante móvel e possuindo uma força considerável. Seguido pelo indicador em ordem de importância, que também possui grande força e interage diretamente com o polegar para a realização das pinças funcionais. O dedo médio, por sua vez, ostenta uma grande força e é importante tanto em forças de preensão quanto de precisão. O dedo mínimo aumenta consideravelmente a força de preensão devido à sua posição periférica. Por fim, em ordem de importância, o quirodáctilo anelar que, por conta de seu posicionamento, não acrescenta muito às funcionalidades da mão (MAGEE, 2005).

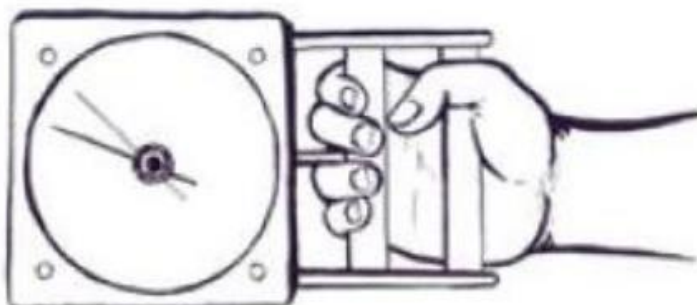
3.5 AVALIAÇÃO DA MÃO COM UM DINAMÔMETRO

A mensuração da força de preensão das mãos é um parâmetro importante para a avaliação do corpo como um todo, além de ser considerada uma medida do estado de força geral do indivíduo. Os profissionais da área de saúde constantemente necessitam de métodos e aparelhos para auxílio na avaliação funcional visando a escolha de estratégias terapêuticas (SANTOS, 2009).

Os dinamômetros biomédicos visam a mensuração de forças exercidas pelos membros superiores com a finalidade de avaliar a força preensora de mãos híginas ou acometidas por sequelas patológicas (SANTOS, 2009).

A medição da força de preensão consiste em um procedimento relativamente simples, objetivo, prático e não invasivo. Para efetuar a medida, a pessoa pressiona o dinamômetro usando, para tal, o movimento do polegar e o restante dos dedos em oposição à palma da mão, conforme ilustrado na Figura 15 (RAMOS, 2009).

Figura 15 - Movimento de medição de força de preensão palmar em um dinamômetro.



Fonte: (RAMOS, 2009).

O paciente realiza a preensão conforme a necessidade da avaliação a ser feita pelo profissional de saúde. Durante o exame, os valores são mostrados em um *display* digital ou analógico.

De acordo com Dias et al. (2010), a avaliação da força de preensão é feita através da medição de força máxima que uma pessoa consegue exercer sobre o dinamômetro, independente da forma de empunhadura.

A Sociedade Americana de Terapia da Mão recomenda que o procedimento de medição com um dinamômetro contenha a seguinte metodologia (FESS, 1992; DIAS et al., 2010):

- Utilização do dispositivo Jamar na segunda posição de regulagem;
- A pessoa a ser avaliada deve permanecer sentada em uma cadeira de escritório sem braços;
- Deve manter a coluna ereta com o ângulo de flexão do joelho em 90°, o ombro posicionado em adução e rotação neutra;
- Cotovelo flexionado a 90°, antebraço em meia pronação e punho neutro, podendo movimentá-lo até 30° graus de extensão;
- Braço mantido suspenso no ar com a mão posicionada no dinamômetro, que é sustentado pelo avaliador.

O desempenho do paciente pode ser avaliado de três maneiras distintas (DIAS et al., 2010):

- Com uma preensão única.
- Considerando o melhor desempenho dentre duas ou três tentativas.

- Uma média de todas as medições.

Existem diversos fatores que podem ocasionar alteração na medição de preensão palmar, dificultando assim torná-las normativas. São eles: sexo, idade, mão dominante, horário de avaliação, temperatura, empunhadura do dispositivo, posicionamento da pessoa ou até mesmo seu humor e motivação (DIAS et al., 2010).

3.6 LESÕES TRAUMÁTICAS NA MÃO

Devido à complexidade da estrutura do membro superior, diversas afecções causadas em sua estrutura podem comprometer total ou parcialmente suas funcionalidades.

Geralmente lesões na região das mãos não apresentam riscos de vida aos pacientes, mas podem resultar em uma incapacitação permanente, reduzindo a qualidade de vida da pessoa lesada. Lesões na região da mão constituem uma das maiores causas de procuras nos departamentos de emergências de hospitais (STONE; HUMPHRIES, 2012).

Traumas diversos como os que acarretam lacerações, lesões nas pontas dos dedos e unhas, ou mesmo lesões provocadas por fatores térmicos, podem ocasionar uma redução da força de preensão manual (LIN et al., 2012).

3.7 LESÃO POR ESFORÇO REPETITIVO

As constantes modificações no estilo de trabalho moderno, com a adição de novas tecnologias, aumento do ritmo de trabalho e desemprego, têm acarretado situações que refletem diretamente na saúde do trabalhador, aumentando assim a incidência de patologias. No âmbito do trabalho, a que mais ganhou notoriedade foram as Distúrbios Osteomusculares Relacionados ao Trabalho (DORT), também conhecidos como Lesão por Esforço Repetitivo (LER) (ASSUNÇÃO; VILELA, 2009).

LER é um termo abrangente que designa distúrbios musculoesqueléticos, geralmente ocupacionais, e que comumente ocorrem quando há um desequilíbrio entre as exigências do trabalho e a capacidade funcional do indivíduo (ASSUNÇÃO; VILELA, 2009). Ou seja, são danos recorrentes da utilização excessiva do sistema musculoesquelético e a ausência de tempo para recuperá-lo (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

Durante sua ocorrência, músculos, tendões, nervos e vasos dos membros superiores (dedos, mãos, punhos, antebraços, braços, ombro, pescoço e coluna vertebral) e inferiores (joelho e tornozelo) podem ser afetados.

3.7.1 Grupos de Risco

A etiologia variada das LERs leva a envolver diversos aspectos diferentes, podendo ser: biomecânicos, cognitivos, sensoriais, afetivos e de organização de trabalho.

Os fatores de risco não são necessariamente as causas diretas de LER, mas podem ocasionar fatores que produzem as lesões podendo também variar entre os indivíduos, levando o profissional de saúde a utilizar esses grupos como orientadores e não um determinante exato (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012). Kuorinka e Forcier (1995), caracterizaram os grupos de risco como sendo pessoas que estão sujeitas a: exposição à baixas temperaturas, ruídos elevados, posto de trabalho com muitas exigências, exposição à vibrações, pressão física localizada, posturas inadequadas, exigências cognitivas além da capacidade individual, cargas mecânica musculoesqueléticas elevadas e invariabilidade da tarefa.

O trabalho repetitivo caracteriza-se como um aquele em que os componentes de trabalho repetem-se mais de 15 vezes por minuto e que mobilizam mais de 1/7 da massa muscular corporal (ASSUNÇÃO; VILELA, 2009).

3.7.2 Sintomas

Os indícios que apontam alguma LER/DORT são, de acordo com Ministério da Saúde (2012): dor localizada, irradiada ou generalizada, desconforto, fadiga e sensação de peso. Também pode ocorrer formigamento, dormência, sensação de diminuição de força, edema e enrijecimento muscular, choque e falta de firmeza nas mãos. Nos casos mais crônicos e graves, podem ocorrer sudorese excessiva nas mãos e sensação de dor como resposta a estímulos não nocivos na pele.

3.7.3 Outras afecções causadas por LER no complexo punho-mão

São descritos, por Assunção e Vilela (2009), 7 problemas distintos que se caracterizam como patologias provenientes de esforços repetitivos na região do complexo punho-mão:

- Tenossinovite: distúrbio que acarreta dor localizada sobre um tendão afetado, fraca ao repouso e intensificada pelo movimento. Provoca perda da força de preensão. A tenossinovite pode se agravar caso a atividade que a ocasione seja mantida. (ASSUNÇÃO; VILELA, 2009; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).
- Tendinite: dor localizada em alguma região musculotendínea, agravada por movimento. Redução na força de preensão (ASSUNÇÃO; VILELA, 2009).
- Tenossinovite de Quervain: dor na face dorso-radial do punho, podendo irradiar para o antebraço ou para o primeiro dedo. Dor ao movimentar o polegar, com dificuldade para abdução (ASSUNÇÃO; VILELA, 2009).
- Dedo em gatilho: enrijecimento de um quírodáctilo em posição de flexão e que ocasiona um rangido ou dor quando há tentativa de extensão (ASSUNÇÃO; VILELA, 2009).
- Cistos Sinoviais: nódulos císticos sob a pele com tamanho, formas e localização variadas que provocam dor contínua durante o movimento das estruturas próximas (ASSUNÇÃO; VILELA, 2009).
- Síndrome do Túnel do Carpo: dor, formigamento, dormência e parestesia na região do nervo mediano, que inclui os três primeiros dedos. Tais sintomas são acentuados durante a noite e início da manhã como também com movimento prolongado do punho. Tem predominância em mulheres entre 36 a 60 anos e na mão dominante (ASSUNÇÃO; VILELA, 2009).
- Síndrome do Canal de Guyon: Afeta o quarto e quinto dedo causando fraqueza durante a abdução e também em movimentos de pinça. Hipotrofia, e fraqueza de interósseos, sensibilidade diminuída no quinto dedo (ASSUNÇÃO; VILELA, 2009).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DINAMÔMETRO

O dinamômetro utilizado nessa pesquisa foi originalmente desenvolvido por Santos (2009) no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Engenharia Biomédica da UNESP de Ilha Solteira – SP.

Teve sua estrutura mecânica projetada a partir da avaliação biomecânica e antropométrica das mãos de 35 voluntários, dos quais 15 possuíam patologias nas mãos e 20 possuíam as mãos anatomicamente normais.

4.1.1 Características ergonômicas

O dinamômetro pode ser usado nas mãos de pacientes com idades superiores a 12 anos e em indivíduos hígidos ou patológicos. Entretanto, em indivíduos com lesões no sistema nervoso central, onde há espasticidade, pode-se observar um grau acentuado de hipertonía flexora. Assim, as medidas se tornam incorretas, pois pacientes com hipertonía nos músculos flexores apresentam uma pegada patológica devido à presença das reações associadas e movimentos compensatórios (SANTOS, 2009).

O dinamômetro biomédico é constituído basicamente por duas partes, sendo uma superior e outra inferior (SANTOS, 2009). A parte superior é composta por duas barras unidas por um anel dinamométrico, no qual na parte interna deste anel foram colados os extensômetros. É uma peça única, que torna o dinamômetro mais leve e não acarreta perda de força em nenhuma outra parte, garantindo que o elemento sensor receba toda a força aplicada. A parte inferior do dinamômetro é uma barra móvel, pois assim poderá ter seu tamanho ajustado para diferentes aplicações (SANTOS, 2009).

Ambas as partes dispõem de encaixes para moldes ergonômicos, o que torna esse dispositivo adaptável a diversos tipos de exames funcionais e de preensão e também apto a avaliar grupos musculares isolados (SANTOS, 2009).

O dinamômetro em questão pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 16 - Dinamômetro biomédico.



Fonte: do próprio autor.

Na Figura 17 exibe-se uma foto dos moldes utilizados para medição da força de preensão palmar convencional.

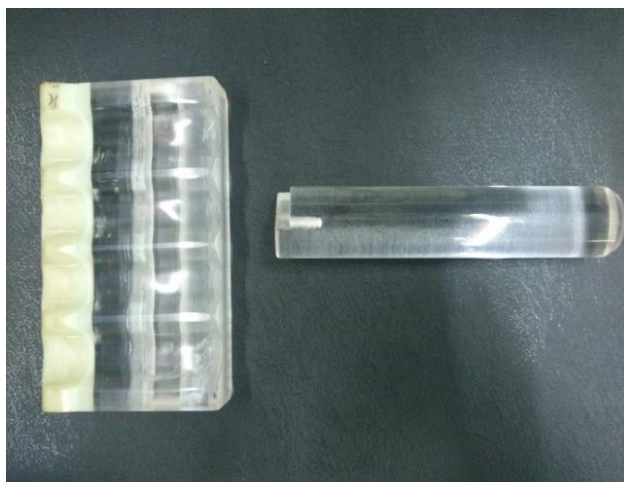
Figura 17 - Moldes para avaliação da força de preensão.



Fonte: do próprio autor.

Uma foto dos moldes implementados, visando a avaliação da integridade dos músculos lumbricais, é mostrada na Figura 18.

Figura 18 – Moldes para avaliação dos músculos lumbricais.



Fonte: do próprio autor.

Na Figura 19 mostra-se uma foto dos moldes confeccionados para avaliação da força de flexão do polegar.

Figura 19 - Moldes para avaliação da força flexora do polegar.



Fonte: do próprio autor.

4.1.2 Características técnicas

Na haste superior foram utilizados dois extensômetros, escolhidos levando em consideração a estrutura mecânica do dinamômetro, seu material, o tipo de deformação a ser captada, dentre outros detalhes. Os extensômetros são do modelo KFG-2-D16-11, da empresa

Kyowa (KYOWA, 2013), que captam forças no eixo longitudinal e transversal (SANTOS, 2009).

O extensômetro utilizado apresenta as seguintes características principais, de acordo com sua identificação de modelo:

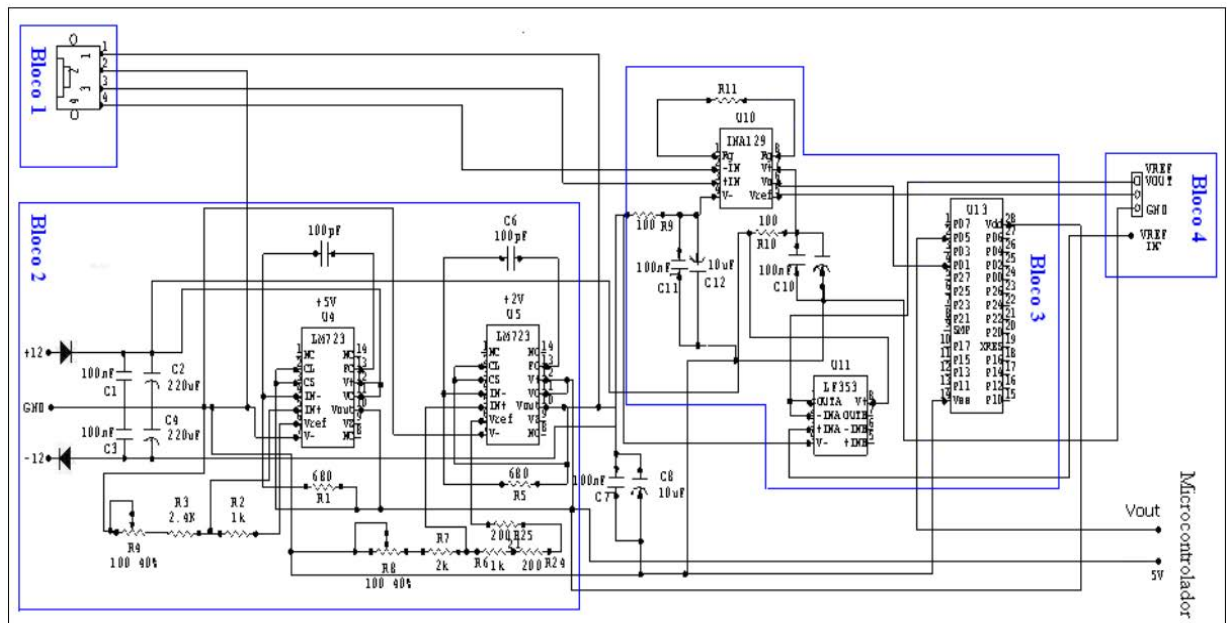
- KFG: uso geral;
- 2: tamanho da grelha de 2 mm;
- D16: Biaxial 0/90° um sobreposto ao outro do tipo roseta;
- 11: coeficiente de expansão linear para o aço inoxidável.

Foram usados extensômetros conectados para formar uma ponte de Wheatstone completa (SANTOS, 2009).

4.1.3 Implementação original

Na concepção original de Santos (2009), o aparelho possuía um circuito de condicionamento de sinais e interfaceamento, conforme apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Circuito de condicionamento de sinais e interfaceamento do projeto original.



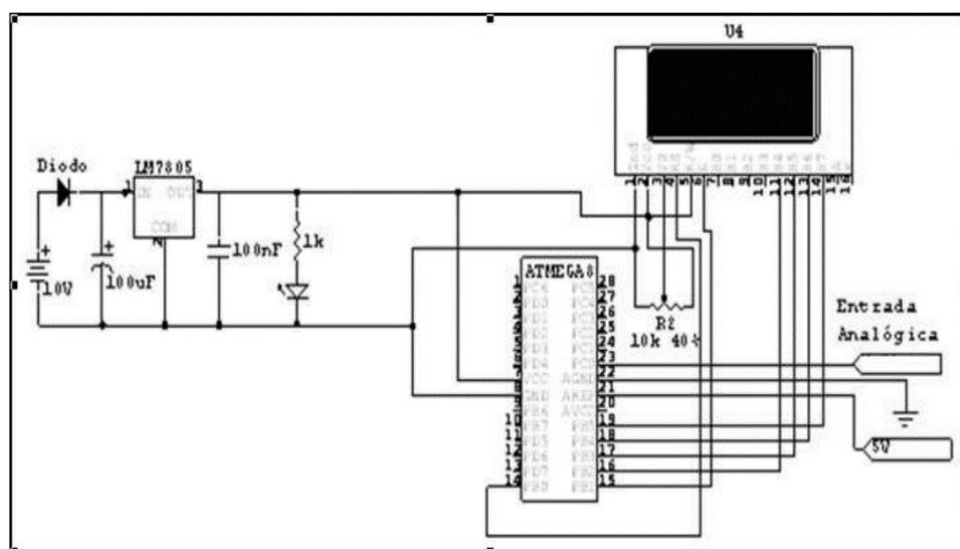
Fonte: (SANTOS, 2009).

Cada bloco representa, respectivamente, de acordo com Santos (2009):

- Bloco 1: Acopla os terminais dos extensômetros ao circuito de condicionamento de sinais. Contém 4 terminais: alimentação da Ponte de Wheatstone, referência (GND) e dois para medir a diferença de potencial produzida pelos extensômetros;
- Bloco 2: Circuito de alimentação. Possui dois diodos para evitar a inversão do sinal e, conseqüentemente, algum dano ao circuito. Há também capacitores de cerâmica de 100 nF e eletrolíticos de 220 μ F para filtrar ruídos externos. E, por fim, dois reguladores de tensão LM723 para o PSoC (*Programmable System on Chip*, da empresa Cypress) e para a ponte de Wheatstone;
- Bloco 3: Responsável pela amplificação dos níveis de tensão dos extensômetros. É constituído de um amplificador de instrumentação INA129 e um amplificador de ganho programável implementado em um microcontrolador PsoC. Também está presente um circuito LF353 que exerce o papel de *buffer* e é responsável por desacoplar do bloco 4 do amplificador de tensão, caso seja necessário injetar um valor de tensão para zerar o nível de *offset*;
- Bloco 4: é um conector onde se faz a escolha da referência do amplificador de instrumentação.

O circuito de aquisição de dados pode ser visto na Figura 21.

Figura 21 - Circuito de aquisição de dados.



Fonte: (SANTOS, 2009).

O mesmo é constituído por um regulador de tensão, diodos de proteção e capacitores para diminuição dos níveis de ruído. O dispositivo responsável pela conversão analógico-digital é um microcontrolador ATMEGA8, com um *clock* interno de 8 MHz.

A aquisição dos dados fornecidos pelos sensores foi feita por meio da placa 6025-E da National Instruments, gerenciada por meio do *software* LabVIEW.

4.1.4 Implementação atual

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado um novo circuito, este completamente gerenciado pelo microcontrolador PSoC. Essa abordagem permitiu uma redução na quantidade de componentes e, conseqüentemente, a diminuição na complexidade do mesmo.

O novo circuito foi implementado no Laboratório de Instrumentação Eletrônica e Engenharia Biomédica da UNESP de Ilha Solteira-SP.

4.1.4.1 Circuito de condicionamento de sinais

O novo circuito de condicionamento de sinais é constituído por um amplificador de instrumentação INA 122 e um dispositivo PSoC, modelo CY8C29466-24PVXI.

Os componentes em questão possuem no circuito as seguintes funcionalidades:

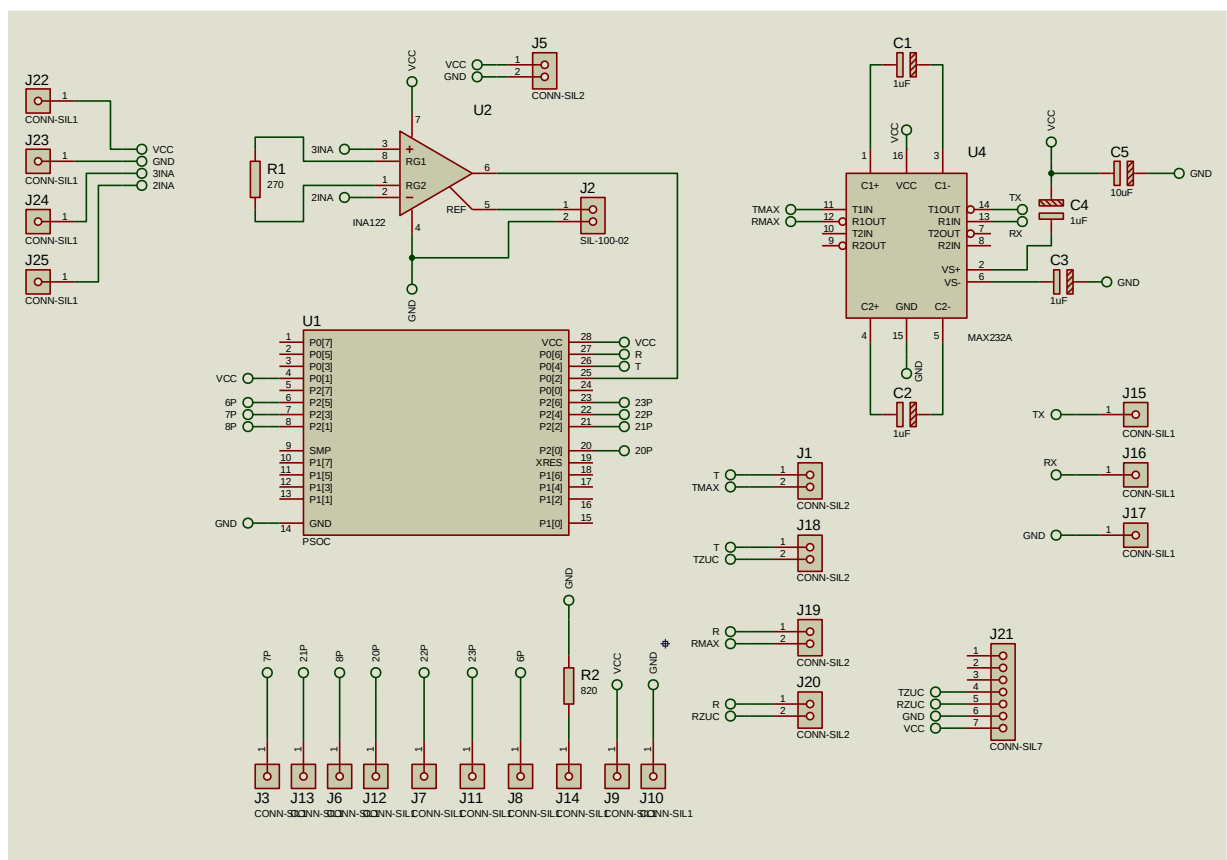
- A utilização do INA 122 possibilita o funcionamento do circuito com uma fonte assimétrica de tensão de 5V, simplificando assim sua estrutura como um todo;
- As interferências ou ruídos são minimizados, devido à alta taxa de rejeição de sinais de modo comum (CMRR) do amplificador de instrumentação INA 122, sendo o sinal adquirido multiplicado por um ganho ajustável através de resistores externos;
- O porto de entrada analógica do PSoC é alimentado diretamente pela saída do INA 122.

4.1.4.2 Circuito de aquisição e interfaceamento

O circuito de aquisição e interfaceamento é composto pelo dispositivo PSoC e o conversor de tensão TTL para o padrão RS232, o MAX 232. O sinal previamente condicionado é transmitido para o conversor de tensão MAX 232 que possibilita a comunicação serial entre o circuito e o computador e também a comunicação *bluetooth* através de um adaptador ZT-05 da fabricante Zuchi. O meio de transmissão é escolhido através de *jumpers* que fornecem a opção de transmissão por somente uma via, seja serial ou *bluetooth*. Os valores são também exibidos em um *display* LCD acoplado ao circuito. Toda a comunicação é realizada de forma assíncrona.

O diagrama esquemático do novo circuito pode ser visto na Figura 22.

Figura 22 – Diagrama esquemático do novo circuito de condicionamento de sinais, aquisição e interfaceamento.



Fonte: do próprio autor.

4.2 ASPECTOS DE SOFTWARE

O desenvolvimento do *software*, bem como os testes e avaliação de funcionalidades foram feitos por meio da ferramenta de programação *Eclipse for Android*.

A codificação foi feita inteiramente com as linguagens padrões da plataforma Android, bem como suas funcionalidades foram todas implementadas por meio das ferramentas fornecidas pelo fabricante excluindo, assim, qualquer implementação provida de terceiros.

A transmissão das informações entre os dispositivos foi feita através do conversor *serial-bluetooth* Zuchi ZT-05, de 3,3V, acoplado ao circuito e configurado com uma taxa de transmissão de 9600 bits por segundo.

O dispositivo no qual o sistema foi instalado é um *tablet* Motorola Xoom, que possui um processador de 1 Gigahertz, 1 Gigabyte de memória RAM e executando a versão 4.1.2 do sistema operacional Android (GSMARENA, 2013). Uma foto do mesmo pode ser vista na Figura 23.

Figura 23 - Tablet utilizado no estudo.



Fonte: do próprio autor.

Por ser mais adequado à plataforma, o projeto foi implementado utilizando o paradigma de orientação a objetos, permitindo que diversas funcionalidades redundantes fossem reaproveitadas.

A utilização desse paradigma também permite uma padronização das funções e *design* do *software*, exigindo menos recursos do dispositivo, bem como permitindo desenvolver uma interface de usuário mais agradável.

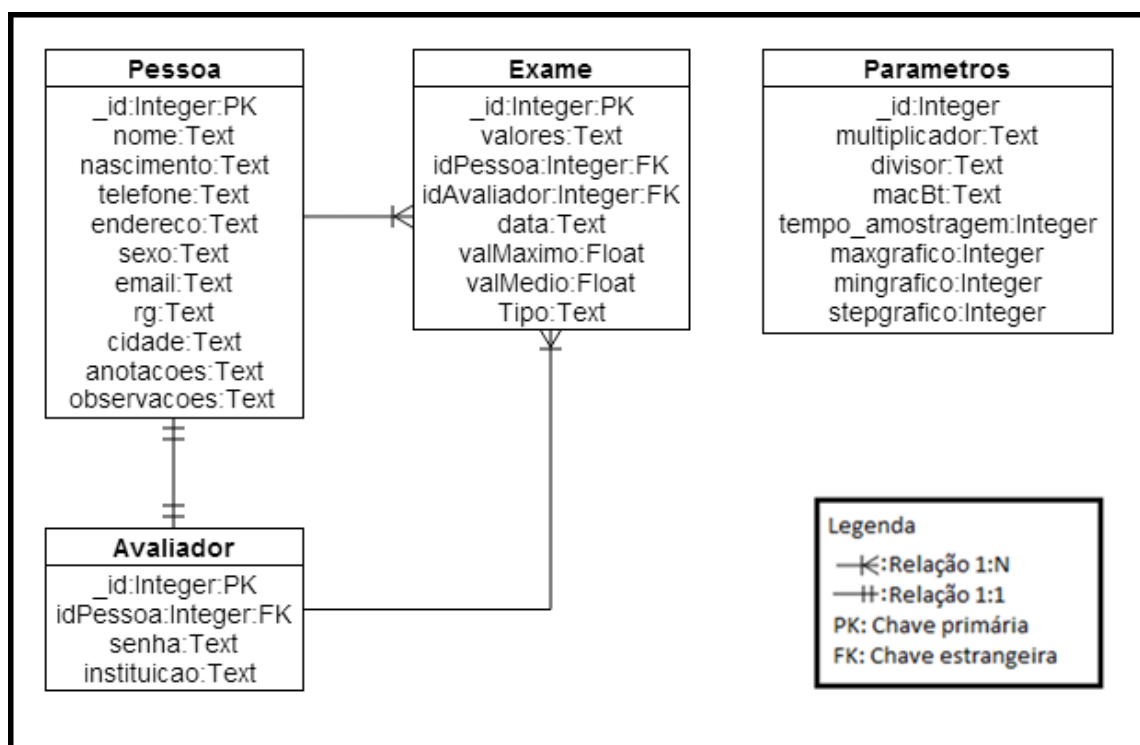
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 SOFTWARE DESENVOLVIDO

5.1.1 Estrutura do Banco de dados

O banco de dados do sistema é constituído por 4 tabelas e seus relacionamentos, que armazenam localmente as informações inseridas pelo usuário. Toda sua estrutura e relacionamentos são criados no momento da primeira execução do *software*. O projeto está ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Projeto do banco de dados contendo tabelas, campos e relacionamentos.



Fonte: do próprio autor.

5.1.1.1 Tabela Pessoa

É responsável por armazenar os dados referentes à pessoas cadastradas no sistema, sejam elas pacientes ou avaliadores. É relacionada com cardinalidade 1:N por meio de seu campo de chave primária "_id" e com cardinalidade 1:1 por meio do mesmo campo, com a

tabela Exames e Avaliador, respectivamente. Ela é manipulada pela *Activity* das telas de Cadastro de Pessoas e Cadastro de Avaliadores.

Durante sua criação, o sistema inclui a cláusula "*ON DELETE CASCADE*" que faz com que quando ocorre uma exclusão, todos os registros relacionados sejam também excluídos. Ou seja, se uma pessoa for excluída, todos os seus respectivos registros de exames também serão, sem a necessidade qualquer interferência do usuário.

5.1.1.2 Tabela Avaliador

Nessa entidade são armazenadas informações sobre qual das pessoas cadastradas são avaliadores, sendo assim um complemento à tabela Pessoa. Esse formato provém da necessidade de retirar campos redundantes às duas tabelas, deixando apenas os campos exclusivos necessários para dar uma classificação diferente a uma pessoa, nesse caso tornando-a apta para realizar exames.

É relacionada com cardinalidade 1:1 com a tabela Pessoa, no qual interage com sua chave estrangeira nomeada "idPessoa", que recebe o campo "_id" da respectiva tabela. Também possui relacionamento 1:N com a tabela Exame.

Essa entidade é manipulada pela *Activity* da tela de Cadastro de Avaliadores.

5.1.1.3 Tabela Exames

É responsável por armazenar todos os dados referentes a exames. Relacionando-se com N:1 tanto com a tabela Pessoa quanto com a tabela Avaliador, sendo assim dependente das duas tabelas para a inserção de seus dados. A chave estrangeira "idPessoa" recebe as informações da tabela Pessoa bem como "idAvaliador" recebe o "_id" da tabela Avaliador. É manipulada pela *Activity* de aquisição de dados Exames.

5.1.1.4 Tabela Parâmetros

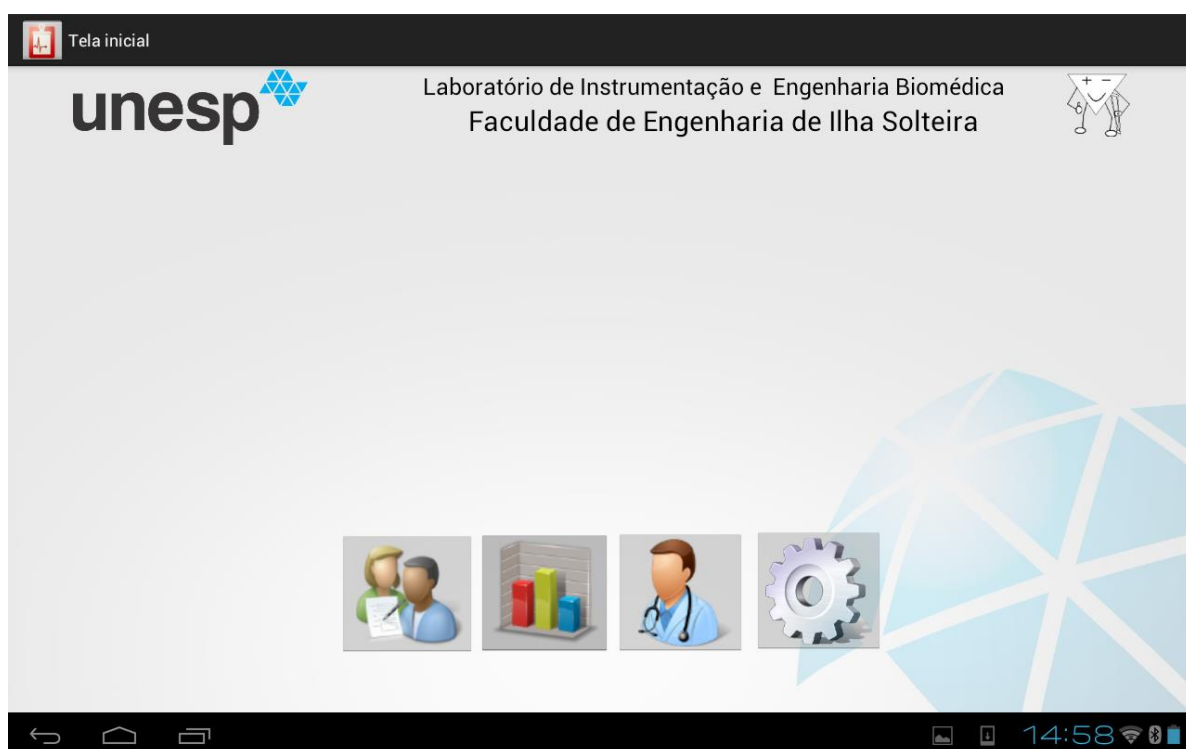
Armazena os dados de configurações do sistema, não possuindo qualquer relacionamento com as outras tabelas. É manipulada pela *Activity* Configurações.

5.2 FUNCIONALIDADES E INTERFACE DE USUÁRIO

O *software* desenvolvido teve como foco a padronização de funcionalidades e também a simplificação das ações e decisões do usuário.

Na tela inicial são apresentadas todas as principais funcionalidades disponíveis, que são os módulos de Pacientes, Evolução e Análise, Avaliadores e Configurações. A tela inicial é apresentada na Figura 25.

Figura 25 - Tela visualizada ao inicializar o aplicativo.



Fonte: do próprio autor.

5.2.1 Cadastro de Pacientes

Nessa área são realizadas os cadastros de pacientes e é também onde todas as informações relacionadas ao mesmo estarão concentradas. Todas as operações de inserção, edição e exclusão de registros são feitas através de botões presentes na parte inferior da tela. É obrigatório fornecer o nome e a data de nascimento para que o cadastro seja feito. A tela é apresentada na Figura 26.

Figura 26 - Tela de cadastro de pacientes.

Fonte: do próprio autor.

As operações de exclusão, edição e iniciar um novo exame só são habilitadas caso um paciente seja previamente selecionado através do botão Pesquisa. Ao realizar essa operação, a tela atual fica esperando a resposta da tela de pesquisa que irá repassar o paciente escolhido através de um *Intent*.

5.2.2 Pesquisas

Há diversos módulos similares responsáveis por fornecer os cadastros contidos no sistema através de palavras inseridas pelo usuário. São também responsáveis por repassar através de *Intents*, dados solicitados por outra tela, portanto são complementos das *Activities* de cadastro.

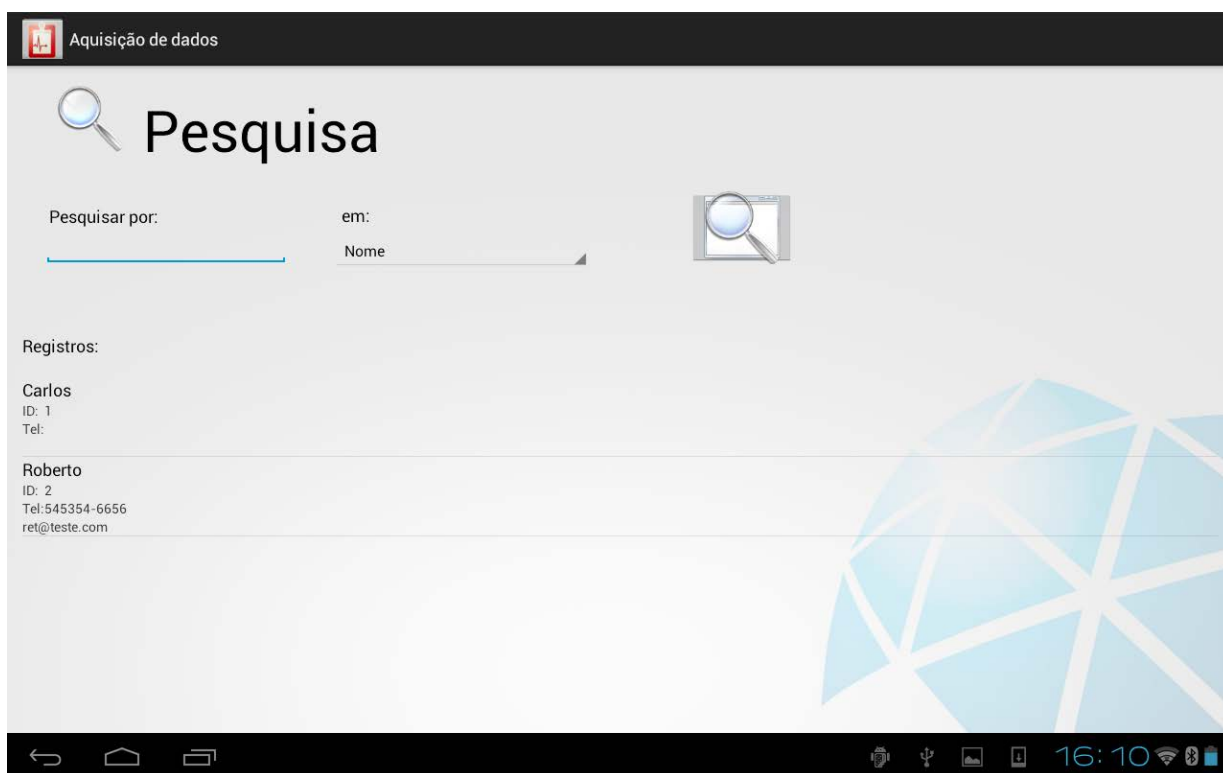
As telas de pesquisas que incluem pessoas são padronizadas devido às informações para o cadastramento de pacientes e de avaliadores fornecerem informações semelhantes.

O campo nomeado “Pesquisar por” deve conter o dado desejado para a pesquisa e o campo “em” refere-se em qual campo do cadastro esse dado será comparado, para só assim listar os resultados de acordo com sua semelhança. A pesquisa pode ser realizada buscando-se

pelo nome, *email*, cidade e ID, que é o número de identificação de um determinado registro no banco de dados.

Os registros são listados de acordo com a ordem no qual foram inseridos no banco de dados e fornecem as informações nome, telefone, ID e *email*. Ao clicar em um registro, a *Activity* da respectiva tela entende que o usuário escolheu-o. Após esse passo, a tela é fechada e os dados da pessoa escolhida são exibidos na tela responsável pela abertura da *Activity* de pesquisa. A Figura 27 exibe o formato da tela de pesquisa.

Figura 27 - Tela de pesquisa.



Fonte: do próprio autor.

5.2.3 Cadastro de Avaliadores

Neste componente do *software* podem ser cadastrados as pessoas responsáveis pelos exames a serem feitos com pacientes. Assim como o cadastro de pacientes, pode-se realizar as operações de Alteração, Exclusão e Pesquisa. Os campos de preenchimento obrigatório para a efetivação de um cadastro são, respectivamente, nome, data de nascimento, senha e confirmação de senha. A tela, preenchida com informações fictícias, pode ser vista na Figura 28.

Figura 28 - Tela de cadastro de avaliadores.

Cadastro de Avaliadores

Informações básicas:

Nome: Roberto

Sexo: Masculino

RG: 5242425

Nasc: 25/07/1940

Cidade/UF: Ilha Solteira

End: Rua x

Acesso:

Senha:

Conf. Senha:

Contato:

Tel: 545354-6656

Email: ret@teste.com

Instituição: Unesp

Informações adicionais:

Informações Profissionais

Fisioterapeuta

Observações

Atendimento
seg a sex das 8 as 18

Fonte: do próprio autor.

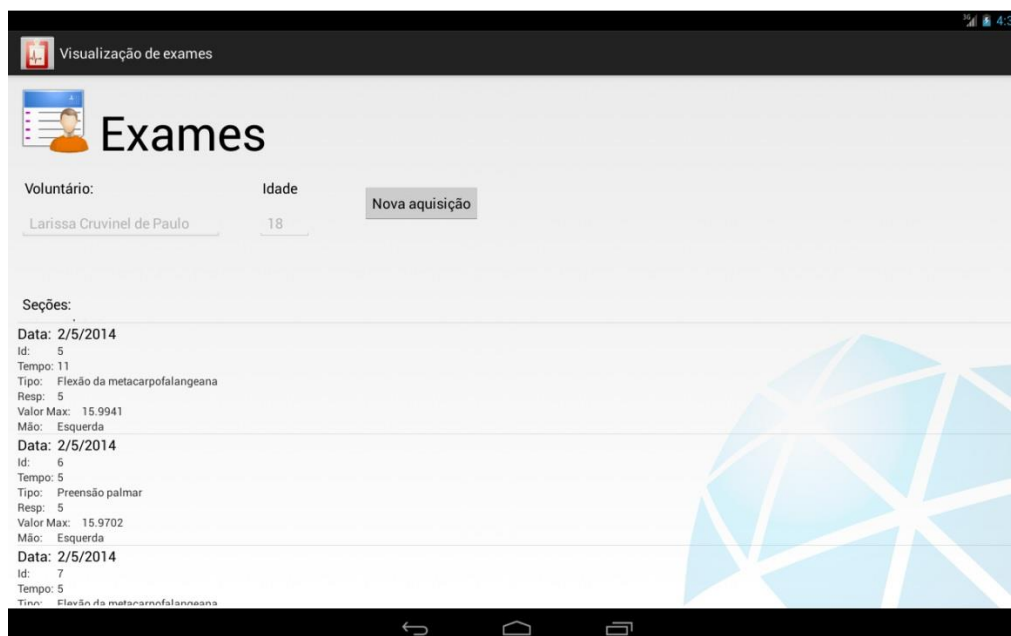
Uma senha é atribuída a cada avaliador e somente através dela é possível alterar ou excluir o registro.

A tela de cadastro de avaliadores permite também visualizar os exames realizados por um determinado avaliador selecionado por meio da pesquisa

5.2.4 Aquisição

Para se iniciar um exame, é necessário selecionar um paciente através da pesquisa da tela de Cadastro de Pacientes para, só então, o botão de aquisição de dados ser habilitado. A tela subsequente ao cadastro apresenta o nome do paciente, sua idade bem como todos seus exames com a sua devida descrição. Existe a opção de remover um exame, que é iniciada com o gesto de clique contínuo no registro em questão. A tela pode ser vista na Figura 29.

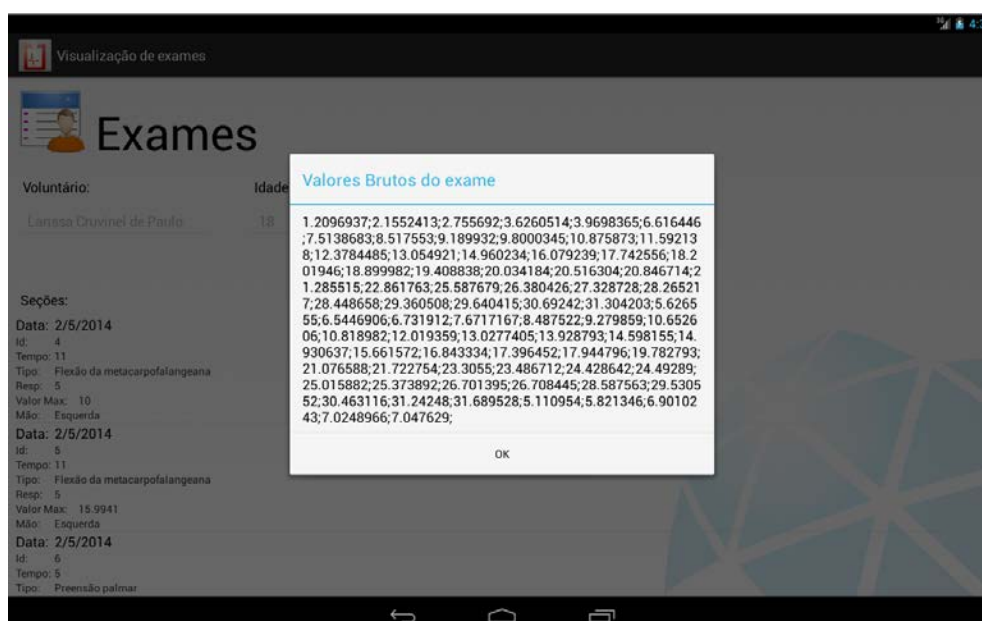
Figura 29 - Exames de um determinado paciente.



Fonte: do próprio autor.

O banco de dados armazena todos os valores recebidos para os exames. Todos eles estão disponíveis por meio desta tela, no formato no qual são recebidos. Para visualizá-los é preciso que o usuário clique no exame. Na Figura 30 é apresentada essa opção.

Figura 30 - Exibição dos dados brutos de um exame.



Fonte: Autoria própria.

Após a exibição dos dados brutos, é aberta uma tela com as amostras do exame plotadas em um gráfico interativo. Através dele, o profissional de saúde pode analisar o exame em sua totalidade, visualizando todas as amostras adquiridas. Na Figura 31 é apresentada a captura de tela referente a essa funcionalidade.

Figura 31 - Visualização de um exame.



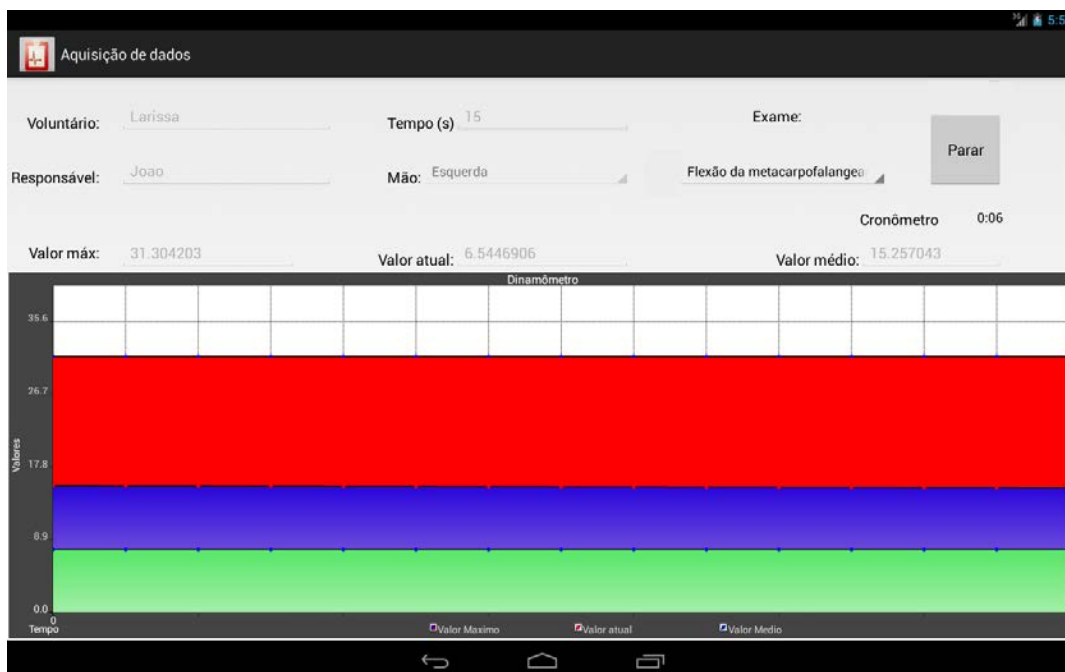
Fonte: do próprio autor.

Ao clicar no botão “nova aquisição” a tela de realização do exame é exibida e, automaticamente, preenchida com as informações do paciente selecionado.

Para inicializar um exame é preciso escolher um tempo, em segundos, qual das mãos será analisada, bem como o tipo de exame e o responsável por ele.

Os tipos de exames são definidos de acordo com o molde utilizado no dinamômetro. A foto da tela pode ser visualizada na Figura 32.

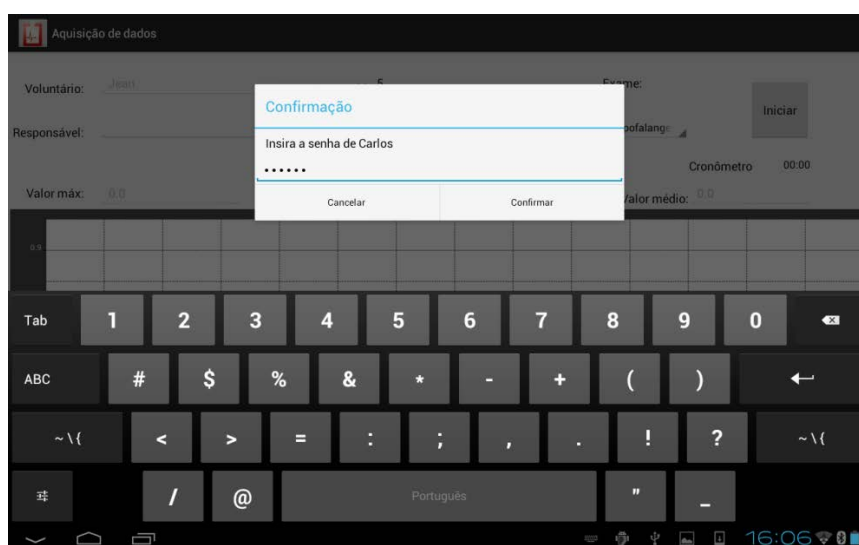
Figura 32 - Tela de aquisição de dados.



Fonte: do próprio autor.

A inserção do avaliador ocorre quando se clica no referido campo. Com isso, o sistema apresentará uma tela de pesquisa para que o usuário selecione o desejado. Após executar essa seleção, o sistema solicitará a senha do respectivo avaliador, e somente com a senha correta os testes poderão ser inicializados. A Figura 33 exibe o sistema solicitando a senha.

Figura 33 - Inserção da senha na tela de aquisição de dados.



Fonte: do próprio autor.

Toda a conexão com o dinamômetro é feita através da *Activity* dessa tela. O vínculo do aplicativo com o dinamômetro ocorre automaticamente no momento em que a tela é instanciada na memória do dispositivo e para isso, existe um tempo de espera de 5 segundos até que as funcionalidades sejam habilitadas.

No momento em que a conexão é efetivada, o programa paraleliza a execução do código criando duas tarefas distintas, conhecidas por *threads*. Uma *thread* é responsável pelo envio de dados e componentes internos da tela, e outra exclusiva para recebimento dos dados externos.

Tal abordagem foi necessária, uma vez que, de acordo com Android Developers (2013), a função disponível no Android para recebimento de um fluxo de informações mantém o *software* pausado até que receba os dados esperados, porém, através da utilização de duas *threads* independentes, somente a que se encontra com a função de recebimento terá o código pausado.

O início do recebimento dos dados são eventos disparados através do clique do botão “Iniciar”.

A comunicação do circuito do dinamômetro com o sistema é efetivada através de um protocolo de comunicação criado para que os dois dispositivos façam a transmissão e recepção de uma forma controlada.

Quando o usuário clicar no botão nomeado “Iniciar”, o *software* começa a enviar as solicitações de dados para o microcontrolador do circuito, via *bluetooth*. A solicitação tem o formato “a ” (vogal “a” seguida de um espaço em branco). O microcontrolador, que está esperando tal combinação, ao recebê-la, devolve o valor que os sensores estão gerando, em kgf, restituindo para o *tablet* um dado no formato “ix.xx^f”, onde a letra “x” é um valor numérico. A vogal “i” indica o início do valor e a consoante “f” o final.

O sistema, identificando essa sequência, verifica se ela está no formato correto, retira as letras e exibe esse valor.

A comunicação continua até o instante que o avaliador definiu para seu encerramento, para só então finalizá-la, exibir uma mensagem de sucesso e salvar as informações no Banco de Dados, referenciando tanto o paciente quanto o avaliador.

O fluxograma da Figura 34 ilustra como o procedimento ocorre.

Figura 34 - Fluxograma dos passos executados para a aquisição *bluetooth*.



Fonte: do próprio autor.

5.2.5 Evolução

Nessa área do sistema, todas as informações relacionadas a um determinado paciente são agregadas para visualização e análise por meio de gráficos. São listadas também a quantidade de sessões e as datas do primeiro e do último exame. Os gráficos podem ser incrementados de acordo com a necessidade do responsável pela avaliação. Através das caixas de seleção “Mãos” e “Exames” o usuário pode, por meio do botão “Adicionar”, selecionar os parâmetros que serão exibidos no gráfico, conforme mostrado na Figura 35.

Figura 35 – Tela de análise de pacientes.



Fonte: do próprio autor.

Os gráficos podem ser avaliados conforme a necessidade de análise, limitado à legibilidade que tende a gradativamente ser reduzida com um maior número de inserções. Para cada série contida no gráfico, o sistema gera uma cor aleatória. A tela com um gráfico mais incrementado é apresentado na Figura 36.

Figura 36 - Gráficos com mais de uma série de exames inseridos.



Fonte: do próprio autor.

Para a análise, foi levado em consideração a criação de gráficos interativos. O usuário pode manipulá-los com gestos de arrastar, para percorrer os valores, e também fazer o gesto de pinça para ampliá-los, gerando assim uma a melhor visualização de um determinado trecho.

5.2.6 Módulo de Configurações

Nessa tela podem ser realizadas algumas alterações referentes à captura de dados e sua exibição. As funcionalidades foram separadas em colunas para uma melhor organização:

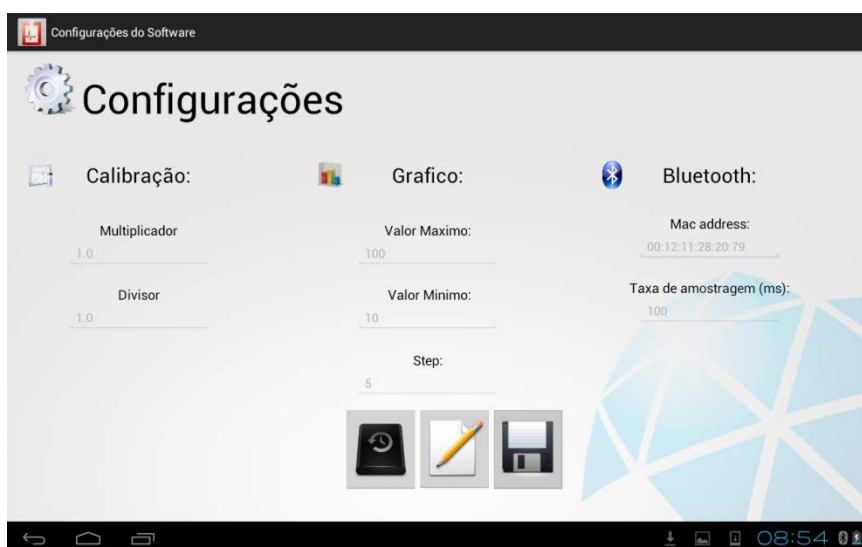
- **Calibração:** Fornece campos que podem alterar o valor recebido por meio de um campo que o divide pelo valor inserido e também um outro, que o multiplica;
- **Gráfico:** Essa área de configuração refere-se à exibição do gráfico da tela de exames. Pode-se alterar os valores máximos a serem apresentados no gráfico bem como o

menor valor. Por fim pode-se alterar o *Step*, que é responsável pelo intervalo entre os valores dos eixos no gráfico;

- *Bluetooth*: Os campos disponíveis permitem alterar o endereço do adaptador *bluetooth* que irá fornecer os dados do dinamômetro e também a taxa de amostragem da transmissão.

A tela pode ser visualizada na Figura 37.

Figura 37 - Tela de configurações do sistema.



Fonte: do próprio autor.

É possível também fazer uma cópia de segurança do banco de dados do aplicativo na memória externa do dispositivo por meio do clique no botão “Fazer *Backup*”.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

O processo de caracterização do equipamento foi realizado com o dinamômetro suspenso através de uma estrutura metálica, sendo a força aplicada através de uma amarra de aço diretamente sobre seu eixo de simetria.

Foram utilizados pesos medidos por uma balança de precisão da marca Marte, modelo AS2000C, com carga máxima de 2 quilogramas e resolução de 0,01 gramas.

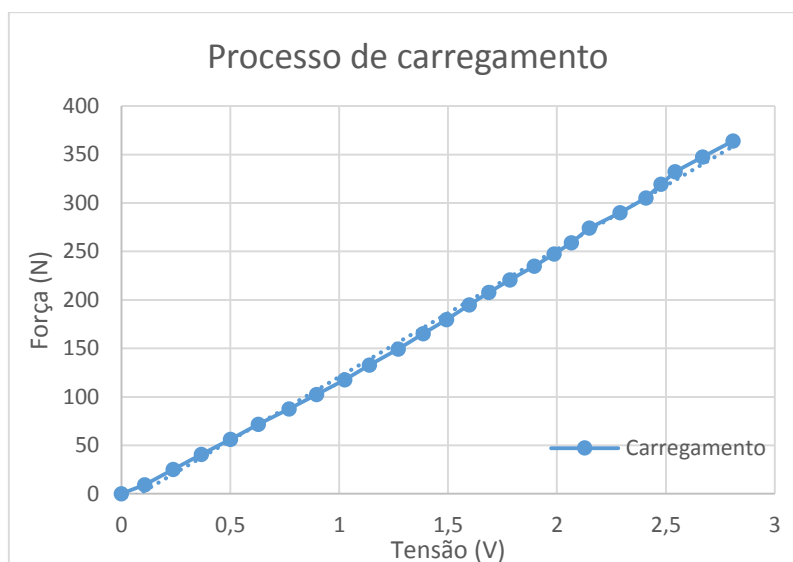
A resolução do dinamômetro encontra-se limitada à resolução do microcontrolador. Para este estudo escolheu-se a resolução de 14 bits.

A resposta do dinamômetro foi medida por meio da transmissão *bluetooth* e diretamente pelo *software* de aquisição desenvolvido. Os pesos foram inseridos sequencialmente de forma crescente e depois retirados na mesma ordem para caracterizar as curvas de carregamento e descarregamento.

Para cada valor aferido, o *software* calculou uma média de 10 segundos com um intervalo de 200 ms entre cada amostra.

Após 3 ensaios com intervalo entre 5 minutos entre cada um, produziu-se a reta de carregamento apresentada na Figura 38.

Figura 38 - Curva do processo de carregamento.



Fonte: do próprio autor.

A curva resposta do processo de carregamento é dada pela equação:

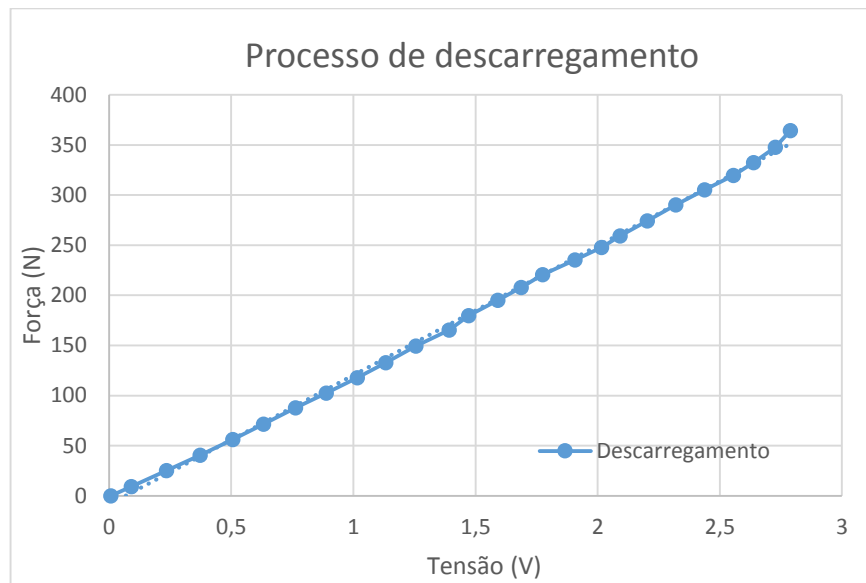
$$y = 131,41x - 11,064 \quad (1)$$

na qual y é dado em Newtons e x em Volts. O coeficiente de correlação é de 0,9979.

Sendo o fundo de escala de 5V, a variação mínima de tensão é de 0,3mV, produzindo uma resolução teórica de 0,04N.

A resposta do processo de descarregamento produzido está ilustrado na Figura 39.

Figura 39 - Curva do processo de descarregamento.



Fonte: do próprio autor.

A curva resposta do processo de descarregamento é dada pela equação:

$$y = 128,98x - 8,7509 \quad (2)$$

na qual y é dado em Newtons e x em Volts. O coeficiente de correção é de 0,9986.

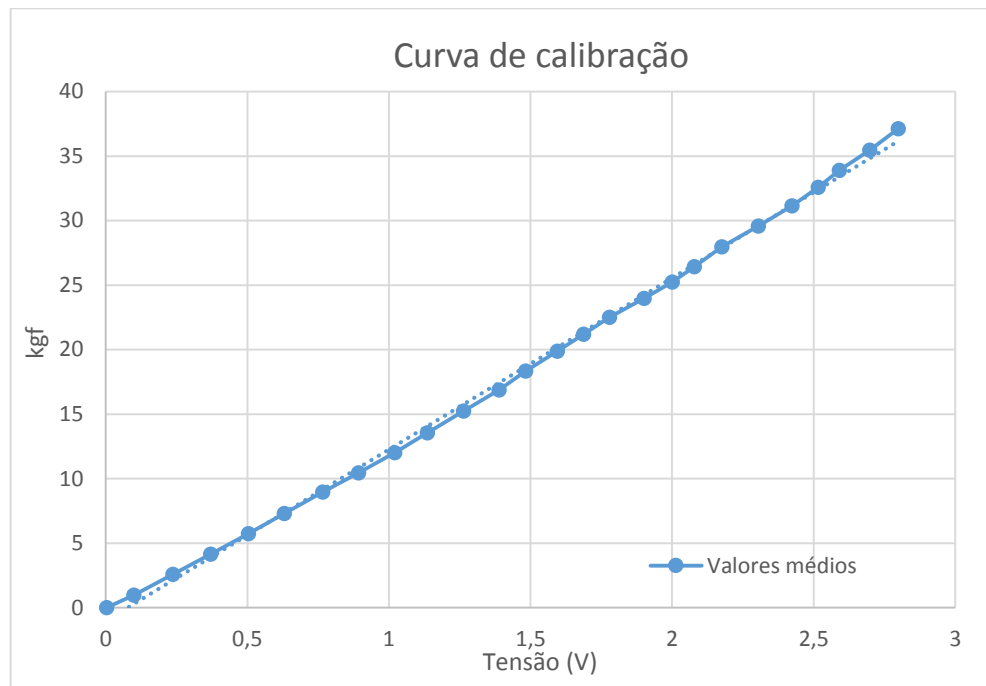
A curva de calibração foi produzida pela média aritmética da carga de descarga dos 3 ensaios.

Para essa curva, os valores originalmente adquiridos em Newtons foram convertidos em quilogramas força (kgf), visto que nas avaliações com voluntários, os valores de força necessitariam ser expressos em quilogramas força (kgf).

Essa abordagem é necessária para que os valores mensurados e apresentados na tela do aplicativo se assemelhassem aos encontrados em dispositivos comerciais.

A curva utilizada encontra-se na Figura 40.

Figura 40 - Curva de calibração.



Fonte: do próprio autor.

A curva resposta do processo de descarregamento é dada pela equação:

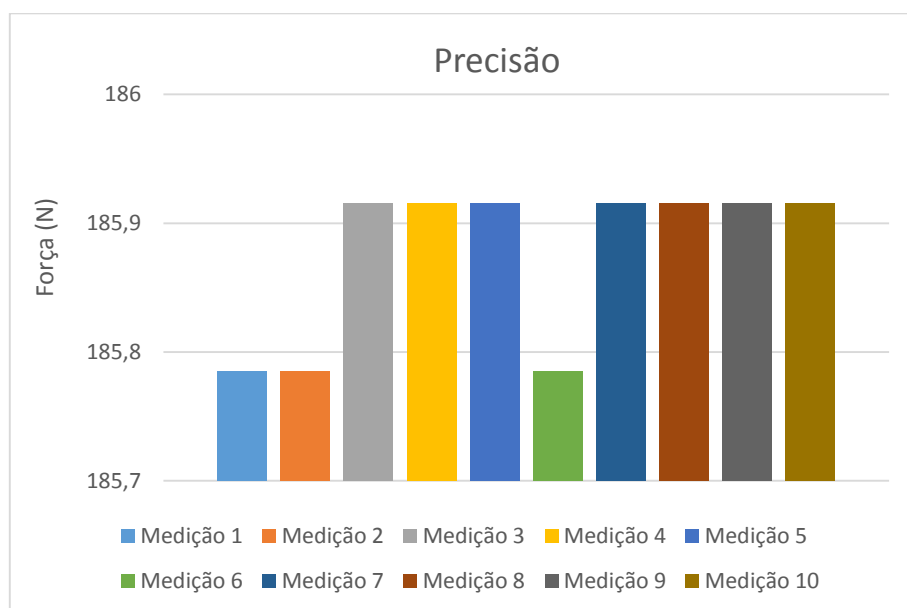
$$y = 13,279x - 1,0133 \quad (3)$$

sendo y dado em kgf e x em Volts. O coeficiente de correlação é de 0,9984.

A precisão do sistema foi avaliada a partir de 10 aferições de um mesmo valor de força. O ponto escolhido foi próximo ao centro da reta de carregamento, com um valor de 185 Newtons.

As medidas foram adquiridas por meio do aplicativo, com médias feitas em 10 segundos com um intervalo de 200 ms entre cada amostra. Os valores podem ser vistos na Figura 41.

Figura 41 - Avaliação da precisão do sistema.



Fonte: do próprio autor.

A mensuração da precisão evidenciou dois valores distintos na medição, com uma precisão de 0,064% e um desvio padrão de 0,06 N.

Obteve-se também com a caracterização do sistema os seguintes valores:

- Erro provável: 0,11%;
- Histerese: 0,535%;
- Sensibilidade: 131,4 N/V (para a curva de carregamento).

5.4 AVALIAÇÃO DE PACIENTES

Conforme autorização do Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências e Tecnologia do Campus da UNESP de Presidente Prudente e pelo CONEP (Processo No. 2.2161.5139.0000.5402) as medições com voluntários foram realizadas no CEREST – Centro de Referência em Saúde do Trabalho, de Ilha Solteira.

Cada voluntário preencheu uma ficha com informações pessoais, disponível ao fim deste trabalho no anexo A.

Todas as avaliações foram supervisionadas por um fisioterapeuta e realizadas no mesmo horário em dias distintos para todos os voluntários.

Foram adotados os procedimentos recomendados pela Sociedade Americana de Terapia da Mão. Para cada paciente foram realizadas duas medições de 3 segundos com cada mão, caracterizando uma bateria de medições. Foram realizadas duas baterias com intervalo de uma semana para todos os voluntários.

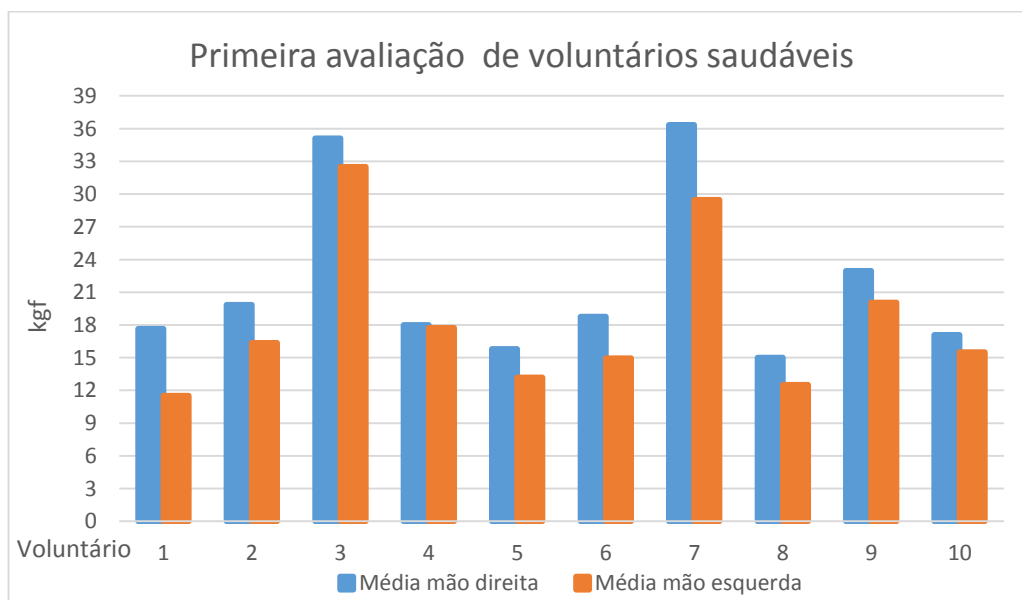
Os exames foram realizados em sua totalidade com o sistema Android instalado no *tablet* Motorola Xoom.

5.4.1 Avaliação de voluntários sem patologia

A amostra de voluntários com mãos saudáveis é constituída de 10 pessoas, sendo 8 do sexo feminino e 2 do sexo masculino, com idades entre 22 e 44 anos, todos com dominância destra.

As métricas apresentadas na Figura 42 foram alcançadas com a média ponderada das duas aquisições com voluntários com mãos anatomicamente saudáveis no primeiro dia de avaliação.

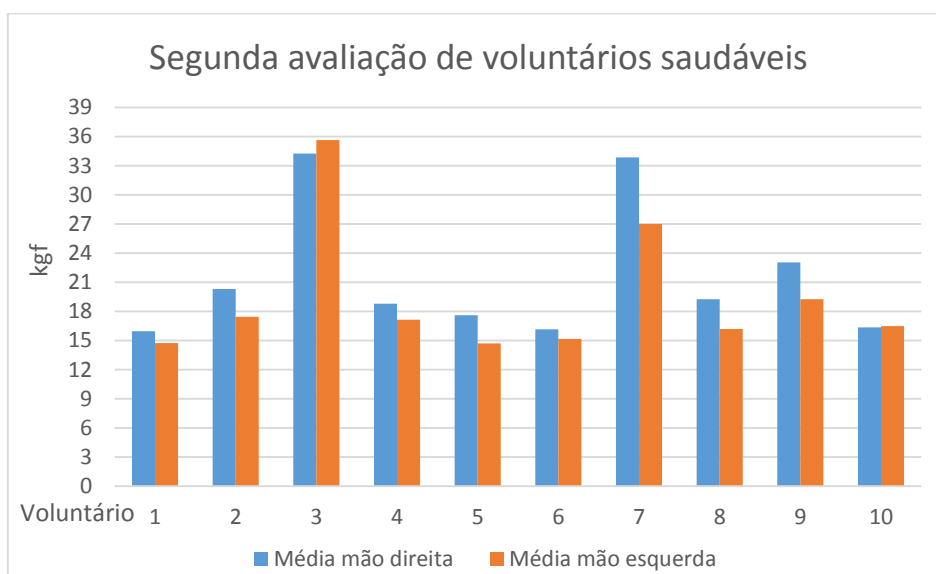
Figura 42 – Força de preensão máxima de voluntários hígidos, dia 1.



Fonte: do próprio autor.

O gráfico na Figura 43 exhibe os dados médios adquiridos no segundo dia de avaliações.

Figura 43 - Força de preensão máxima de voluntários hígidos, dia 2.



Fonte: do próprio autor.

É possível notar que os valores mensurados mantiveram-se razoavelmente estáveis com o intervalo de uma semana para todos os voluntários. Com isso evidencia-se a repetibilidade do equipamento utilizado.

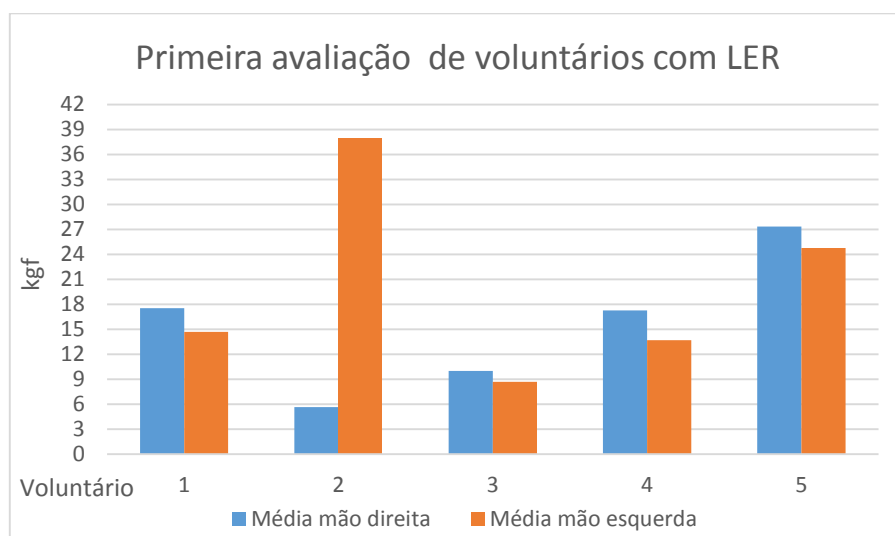
Por meio do gráfico também é possível visualizar que devido à dominância 100% destra das pessoas avaliadas, a mão não dominante apresenta força de preensão razoavelmente menor do que a mão dominante. Bem como nota-se que os voluntários número 3 e 7, que são do sexo masculino, são capazes de exercer uma força máxima maior que os outros voluntários.

5.4.2 Avaliação de voluntários com patologias nas mãos

Foram também realizadas medições com pacientes com patologias nas mãos. Avaliou-se uma amostra de 10 pessoas, 5 com LER e 5 com algum outro trauma acometendo a estrutura osteomioarticular da mão. Todos os voluntários encontravam-se em tratamento, entretanto, em etapas diferentes, bem como possuíam diversas etiologias de doença.

A amostra de pacientes com LER é constituída de 3 mulheres e 2 homens, com idade entre 42 e 52 anos, todos com dominância destra. Os valores obtidos durante o primeiro dia de testes estão apresentados no gráfico da Figura 44.

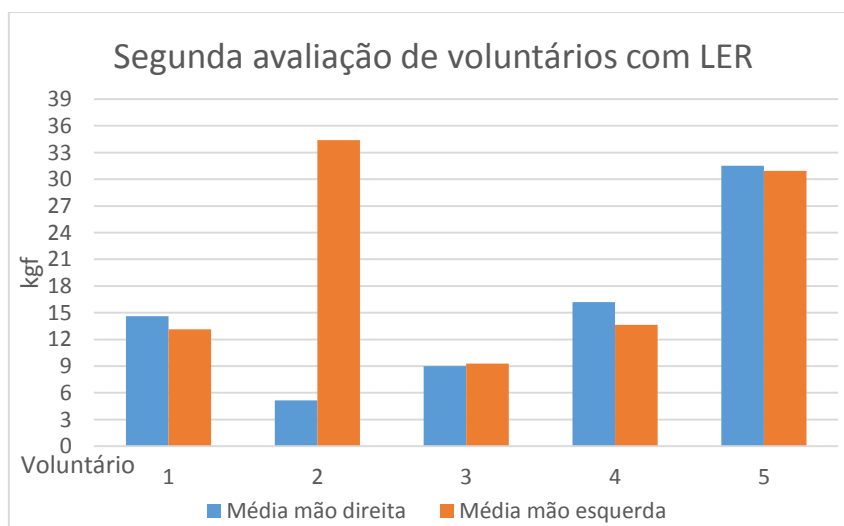
Figura 44 - Força de preensão máxima de voluntários com LER, dia 1.



Fonte: do próprio autor.

Na Figura 45 mostra-se a força de preensão máxima de pacientes com LER, no segundo dia de testes.

Figura 45 - Força de preensão máxima de voluntários com LER, dia 2.



Fonte: do próprio autor.

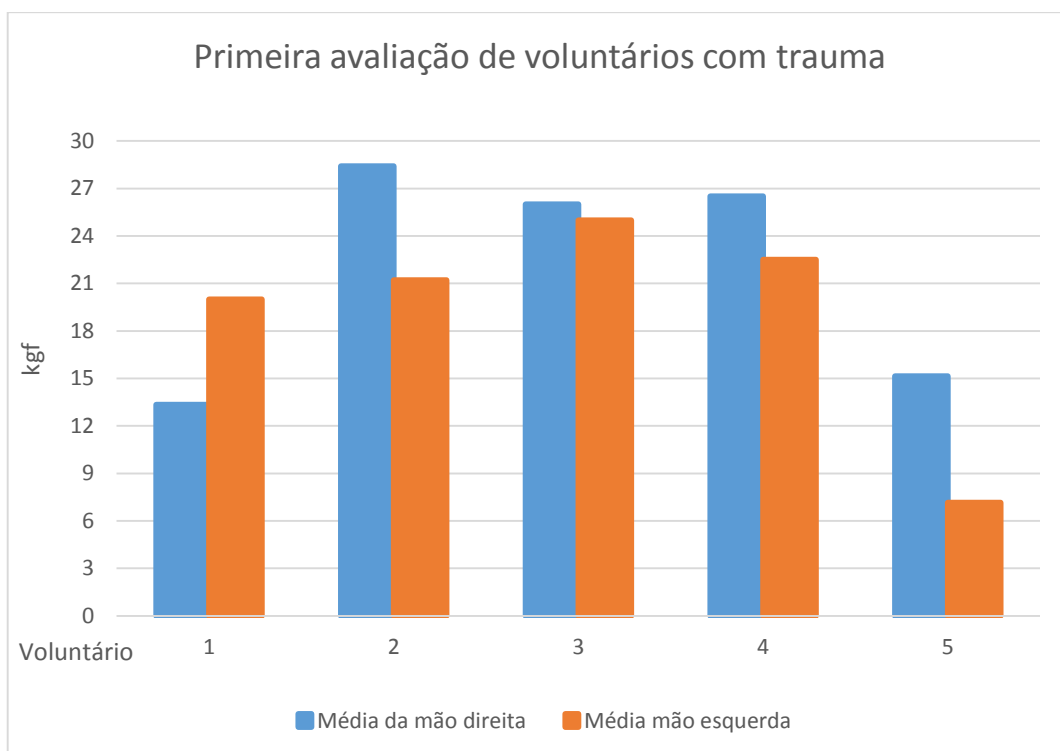
Dentre os voluntários avaliados com LER, o voluntário nº 2 apresentava um grau avançado na mão direita.

As medições apresentaram uma diferença considerável entre os valores de preensão de cada mão. Para o primeiro dia, a mão direita apresentou 13% da força da mão esquerda e no segundo dia, 14%.

A amostra de voluntários com lesões diversas é constituída de 4 mulheres e 1 homem, com lesões que comprometeram através de traumas de etiologias variadas, a estrutura do membro superior.

A idade dos indivíduos está entre 26 e 53 anos, todos com dominância destra. A média do primeiro dia de medições pode ser visualizado na Figura 46.

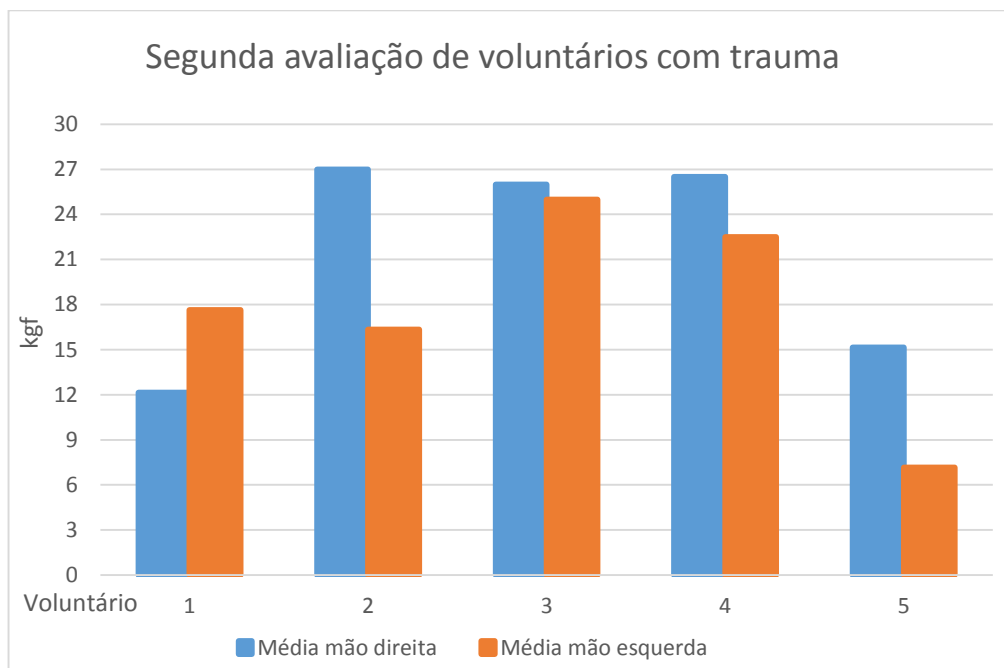
Figura 46 - Valores de força de preensão médios de voluntários com trauma, dia 1.



Fonte: do próprio autor.

Os valores mensurados no segundo dia de avaliação estão exibidos na Figura 47.

Figura 47 - Valores de força de preensão médios de voluntários com trauma, dia 2.



Fonte: do próprio autor.

A etiologia variada dos voluntários e o fator de estarem em etapas distintas do tratamento e possuírem lesões variadas ocasionaram também medições variáveis. Para o caso de traumas, pode-se evidenciar o voluntário 1, que sofreu lesão no nervo ulnar na mão direita. Para este caso, todos os valores mensurados na mão com lesão ficaram abaixo da mão saudável. No primeiro dia a mão lesada exerceu apenas 65% da força exercida pela mão saudável e, no segundo dia, 68%.

5.4.3 Avaliação dos músculos lumbricais

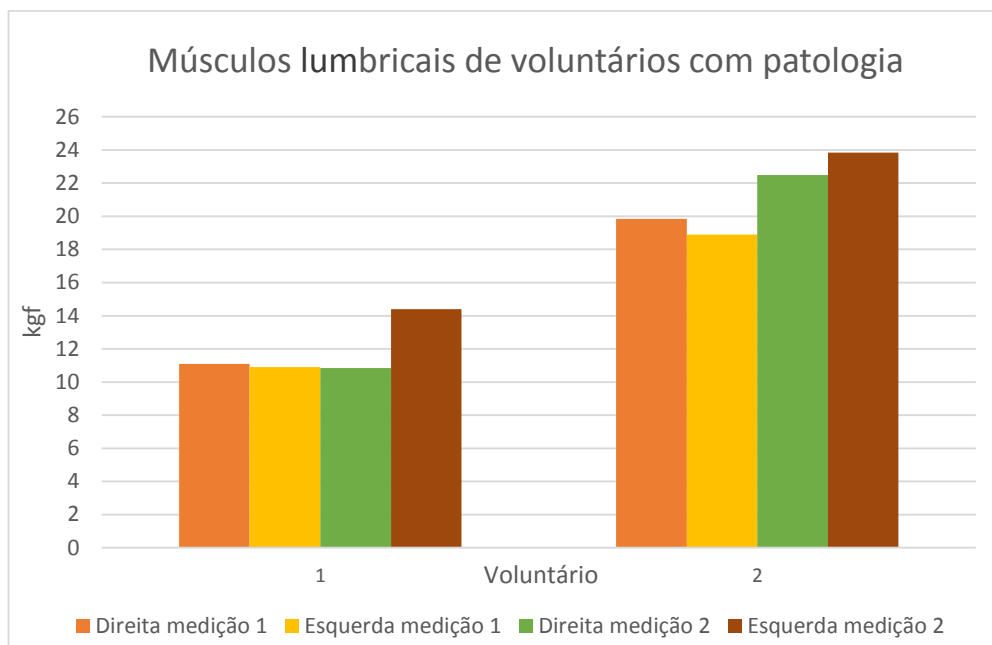
Também foi avaliado a utilização de um molde que proporcionou a medição de um tipo de força exercida pelas mãos que não é possível ser medida em dinamômetros comerciais.

Utilizou-se moldes específicos para medição da força produzida pelos músculos lumbricais. Manteve-se a metodologia das avaliações anteriores, exceto a posição do membro superior que, para esse caso, ficou em supinação.

Foram efetivadas medidas com voluntários com LER também submetidos aos exames de preensão palmar. A amostra foi de 1 voluntário do sexo feminino e 1 do sexo masculino com idades de 38 e 54 anos, respectivamente, e ambos com dominância destra.

Os valores obtidos podem ser vistos na Figura 48.

Figura 48 - Força dos músculos lumbricais em voluntários com LER.



Fonte: do próprio autor.

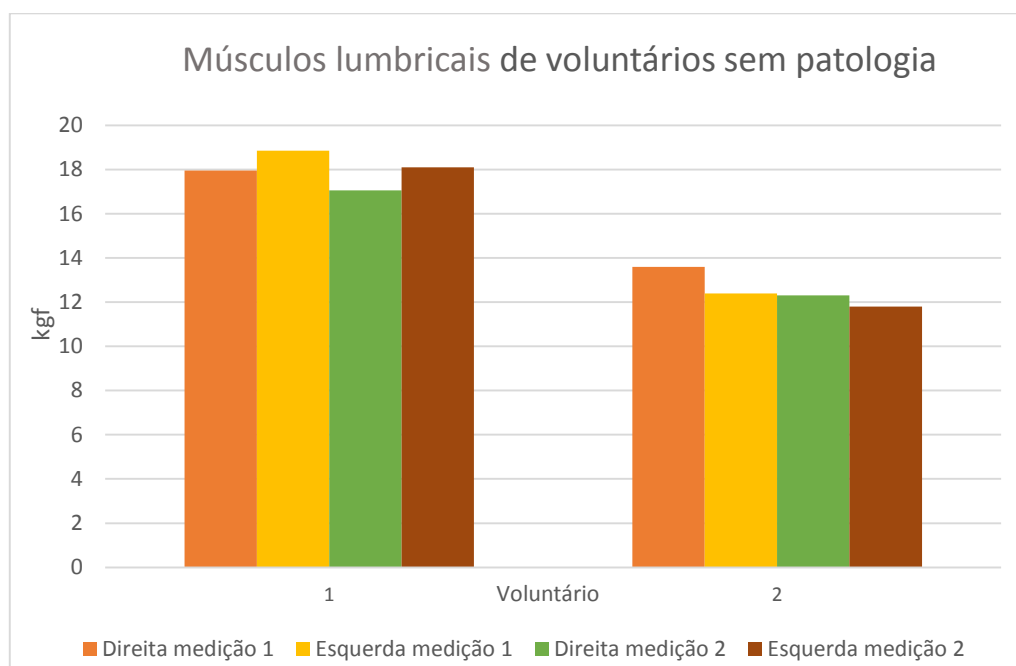
No voluntário 1, a força exercida pelos músculos lumbricais da mão direita corresponde a 76% de sua força de preensão palmar máxima e na mão esquerda este percentual é de 68%. No voluntário 2, o percentual é de 68% para a mão direita e 71% para a esquerda.

Por fim, foram feitas medições com voluntários hígidos que também realizaram avaliações de força de preensão palmar.

A amostra foi composta de 2 pessoas do sexo feminino com dominância destra e idades de 26 e 27 anos.

Os valores adquiridos no exame em questão podem ser visualizados na Figura 49.

Figura 49 - Força dos músculos lumbricais em voluntários hígidos.



Fonte: do próprio autor.

O voluntário 1 alcançou com a mão esquerda um valor de 77% e com a direita, 73% em relação à força máxima de preensão palmar.

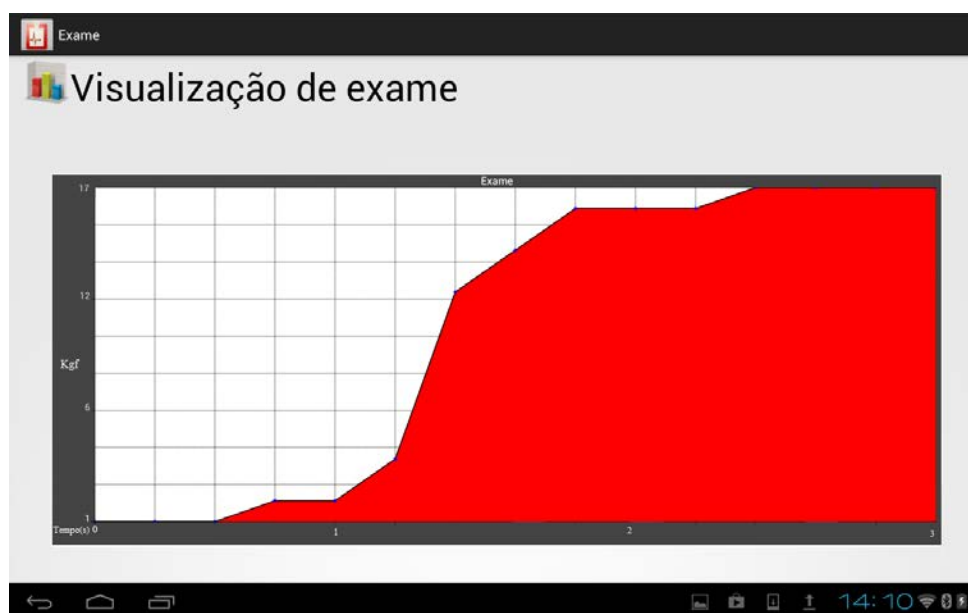
Para o voluntário 2 mediu-se um valor de 76% para mão direita e 68% para esquerda também em relação à força máxima de preensão palmar.

5.4.4 Exibição das informações adquiridas em um exame

A capacidade do sistema de fornecer uma análise do exame em toda a sua extensão pode ser vista nas informações apresentadas nas figuras seguintes.

A Figura 50 apresenta um dos exames de preensão palmar de um voluntário do sexo feminino executado em 3 segundos.

Figura 50 - Exame de preensão palmar da mão direita de um voluntário hígido.

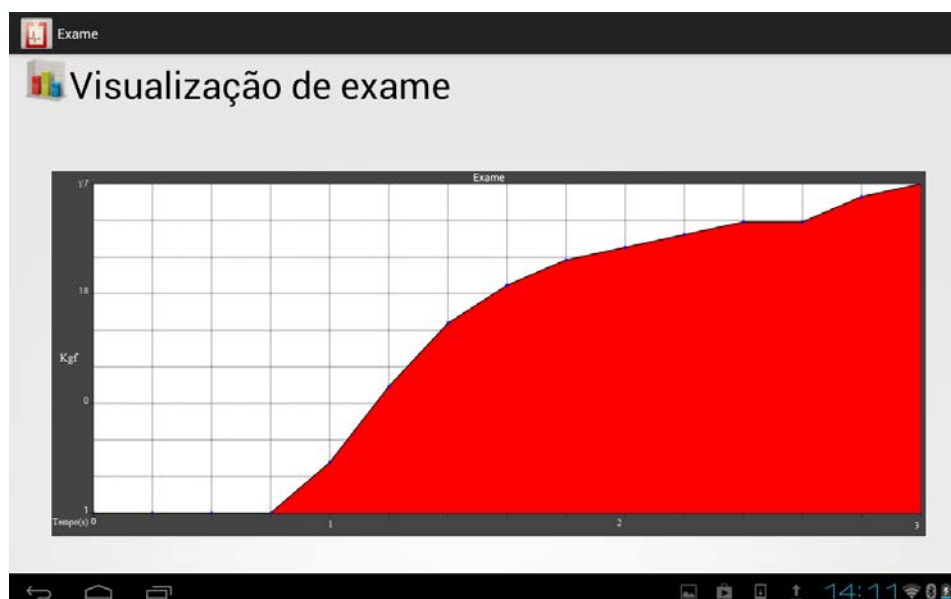


Fonte: do próprio autor.

Observa-se uma força inicial capaz de atingir rapidamente o seu máximo e com a aptidão de mantê-la até a finalização da medição.

A Figura 51 exibe uma medição realizada em um voluntário do sexo masculino com patologia, utilizando a mão direita, em 3 segundos.

Figura 51 - Exame de preensão palmar da mão direita de um voluntário com patologia.



Fonte: do próprio autor.

Nota-se um acréscimo gradativo menor, evidenciando uma dificuldade maior em atingir um pico de força em relação ao voluntário sem patologia.

5.4.5 Comparação com o dinamômetro Saehan

Realizou-se uma comparação com um dinamômetro biomédico da marca Saehan disponível no CEREST de Ilha Solteira.

O modelo utilizado possui um valor máximo mensurável de 100 kgf, com marcações a cada 2 kgf, e empunhadura ajustável em até 4 tamanhos. Pode ser visualizado na Figura 52.

Figura 52 - Dinamômetro Saehan disponível no CEREST de Ilha Solteira.



Fonte: do próprio autor.

Foram realizadas medições com dois voluntários, um contendo LER e outro com a mão não patológica em dois dias distintos e mantendo a metodologia apresentada anteriormente.

Os valores adquiridos pelo dinamômetro Saehan foram anotados e as medições do dinamômetro *bluetooth* foram visualizadas e armazenados no banco de dados pelo aplicativo desenvolvido.

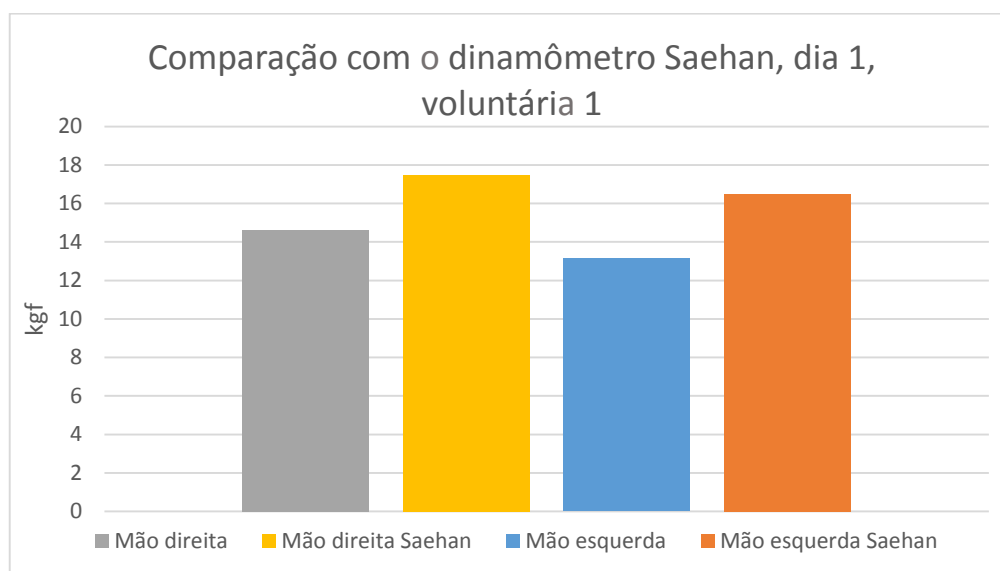
Para todas as avaliações, o dinamômetro Saehan foi mantido com a regulagem de empunhadura no tamanho máximo, e o dinamômetro deste estudo com os moldes, para se assemelharem, e com a empunhadura no tamanho mínimo.

Notou-se que o dinamômetro com os moldes e regulado no tamanho mínimo, apresenta uma empunhadura 22% maior que o dinamômetro Saehan na regulagem de tamanho máximo.

No primeiro dia as voluntárias do sexo feminino foram orientados a executar inicialmente a preensão palmar no dinamômetro Saehan para ambas as mãos, duas vezes e, em seguida, com o dinamômetro objeto deste estudo.

Os valores para a voluntária 1 estão apresentados na Figura 53.

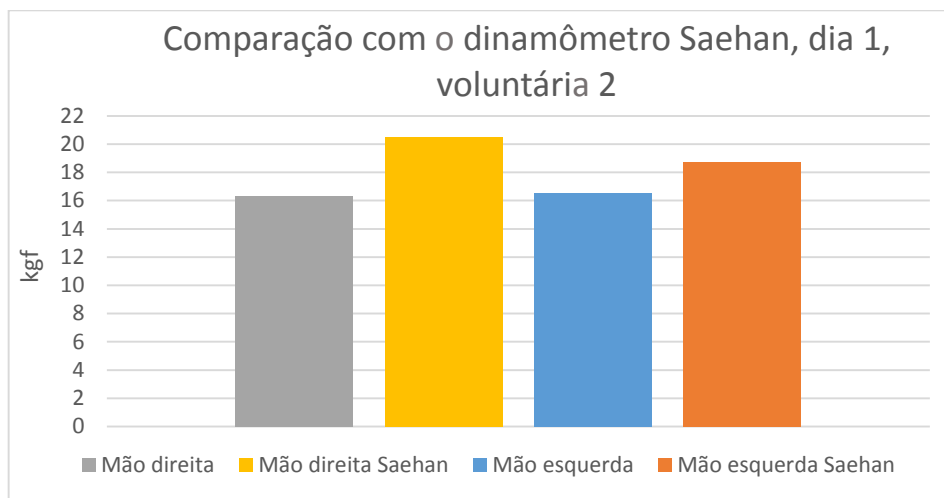
Figura 53 - Comparação com o dinamômetro Saehan, primeiro dia, voluntária 1.



Fonte: do próprio autor.

As aquisições para a voluntária 2, realizadas em seguida, podem ser vistas na Figura 54.

Figura 54 - Comparação com dinamômetro Saehan, primeiro dia, voluntária 2.

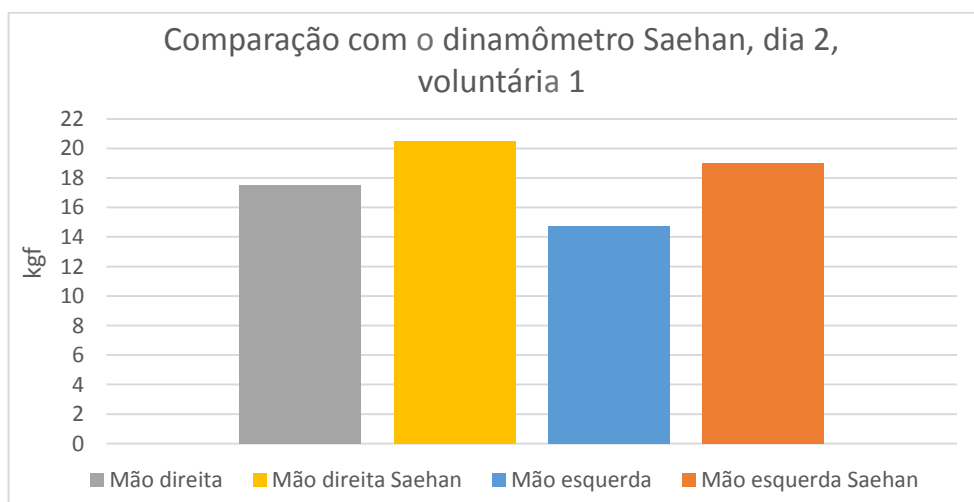


Fonte: do próprio autor.

Para o primeiro dia, a voluntária 1, utilizando o dinamômetro desse estudo, alcançou 83% do valor obtido com o dinamômetro Saehan para a mão direita e 79% para a mão esquerda. Os valores, para a segunda voluntária, ficaram em 79% e 88% para as mãos direita e esquerda, respectivamente.

No segundo dia de avaliação, a ordem de utilização dos dinamômetros foi invertida para eliminar eventuais diferenças relacionadas à fadiga proveniente da realização das prensões. Os valores adquiridos com a primeira voluntária encontram-se na Figura 55.

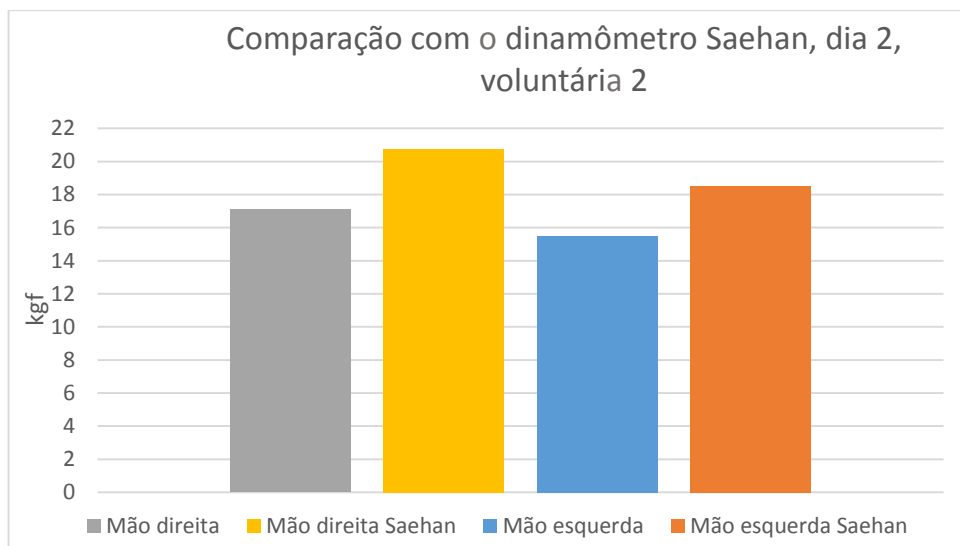
Figura 55 - Comparação com dinamômetro Saehan, segundo dia, voluntária 1.



Fonte: do próprio autor.

Através da Figura 56 pode-se visualizar os valores mensurados no segundo dia com o segundo voluntário.

Figura 56 - Comparação com dinamômetro Saehan, segundo dia, voluntária 2.



Fonte: do próprio autor.

Foram registrados, no segundo dia, para a primeira voluntária, percentuais de 85% para a mão direita e 77% para a mão esquerda do valor de força de preensão máxima medida com o dinamômetro Saehan. A segunda voluntária alcançou valores de 82% e 83% para as mãos direita e esquerda, respectivamente.

Em média, o dinamômetro objeto deste estudo, apresentou valores aproximadamente 18% menores que os medidos com o Saehan.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho, realizou-se o aprimoramento do dinamômetro biomédico implementado por Santos (2009), na sua parte eletrônica, com a finalidade de medir e armazenar em um dispositivo móvel, como um *tablet*, os valores de forças exercidas pelas mãos de pacientes.

A interface *bluetooth* implementada por meio de um protocolo de comunicação e do dispositivo Zuchi ZT-05 foi capaz de transmitir as informações de maneira adequada, permitindo a recepção correta das informações por parte do aplicativo.

O *software* desenvolvido gerenciou, de forma adequada, as medições das forças exercidas pelas mãos de 10 pacientes hígidos e 10 com patologias nas mãos, expondo informações detalhadas sobre cada exame.

Com isto, o objetivo principal do trabalho foi atingido. Assim, o profissional de saúde, utilizando o dinamômetro e o aplicativo implementados, pode acessar rapidamente e analisar, com base nas diversas medições realizadas, as forças exercidas por pacientes com patologias nas mãos, em diferentes fases de seu tratamento, visando avaliar se este está sendo ou não eficaz.

Por meio das avaliações de voluntários realizadas por meio do *software* e da utilização de moldes específicos, o dinamômetro pode medir forças de diferentes grupos musculares que contribuem para a força de preensão, o que não é possível com os dinamômetros comerciais. Neste estudo, mediu-se com um dinamômetro, pela primeira vez, a força exercida pelos músculos lumbricais de pacientes.

Os valores de forças exercidas pelas mãos medidos com o dinamômetro implementado foram cerca de 18% menores que os medidos com um dinamômetro comercial Saehan. Isto se deve, provavelmente, ao fato do maior desconforto para o voluntário exercer força com o dinamômetro implementado, devido ao maior tamanho e peso de sua estrutura mecânica, quando comparado com o dinamômetro comercial.

Devido a esta constatação, sugere-se, como trabalho futuro, diminuir-se o tamanho e o peso da estrutura mecânica do dinamômetro para que o paciente possa nele exercer forças com as mãos adequadamente, sem nenhum desconforto.

O aplicativo pode também receber melhorias como a utilização dos dados adquiridos para construir um prontuário ou a geração de relatórios em texto para a impressão, caso o profissional de saúde necessite.

REFERÊNCIAS

- ANDROID DEVELOPERS. **A public abstract class InputStream**. Califórnia, Estados Unidos, 2013. Disponível em: <http://developer.android.com/reference/java/io/InputStream.html>. Acesso em: 6 nov. 2013.
- _____. **Get the Android SDK**. Califórnia, Estados Unidos, 2013. Disponível em: <http://developer.android.com/sdk/index.html> Acesso em: 1 nov. 2013.
- _____. **Managing projects**. Califórnia, Estados Unidos 2013. Disponível em: <http://developer.android.com/tools/projects/index.html>, Acesso em: 1 nov. 2013.
- ANDROID. **Android 4.2: a new flavor of Jelly Bean**. Califórnia, Estados Unidos, 2013. Disponível em: <http://www.android.com/whatsnew/> Acesso em: 8 ago 2013.
- ASSUNÇÃO A. A.; VILELA L. V. O. **Lesões por esforço repetitivo: um guia para profissionais de saúde**. Belo Horizonte: Verônica Cavalieri,, 2009. 168 p.
- BLUETOOTH SPECIAL INTEREST GROUP. **Specification adopted documents**: newly released: bluetooth core specification 4.1. Washington, Estados Unidos, 2014. Disponível em: <https://www.bluetooth.org/en-us/specification/adopted-specifications> acesso em: 2 fev. 2014.
- BONTRAGER K. L.; LAMPIGNANO J. **Tratado de posicionamento radiográfico e anatomia**. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 859 p.
- CAETANO, E. B. Anatomia funcional da mão. In: PARDINI JÚNIOR, A. G. **Traumatismos da mão**. 3. ed. Rio de Janeiro: Medsi, 2000. p. 7-59.
- CARLO, M. M. R. P.; BARTALOTTI, C. C. **Terapia ocupacional no Brasil: fundamentos e perspectivas**. 2. ed2. São Paulo: Plexus, 2001. 183 p.
- COELHO, A. **Java com orientação a objetos**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2012. 144p.
- DAI, J.; BAI, X.; YANG, Z.; SHEN, Z.; XUAN, D. **PerFallD: a pervasive fall detection system using mobile phones**. In: PERVASIVE COMPUTING AND COMMUNICATIONS WORKSHOPS –PERCOM; IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, 8, 2010, Alemanha. **Proceedings...**Alemanha, Mannheim, 2010. P..292-297.

DATE, C. J. **Introdução a sistemas de banco de dados**. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004. 871 p.

DEITEL, H. M. **XML como programar**. Porto Alegre: Bookman, 2003. 972 p.

_____. **Java como programar**. 8. ed, São Paulo: Pearson Education, 2010. 1114 p.

DIAS, J. A.; OVANDO, A. C.; KULKAMP, W.; JUNIOR, N. G. B. Força de preensão palmar: métodos de avaliação e fatores que influenciam a medida, **Rev. Bras. Cineantropom. desempenho Hum.** Florianópolis, v.12, p. 209-216, 2010.

FERRON, M.; RANCANO, J. **Grande atlas do corpo humano**. São Paulo: Manole, 2007. 560 p.

FESS, E. E. Grip strength. In: CASANOVA, J. S. **Clinical assessment recommendations**. 2nd ed. Chicago: American Society of Hand Therapists, 1992. p. 41-45.

FREEMAN, R. **Oracle**: referência para O DbA. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 598 p.

GARGENTA, M. **Learning Android**. United States: O'Reilly Media, 2011. 248 p.

GEHRMANN, C.; PERSSON, J.; SMEETS B. **Bluetooth security**. Estados Unidos: Artech house, 2004. 217 p.

GSMARENA. **Motorola XOOM MZ604**. Estados Unidos 2011. Disponível em: <http://www.gsmarena.com/motorola_xoom_mz604-3833.php> Acesso em: 9 nov 2013.

HOPPENFELD, S. **Propedêutica ortopédica coluna e extremidades**. São Paulo: Ateneu, 1993. 273 p.

HORSTMANN, C. **Conceitos de computação com o essencial de Java**. 3. ed. São Paulo: Artmed, 2003. 780 p.

JABER, R.; HEWSON, D. J.; DUCHÊNE, J. Design and validation of the Grip-ball for measurement of hand grip strength. **Medical Engineering & Physics**, Inglaterra, v. 34, n. 9, p 1356 – 1361, 2012.

JAVA, **Obtenha informações sobre a tecnologia java**. Califórnia, Estados Unidos, 2013. Disponível em: <http://www.java.com/pt_BR/about/> Acesso em: 6 nov. 2013.

JUNG, S.; MYLILLA, R.; CHUNG, W. Wireless machine-to-machine healthcare solution using android mobile devices in global Networks. **IEEE Sensors Journal** , Reino Unido, v. 13, n. 5, p. 1419-1424, 2013.

KAPANDJI, I. A. **Fisiologia articular**. 2. ed. São Paulo: Manole, 1990. 302 p.

KONIN, J. **Cinesiologia prática para fisioterapeutas**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2006. 296 p.

KUMAR, C. B.; KLINE, P. J.; THOMPSON, T. J. **Bluetooth application programming with the Java APIs**. Estados Unidos: Morgan Kaufmann, 2008. 304 p.

KUORINKA, I.; FORCIER, L. **Work-related musculoskeletal disorders (WMDs): a reference book for prevention**. Great Britain: Taylor & Francis, 1995. 421 p.

KYOWA. ELECTRONIC INSTRUMENTS CO. **Japão**, 2013. Disponível em: <<http://www.kyowa-ei.co.jp/eng/>>. Acesso em: 2 nov. 2013.

LEITE, M. **Acessando bancos de dados com ferramentas RAD: aplicações em delphi**. Rio de Janeiro: Brasport, 2008. 416 p.

LIN, D. C.; CHANG, J. H.; SHIEH, S. J.; TSAI, F. H.; Lee, Y. L. Prediction of hand strength by hand injury severity scoring system in hand injured patients. **Disability and rehabilitation**, Londres, v. 34, n. 5, p 423-428, 2012.

MAGEE, D. J. **Orthopedic physical assessment**. 5. ed. Canadá: Elsevier, 2005. 1020 p.

MARIEB, E.N.; HOEHN K. **Anatomia e fisiologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 1072 p.

MEDNIEKS, Z.; DORNIN, L.; MEIKE, G. B.; NAKAMURA, M. **Programming android: java programming for the new generation of mobile devices**. 2.ed. United States: O'Reilly, 2012. 566 p.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Dor relacionada ao trabalho lesões por esforços repetitivos (LER) distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (Dort)**. Brasília: Editora MS, 2012. 68 p.

MOREIRA, D.; ÁLVAREZ, R. R. A.; GOGOY, J. R.; CAMBRAIA, A. N. Abordagem sobre preensão palmar utilizando o dinamômetro JAMAR®: uma revisão de literatura, **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, Brasília v. 11 n. 2, p. 95-99, junho 2003.

MOURA, P. M. L. S. **Estudo de força de preensão palmar em diferentes faixas etárias do desenvolvimento humano. 2008. 93 f.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) - Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília-UnB, Brasília, 2008.

NAPIER, J. The prehensile movements of human hand. **The journal of Bone and Joint Surgery, Needham**, v. 38, p. 902-913, 1956.

NEUMANN, D.A. **Cinesiologia do aparelho musculoesquelético: fundamentos para reabilitação**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010. 760 p.

OSTRANDER, J. **Android UI Fundamentals: Develop & Design**. Estados Unidos: Peachpit Press, 2012. 320 p.

PHYSIO SUPPLIES, **Hand Dynamometer Jamar Plus digital with LCD Display**. Holanda, 2013 Disponível em <<http://www.physiosupplies.eu/hand-dynamometer-jamar-plus-digital-with-lcd-display>>. Acesso em 2 nov.2013.

RAMAKRISHNAN, R.; GEHRKE, J. **Sistemas de gerenciamento de banco de dados**. 3 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008. 905 p.

RAMOS, T. M. S.. **Projecto de um Dinamómetro para Avaliação da Força Preensora**. 2009. 109 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2009.

REIS, M. M.; ARANTES, P. M. M. Medida da força de preensão manual – validade e Confiabilidade do dinamômetro Saehan, **Fisioterapia e Pesquisa**, São Paulo, v.18, n.2, p. 176-181, 2011.

ROHEN, J. W.; YOKOCHI, C. **Anatomia humana**. 3. ed. São Paulo: Manole, 1993. 484p.

SANTOS, E. A. **Dinamômetro Biomédico para avaliação funcional das mãos**. 2009. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista-UNESP, Ilha Solteira – SP, 2009.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H. F.; SUDARSHAN, S. **Sistema de banco de dados**. 5 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. 781 p.

SQLITE, About: SQLite, Estados Unidos, 2014. Disponível em: <<http://www.sqlite.org/about.html>> Acesso em 29 jan 2014.

STEPHENS JL, PRATT N, MICHLOVITZ S. The reliability and validity of the Tekdyne hand dynamometer: Part II., **J Hand Ther.** N9, 1996, p. 18-26.

STONE, C. K.; HUMPHERIES, R. L. **Current: medicina de emergência**. Porto Alegre: McGraw Hill Brasil, 2013. 1024 p.

TITTEL, E. **Teoria E Prob. de Xml**, São Paulo: Bookman, 2002. 206 p.

TORTORA, G.; GRABOWSKI, S. R. **Princípios de anatomia e fisiologia**. 9 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 1228 p.

WIMER B., DONG R. G., WELCOME D. E., WARREN C., MCDOWELL T. W. Development of a new dynamometer for measuring grip strength applied on a cylindrical handle, **Medical Engineering & Physics**, n 31, 2009, p. 695–704.

ANEXOS

ANEXO A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Título da Pesquisa: “**AVALIAÇÃO DE PACIENTES COM PATOLOGIAS NAS MÃOS UTILIZANDO UM DINAMÔMETRO BIOMÉDICO ELETRÔNICO**”

Nome do (a) Pesquisador (a): **Jean Vitor de Paulo**

Nome do (a) Orientador (a): **Aparecido Augusto de Carvalho**

1. **Participantes da pesquisa:** A população alvo será constituída por pacientes normais e pacientes com patologias nas mãos.
2. **Sobre as entrevistas:** serão coletados dados de identificação da pessoa e explicado a finalidade, bem como o modo como será realizada a pesquisa.
3. **Natureza da pesquisa:** *o (a) sr. (sra.) está sendo convidada (o) a participar desta pesquisa que tem como objetivo medir a força e precisão de suas mãos com um aparelho conhecido como dinamômetro biomédico.*
4. **Envolvimento na pesquisa:** *Ao participar deste estudo o (a) sr (sra) permitirá que o pesquisador Jean Vitor de Paulo faça medidas da força feita pelas mãos. O (a) sr. (sra.) tem liberdade de se recusar a participar e ainda se recusar a continuar participando em qualquer fase da pesquisa, sem qualquer prejuízo para o (a) sr. (sra.). Você será esclarecido(a) sobre a pesquisa em qualquer aspecto que desejar e sempre que quiser poderá pedir mais informações sobre a pesquisa através do telefone do (a) pesquisador (a) do projeto e, se necessário através do telefone do Comitê de Ética em Pesquisa.*
5. **Procedimento:** *O(a) sr. (sra.) terá que pressionar com a mão as hastes do aparelho conforme a indicação do(a) profissional de saúde presente, para que a força feita seja medida e em seguida armazenada para análise futura. Tais informações tem como finalidade avaliar o funcionamento do aparelho.*
6. **Riscos e desconforto:** *A participação nesta pesquisa não traz complicações legais e nem oferece riscos aos voluntários. Os procedimentos adotados nesta pesquisa obedecem aos Critérios da Ética em Pesquisa com Seres Humanos conforme Resolução no. 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde. Nenhum dos procedimentos usados oferece riscos à sua saúde ou dignidade.*
7. **Confidencialidade:** *Todas as informações coletadas neste estudo são estritamente confidenciais. Somente os pesquisadores e o orientador terão conhecimento dos dados.*

8. **Benefícios:** *Ao participar desta pesquisa o (a) sr. (sra.) não terá nenhum benefício direto. Entretanto, esperamos que este estudo traga informações importantes sobre o sistema desenvolvido, de forma que o conhecimento que será construído a partir desta pesquisa possa melhorar a qualidade de vida do ser humano por tornar avaliações e diagnósticos feitos por profissionais de saúde mais fáceis e precisos.*
9. **Pagamento:** *O (a) sr (sra.) não terá nenhum tipo de despesa para participar desta pesquisa, bem como nada será pago por sua participação.*

Este termo de consentimento encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma cópia será arquivada pelo pesquisador responsável, e a outra será fornecida a você. Solicitamos o seu consentimento de forma livre para participar desta pesquisa. Portanto preencha, por favor, caso concorde com a participação os itens que se seguem:

Consentimento livre e esclarecido

Declaro que concordo em participar desse estudo. Recebi uma cópia deste termo de consentimento livre e esclarecido e me foi dada à oportunidade de ler e esclarecer as minhas dúvidas.

Nome do Participante da Pesquisa

Assinatura do Participante da Pesquisa

Assinatura do Pesquisador

Assinatura do Orientador

TELEFONES PARA CONTATO

Pesquisador: (18) 3743-1000 Ramal 1955

Orientador: (18) 3743-1223

Telefone do Comitê de Ética em Pesquisa de Presidente Prudente: (18) 3229-5315