



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE REGISTRADOR PORTÁTIL PARA  
PHMETRIA ESOFÁGICA PROLONGADA E APLICATIVO ANDROID PARA  
AUXÍLIO AO EXAME**

**JÚLIA HELENA DOS SANTOS FERREIRA**

BELÉM - PA

2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA**

**JÚLIA HELENA DOS SANTOS FERREIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE REGISTRADOR PORTÁTIL PARA  
PHMETRIA ESOFÁGICA PROLONGADA E APLICATIVO ANDROID PARA  
AUXÍLIO AO EXAME**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Biomédica .

Orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Chaves.

Coorientador: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria da Conceição Pereira Fonseca.

BELÉM - PA  
2019

Ferreira, Júlia Helena dos Santos

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE REGISTRADOR PORTÁTIL PARA PHMETRIA ESOFÁGICA PROLONGADA E APLICATIVO ANDROID PARA AUXÍLIO AO EXAME/ JÚLIA HELENA DOS SANTOS FERREIRA. – Belém - PA, 2019.

66 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Oliveira Chaves.

Monografia – UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA, 2019.

PHmetro. PHmetria Esofágica Prolongada. Tecnologia Biomédica. Aplicativos Móveis. I. Título.

JÚLIA HELENA DOS SANTOS FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO DE REGISTRADOR PORTÁTIL PARA  
PHMETRIA ESOFÁGICA PROLONGADA E APLICATIVO ANDROID PARA  
AUXÍLIO AO EXAME**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Biomédica.

Data da avaliação: 20 / 08 / 2019

Conceito: EXCELENTE

**Banca Examinadora:**

Rafael Oliveira Chaves - Orientador  
Prof. Dr. Rafael Oliveira Chaves  
Faculdade de Engenharia da Computação e Telecomunicações - UFPA

Maria da Conceição Pereira Fonseca - Coorientadora  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria da Conceição Pereira Fonseca  
Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica - UFPA

Ivete Furtado Ribeiro Caldas - Membro  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ivete Furtado Ribeiro Caldas  
Universidade do Estado do Pará - UEPA

Aldo Marçal Guimarães - Membro  
MSc. Aldo Marçal Guimarães  
Universidade do Estado do Pará - UEPA

VISTO:

Miércio Cardoso de Alcântara Neto  
Prof. Dr. Miércio Cardoso de Alcântara Neto  
Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica - UFPA

*Este trabalho é dedicado aos que  
não medem esforços para realizar seus sonhos,  
por saberem que a sua realização traz mais amor para o mundo.*

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos à minha família, por todo suporte e amor durante todos esses anos. Aos meus amigos por contribuírem diretamente para o meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço à Universidade Federal do Pará<sup>1</sup> pela oportunidade de realizar esta graduação, bem como à todos os seus funcionários, coordenação e direção da faculdade, e demais envolvidos na realização deste sonho. Da mesma maneira agradeço aos meus professores Rafael Chaves e Maria da Conceição Fonseca, orientador e coorientadora deste trabalho, por serem fonte de inspiração e pela sua contribuição na minha formação acadêmica desde os momentos de sala de aula até o desenvolvimento do presente trabalho. Agradeço à todos os professores e demais profissionais que fazem parte da minha formação e evolução de alguma maneira.

---

<sup>1</sup> <<https://www.portal.ufpa.br/>>

*“A mente que se abre a uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho original.”*

*(Albert Einstein)*

## RESUMO

Esta monografia apresenta o desenvolvimento de um protótipo de registrador portátil para exames de pHmetria esofágica prolongada, utilizando a plataforma Arduino e materiais de prototipação eletrônica (baixo custo), além da criação de duas versões de aplicativos para sistema operacional Android a fim de registro e transmissão de dados sobre o exame entre celulares e o protótipo de registrador para pHmetria. Para isso, o estudo da literatura disponível, consulta a um especialista no assunto e comparação com produto comercial foram realizados. A seguir, deu-se a programação Arduino e montagem do protótipo de registrador, paralelamente à criação dos aplicativos protótipos no ambiente de desenvolvimento integrado Android Studio. Os testes utilizaram o procedimento de calibração do equipamento e medições de pH em substâncias líquidas diferentes, enquanto os testes dos aplicativos foram realizados em dispositivo físico e através de emulador do Android Studio. Os resultados obtidos demonstram que o protótipo de registrador para pHmetria é de fato portátil e construído a partir de materiais de baixo custo. Os testes comprovaram que seu funcionamento e desempenho quanto à precisão no registro de valores de pH é satisfatório por apresentar leituras bem próximas às mensurações indicadas pelo registrador comercial. A média das leituras de pH de cada dispositivo foi realizada. A versão do aplicativo Android destinada ao profissional responsável pelo exame realiza com sucesso suas operações, como a de inserção de dados pessoais do paciente. Na versão do aplicativo cujo usuário final é o paciente os registros sobre alimentação, ocorrência de sintomas e posição corporal (paciente deitado ou de pé) são concluídos e exibidos corretamente. Ambas as versões dos protótipos de aplicativos conectam-se via bluetooth com o protótipo de registrador para pHmetria com eficiência, a transmissão de informações em ambos os sentidos da via permite efetivamente o envio em tempo real dos valores de pH detectados pelo pHmetro em ambos os aplicativos. Os dados inseridos nos aplicativos são salvos com sucesso no registrador, assim como os valores de pH. Assim, as versões finais dos aplicativos protótipos apresentaram também bons resultados, funcionamento dentro do esperado e cumprimento dos requisitos estabelecidos para o Projeto, o que mostra a sua aplicabilidade como ferramenta para auxílio ao exame.

**Palavras-chave:** PHmetro. PHmetria Esofágica Prolongada. Tecnologia Biomédica. Aplicativos Móveis.

## ABSTRACT

This monograph presents the development of a portable recorder prototype for prolonged esophageal pHmetry exams, using the Arduino platform and electronic prototyping materials (low cost), as well as the creation of two versions of Android operating system applications for recording and transmitting of exam data between mobile phones and the recorder prototype for pHmetry. For this, the study of available literature, consultation with an expert in the subject and comparison with commercial product were performed. Next, the Arduino programming and assembly of the prototype were done, parallel to the creation of applications prototypes in the integrated development environment Android Studio. The tests used the calibration procedure of the equipment and pH measurements on different liquid substances, while the tests of the applications were done in physical device and through emulator of Android Studio. The results show that the prototype recorder for pHmetry is indeed portable and constructed from low cost materials. Tests have shown that your performance and accuracy registering pH values is satisfactory, presenting readings very close to the measurements indicated by the commercial recorder. The average pH readings of each device were taken. The version of the Android app for the professional responsible for the exam execution successfully performs operations, such as entering patient's personal data. In app version whose end user is the patient the records on feeding, occurrence of symptoms and position body (patient lying or standing) are completed and displayed correctly. Both versions of the application prototypes connect via bluetooth with the prototype recorder for pHmetry efficiently, the transmission of information in both directions of the track allows effectively send in real time the pH values detected by the pHmeter in both applications. Data entered into applications is successfully saved to the register, as well as the pH values. Thus, the final versions of the prototype applications also presented good results, operating as expected and meeting established requirements for the Project, which shows its applicability as a tool to aid the exam.

**Keywords:** PHmeter. Prolonged Esophageal PHmetry. Biomedical Technology. Mobile Applications.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Principais processos fisiológicos do Trato Gastrointestinal. . . . .	5
Figura 2 – Anatomia geral do Trato Gastrointestinal e ação de processos sobre seus segmentos. . . . .	6
Figura 3 – Funções do esôfago, EES e EEI de propulsão do alimento e proteção do sistema. . . . .	7
Figura 4 – Escala de pH relacionada à concentração de íons $H^+$ . . . . .	8
Figura 5 – Caixa torácica (arcabouço ósseo do tórax), localização do manúbrio no osso esterno. . . . .	11
Figura 6 – Posicionamento de pHmetro para exame. . . . .	14
Figura 7 – Engenharia de software em suas camadas. . . . .	20
Figura 8 – Fluxo de processo iterativo. . . . .	22
Figura 9 – Distribuição global de mercado de sistemas operacionais para smartphones em gráfico. . . . .	24
Figura 10 – Distribuição global de mercado de sistemas operacionais para smartphones em tabela. . . . .	24
Figura 11 – Distribuição de mercado de sistemas operacionais móveis no Brasil. . . . .	25
Figura 12 – Distribuição de mercado de sistemas operacionais móveis no Brasil em maio de 2019. . . . .	25
Figura 13 – Registrador AL-3 PHmetria Esofágica. . . . .	27
Figura 14 – Sonda para pHmetria com dois canais internos. . . . .	27
Figura 15 – Calibração com a placa Arduino MEGA. . . . .	29
Figura 16 – Montagem com a placa Arduino MEGA. . . . .	30
Figura 17 – Arduino UNO Rev3. . . . .	30
Figura 18 – Módulo sensor de pH para Arduino. . . . .	31
Figura 19 – Display LCD shield 16 x 2. . . . .	32
Figura 20 – Comunicação Serial I2C. . . . .	33
Figura 21 – Módulo Serial I2C. . . . .	33
Figura 22 – Módulo Bluetooth RS232 HC-05. . . . .	34
Figura 23 – Módulo Tiny RTC. . . . .	34
Figura 24 – Módulo Cartão Micro SD. . . . .	36
Figura 25 – Módulo GY-521 MPU-6050. . . . .	37
Figura 26 – Projeto do registrador criado no Software Fritzing. . . . .	38

Figura 27 – Modelo comercial e protótipo em testes. . . . .	41
Figura 28 – Organização para testes. . . . .	42
Figura 29 – Vista App PHmetroMed. . . . .	44
Figura 30 – Vista App PHmetro (paciente). . . . .	44
Figura 31 – Fluxograma de navegação (profissional). . . . .	45
Figura 32 – Fluxograma de navegação (paciente). . . . .	45
Figura 33 – Mensuração do pH em amostra de cerveja. . . . .	48
Figura 34 – Mensuração do pH em amostra de suco de laranja. . . . .	48
Figura 35 – Mensuração do pH em amostra de energético. . . . .	49
Figura 36 – Mensuração do pH em amostra de água mineral. . . . .	49
Figura 37 – Mensuração do pH em amostra de isotônico. . . . .	49
Figura 38 – Mensuração do pH em amostra de vinagre. . . . .	50
Figura 39 – Mensuração do pH em amostra de refrigerante Coca-Cola. . . . .	50
Figura 40 – Mensuração do pH em amostra de suco de goiaba. . . . .	51
Figura 41 – Mensuração do pH em amostra de suco de uva. . . . .	51
Figura 42 – Mensuração do pH em amostra de refrigerante de guaraná. . . . .	52
Figura 43 – Médias das leituras dos sensores (canais). . . . .	52
Figura 44 – Vista interna do protótipo de registrador. . . . .	53
Figura 45 – Protótipo de registrador para pHmetria. . . . .	54
Figura 46 – Protótipo, sonda para pHmetria e módulo GY-521 MPU-6050. . . . .	54
Figura 47 – Ícones dos aplicativos. . . . .	54
Figura 48 – Tela de abertura. . . . .	54
Figura 49 – Tela inicial (versão para profissional). . . . .	55
Figura 50 – Seleção de dispositivo para pareamento. . . . .	55
Figura 51 – Inserção de dados do paciente. . . . .	56
Figura 52 – Exemplo de inserção de dados. . . . .	56
Figura 53 – Alerta para preenchimento de dados do paciente. . . . .	57
Figura 54 – Tela inicial do aplicativo para paciente. . . . .	58
Figura 55 – Alimentação iniciada. . . . .	58
Figura 56 – Alimentação finalizada. . . . .	58
Figura 57 – Registro da posição deitado. . . . .	59
Figura 58 – Registro da posição em pé. . . . .	59
Figura 59 – Registro de sintoma. . . . .	60

Figura 60 – Exemplo de registro de sintoma. . . . . 60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos do hardware do protótipo de registrador para pHmetria. . . . .	28
Tabela 2 – Resultado representativo da mensuração de pH em testes. . . . .	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DRGE	Doença do refluxo gastroesofágico
EEI	Esfíncter esofágico inferior
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
EES	Esfíncter esofágico superior
IBP	Inibidor da bomba de prótons
IDC	International Data Corporation
IDE	Integrated Development Environment
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
mV	Milivolts
pH	Potencial do íon hidrogênio
RGE	Refluxo gastroesofágico
RTC	Real Time Clock
UFPA	Universidade Federal do Pará

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa</b> . . . . .	<b>2</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b> . . . . .	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> . . . . .	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Visão geral sobre o Trato Gastrointestinal e estruturas que previnem o refluxo</b> . . . . .	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Doença do Refluxo Gastroesofágico</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>Métodos diagnósticos para DRGE</b> . . . . .	<b>11</b>
2.3.1	Endoscopia digestiva alta . . . . .	12
2.3.2	PHmetria esofágica prolongada . . . . .	12
2.3.3	Manometria esofágica . . . . .	14
2.3.4	Impedanciometria intraluminal esofágica . . . . .	14
<b>2.4</b>	<b>Formas de tratamento da DRGE</b> . . . . .	<b>15</b>
2.4.1	Tratamento clínico . . . . .	15
2.4.2	Tratamento cirúrgico . . . . .	16
<b>2.5</b>	<b>PHmetro</b> . . . . .	<b>17</b>
<b>2.6</b>	<b>Engenharia e qualidade de software</b> . . . . .	<b>19</b>
<b>2.7</b>	<b>Aplicativos para dispositivos móveis: sistema operacional Android</b> . . . . .	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> . . . . .	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Registrador para pHmetria</b> . . . . .	<b>26</b>
3.1.1	Componentes . . . . .	29
3.1.1.1	Arduino UNO . . . . .	29
3.1.1.2	Módulo sensor para detecção de valor de pH líquido (PH-4502C) . . . . .	31
3.1.1.3	Módulo Serial I2C e Display LCD 16 x 2 shield com teclado . . . . .	32
3.1.1.4	Módulo Bluetooth RS232 HC-05 . . . . .	33
3.1.1.5	Módulo Tiny RTC DS1307 . . . . .	34
3.1.1.6	Módulo micro SDCard . . . . .	35
3.1.1.7	Acelerômetro e Giroscópio Módulo GY-521 MPU-6050 . . . . .	36
3.1.2	Montagem e procedimento para testes . . . . .	37
3.1.2.1	Calibração . . . . .	38

3.1.2.2	Testes em amostras . . . . .	40
<b>3.2</b>	<b>Aplicativos Android . . . . .</b>	<b>41</b>
3.2.1	Ambiente de desenvolvimento Android Studio . . . . .	42
3.2.2	Organização dos aplicativos — Fluxograma . . . . .	43
<b>4</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>4.1</b>	<b>Aquisição de dados: mensuração do pH . . . . .</b>	<b>47</b>
<b>4.2</b>	<b>Funcionalidades dos aplicativos . . . . .</b>	<b>53</b>
4.2.1	App versão profissional (médico) . . . . .	54
4.2.2	App versão paciente . . . . .	57
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>Trabalhos Futuros . . . . .</b>	<b>62</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>63</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o estudo de soluções para as questões humanas e relacionadas ao meio ambiente está fundamentalmente atrelado à tecnologia. O desenvolvimento de novas tecnologias acontece de forma cada vez mais ágil e se faz presente em domínios dos mais diversos. Um domínio relacionado a esta monografia é o da tecnologia médica.

A facilidade de acesso a aparelhos de tecnologia móvel, bem como sua característica rapidez e alcance para transmissão de informações, são agentes propulsores sobre o aumento do interesse do mercado para com o desenvolvimento de tecnologia móvel. Hoje em dia, é possível observar o crescente número de aplicativos para smartphones e tablets destinados à área da saúde, os quais fornecem e transferem informações indispensáveis sobre os pacientes e resultados de exames, assim garantindo mais agilidade na tomada de decisões e mais precisão no diagnóstico (SILVA; IRION, 2015).

Dentre as enfermidades que podem acometer o sistema digestivo humano, a Doença do Refluxo Gastroesofágico (DRGE), é uma das afecções crônicas mais recorrentes, com uma estimativa de prevalência de 8%–33% na população mundial e cerca de 12% no Brasil, a qual tem apresentado crescente incidência, o que comprova sua grande importância médico-social e motiva o desenvolvimento de tantos estudos sobre o assunto, com o objetivo de caracterizar a afecção com maior detalhamento, bem como determinar a melhor forma de tratamento para cada paciente, de acordo com o quadro clínico apresentado. Possui manifestações clínicas diversas, esofágicas e/ou extra-esofágicas, as mais comuns são pirose e regurgitação ácida (EL-SERAG et al., 2014; MORAES-FILHO, 2004).

Existem atualmente alguns exames capazes de detectar doenças próprias do Trato Gastrointestinal, como a DRGE, e/ou suas complicações, caso existam. Um desses exames é a pHmetria esofágica prolongada, a qual possui duração de cerca de 24 horas e consiste em monitorar o pH intraesofágico e registrar outras informações importantes para o diagnóstico. O refluxo gastroesofágico (RGE), ascensão do conteúdo gástrico ao esôfago, é um fenômeno fisiológico. Porém, quando o RGE causa sintomas incômodos que afetam a qualidade de vida do paciente, normalmente quando há considerável frequência dos episódios, quando são longos e apresentam RGE em grande quantidade, o RGE se torna patológico, gerando a DRGE. Essa patologia é o objeto de detecção para a pHmetria, a qual utiliza o pHmetro como instrumento de monitoramento do pH intraesofágico (SIRIN; ÖZ, 2019).

Existe um método quantitativo para identificar a patologia. Trata-se do *índice de DeMeester*, um sistema de pontuação (*score*) baseado em parâmetros analisados na pHmetria, como o tempo total de acidificação esofágica (exposição ácida) e o número total de episódios de RGE. Esse índice identifica o nível em que o padrão de RGE excede o refluxo fisiológico mensurado em voluntários normais (que não apresentam a patologia). O indivíduo apresenta refluxo patológico quando o índice de DeMeester ultrapassa o valor de 14,72 (JOHNSON; DEMEESTER, 1986).

## 1.1 Justificativa

Esta monografia foi desenvolvida a partir do Projeto *PHmetro Arduino* durante as Atividades Curriculares de Extensão, previstas na grade curricular do curso de Bacharelado em Engenharia Biomédica na Universidade Federal do Pará (UFPA). É originário do Projeto de Mestrado do Médico Especialista em Cirurgia Geral Aldo Marçal Guimarães, pelo Programa de Mestrado Profissional em Cirurgia e Pesquisa Experimental da Universidade do Estado do Pará, que possui como orientador o Prof. Dr. Marcus Vinicius Henriques Brito e como coorientador o Prof. Dr. Rafael Oliveira Chaves. O desenvolvimento do Projeto também teve a participação do Graduando em Engenharia da Computação Pedro Victor Costa Nascimento (UFPA) e do Bacharel em Engenharia da Computação Weverson Vieira do Nascimento (UFPA).

Com o intuito de aumentar a facilidade de acesso ao exame de pHmetria esofágica prolongada, desenvolveu-se um registrador portátil a partir de materiais de baixo custo para o exame de pHmetria, e como forma de otimização do exame foram desenvolvidos dois aplicativos para sistema operacional Android: uma versão do aplicativo tem como usuários finais profissionais da área da saúde, de forma mais específica, o profissional responsável pela realização do exame de pHmetria, a outra versão é destinada ao paciente.

A criação do registrador portátil para pHmetria visa diminuir os custos do equipamento utilizado no exame, pois os pHmetros comercializados atualmente ainda possuem preços elevados, o que encarece o exame, conseqüentemente. Os aplicativos foram criados para realizarem a troca de informações entre celulares (dispositivos Android) e o protótipo de registrador portátil para o exame de pHmetria.

Os aplicativos permitem que informações importantes sobre o exame e o paciente sejam registradas e transmitidas via celular: registro de dados do paciente, definição de configurações do exame pelo profissional da área da saúde, assim como exibição em tempo real dos valores

de pH a medida que são lidos pelo registrador portátil para ambas as versões de aplicativo. Portanto, os aplicativos representam uma novidade pertinente aos exames de pHmetria esofágica prolongada, garantindo mais praticidade ao exame. Nos exames de pHmetria realizados atualmente, tais registros são feitos em documentos manuscritos, fichas entregues aos pacientes para preenchimento dessas informações durante o exame.

## 1.2 Objetivo

Têm-se por objetivo desenvolver um protótipo de registrador portátil para exame de pHmetria esofágica prolongada com materiais de prototipação eletrônica (baixo custo) e duas versões de aplicativos destinados à celulares de sistema operacional Android para registro e transmissão de dados do exame entre celular e registrador para pHmetria.

## 1.3 Estrutura do Trabalho

A divisão deste trabalho se dá em 5 Capítulos. O Capítulo 1 consiste na introdução e contextualização acerca do assunto do Projeto, o objetivo almejado, o porquê de seu desenvolvimento e sua contribuição para a prática médica e a população. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico do trabalho, um apanhado de informações cruciais sobre o tema, as quais fazem parte da construção do embasamento teórico necessário para o desenvolvimento deste Projeto. No Capítulo 3 os materiais e métodos adotados para o desenvolvimento do registrador portátil para pHmetria e aplicativos são abordados em detalhes. É no Capítulo 4 que são apresentados os resultados obtidos. O Capítulo 5 resume conclusões importantes acerca do que foi produzido, considerações finais sobre o Projeto.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Neste Capítulo serão reunidas informações que conferiram embasamento teórico ao desenvolvimento do projeto e sua aplicabilidade, a partir da literatura atual. Inicia-se com uma abordagem das principais funcionalidades desempenhadas pelo Trato Gastrointestinal, com foco no entendimento da participação das regiões envolvidas em episódios de refluxo (fisiológico e patológico) e como essas regiões se comportam durante esses episódios.

Após a compreensão sobre o comportamento dos órgãos e estruturas atingidas diretamente por episódios de refluxo, é possível entender como a Doença do Refluxo Gastroesofágico (DRGE) atua, bem como as formas de detecção, monitoramento dessa afecção com o pHmetro e suas formas de tratamento.

Este capítulo também apresenta algumas informações sobre o equipamento pHmetro e é finalizado com uma abordagem sobre desenvolvimento dos aplicativos Android e elementos importantes que participam desse processo: conceitos de engenharia e qualidade de software utilizados, informações sobre dispositivos móveis e o sistema operacional Android.

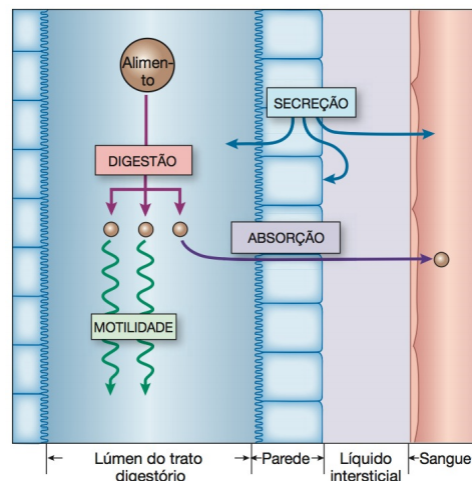
### **2.1 Visão geral sobre o Trato Gastrointestinal e estruturas que previnem o refluxo**

O Trato Gastrointestinal é o sistema responsável pela ingestão de alimentos e nutrientes que geram a energia necessária para a manutenção da vida e eliminação de resíduos oriundos desse processo. Pode-se dizer que este sistema é multitarefas, desempenha atividades interconectadas e que influenciam de alguma maneira todos os outros sistemas do corpo humano. Consiste em um longo tubo oco que possui órgãos glandulares acessórios e que se divide em segmentos funcionais, dos quais merecem destaque os seguintes componentes: boca, faringe, esôfago, estômago, intestino delgado (composto por duodeno, jejuno e íleo), cólon (intestino grosso), reto e ânus (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 491).

Entre as atividades que esse sistema desempenha, existem cinco principais. A digestão é a atividade responsável pela transformação físico-química dos alimentos, para que possam seguir ao processo de absorção de nutrientes, água e fármacos. Esses processos não ocorrem sem que haja motilidade na parede muscular de todo o Trato Gastrointestinal, atividade essa que

permite o movimento do alimento pelo Trato e a interação com as secreções produzidas pelo Trato Gastrointestinal e órgãos associados, as quais auxiliam a transformação físico-química do que foi ingerido. A excreção é mais um importante processo a ser destacado, realiza a eliminação de resíduos oriundos da digestão (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 491).

**Figura 1 – Principais processos fisiológicos do Trato Gastrointestinal.**

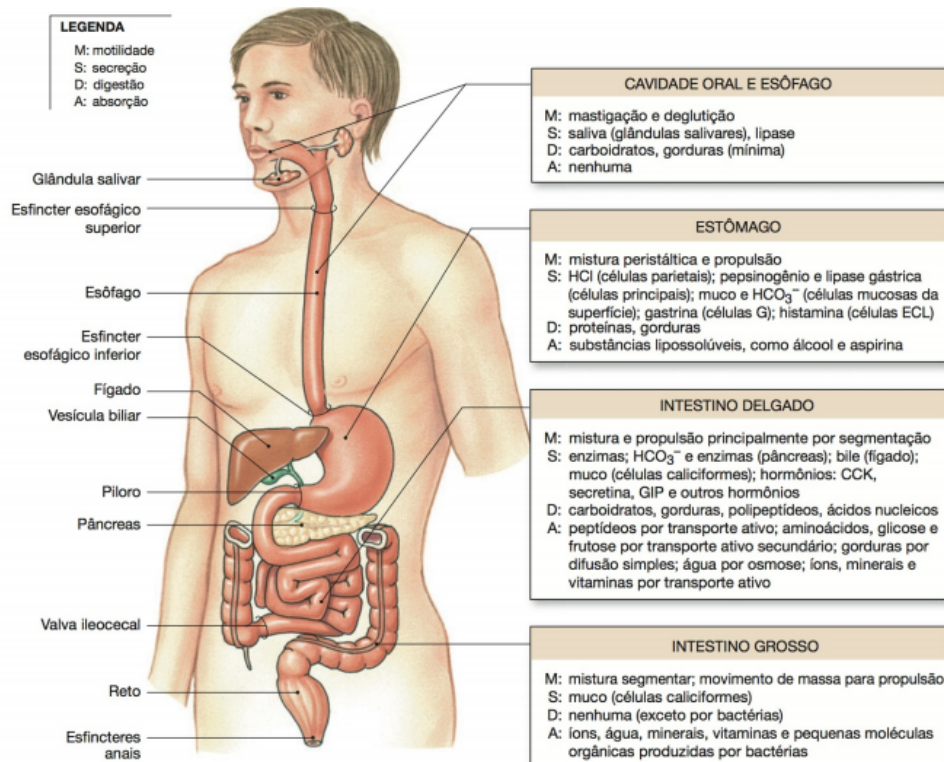


Fonte: (SILVERTHORN, 2010, p. 688).

Em síntese, a Figura 1 representa o processamento do alimento enquanto caminha pelo Trato Gastrointestinal. A motilidade permite que o alimento se movimente para as porções seguintes do Trato. As secreções liberadas nos diferentes segmentos auxiliam na digestão e quebra de macromoléculas: moléculas maiores precisam ser processadas para que possam ser absorvidas e consigam atravessar a parede do Trato e membrana das células até alcançarem a corrente sanguínea, para que os nutrientes sejam distribuídos pelo corpo (SILVERTHORN, 2010, p. 688).

Na Figura 2 as principais estruturas que compõem o Trato Gastrointestinal são apresentadas, além de um resumo sobre como as atividades funcionais de motilidade, secreção, digestão e absorção atuam em cada porção do sistema digestivo. É possível observar alguns dos esfíncteres presentes no Trato. Os esfíncteres são estruturas musculares especializadas, cuja função é a de isolar uma região do Trato da região seguinte. Essa funcionalidade possui grande importância, pois impede o fluxo do conteúdo de uma região para a seguinte em momento inapropriado ou refluxo de conteúdo de uma região para a que a antecede, portanto, os esfíncteres realizam uma retenção seletiva (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 491).

Durante uma refeição, diversos tipos de estímulos fisiológicos são gerados, os quais ativam vias (reflexos neurais, parácrinos e humorais) que atuam sobre os processos funcionais de

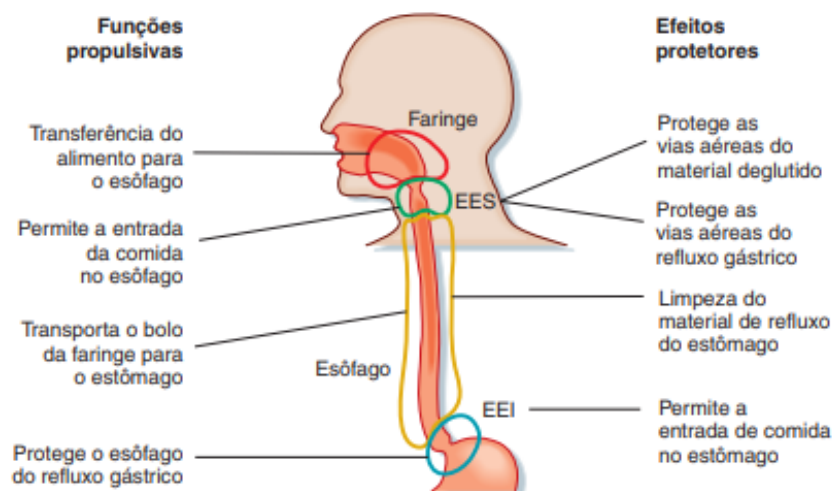
**Figura 2 – Anatomia geral do Trato Gastrointestinal e ação de processos sobre seus segmentos.**

Fonte: (SILVERTHORN, 2010, p. 709).

secreção e motilidade, atividades essas que como já visto, auxiliam os processos de digestão, absorção e excreção. Essa resposta do corpo, devido à ingestão de alimentos durante uma refeição (ou água ou fármacos) é particionada em: fase cefálica, oral, esofágica, gástrica, duodenal e intestinal (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 498).

Algumas características das fases esofágica e gástrica serão apresentadas, com o intuito de compreender como as estruturas envolvidas nessas fases atuam e saber mais sobre os fatores que desencadeiam episódios de RGE.

O esôfago e os esfíncteres que o delimitam, esfíncter esofágico superior (EES) e esfíncter esofágico inferior (EEI), são estruturas envolvidas na fase esofágica da resposta à refeição. Essas estruturas trabalham em conjunto para transportar o alimento da faringe ao estômago (Figura 3). Os esfíncteres são estruturas musculares que protegem as vias aéreas enquanto o alimento está sendo deglutido e permitem a entrada do conteúdo ingerido no estômago, além da proteção do esôfago e vias aéreas contra o RGE ácido. São estímulos mecânicos que geram essas funções propulsoras e protetoras na fase esofágica. Esses estímulos atuam sobre a faringe, facilitando a deglutição, e geram distensão no esôfago para facilitar a passagem do alimento que o atinge (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 506).

**Figura 3 – Funções do esôfago, EES e EEI de propulsão do alimento e proteção do sistema.**

Fonte: (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 507).

O alimento ao caminhar pelo EES, gera estímulos mecânicos (sobre a faringe) e de vias reflexas (relaxamento da região mais proximal do estômago e do EEI) que por sua vez, iniciam uma onda peristáltica ao longo do esôfago, trata-se do peristaltismo primário (esofágico). A medida que o alimento percorre o esôfago, ocorre a distensão de sua parede, essa distensão gera um segundo tipo de onda, o peristaltismo secundário (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 507).

O peristaltismo (relacionado à motilidade) consiste na alternância entre contração e relaxamento das paredes do Trato Gastrointestinal, movimentos que impulsionam o alimento para baixo. Essa alternância é comandada por eventos neuronais. As ondas peristálticas atuam sobre praticamente todo o Trato Gastrointestinal: apresentam-se na faringe (auxílio durante a deglutição), no esôfago (encaminhando o conteúdo para o estômago), no antro gástrico (mistura do conteúdo com secreções gástricas) e nos intestinos delgado e grosso (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 518).

O peristaltismo é essencial não só para o transporte do conteúdo alimentar ao longo do sistema digestivo, também o é para a sua mistura com as secreções liberadas pelo Trato Gastrointestinal e estruturas acessórias, além de tornar as superfícies mucosas mais expostas à absorção do que foi digerido.

Durante a fase gástrica da resposta integrada à refeição e logo após a finalização da refeição, a produção de suco gástrico aumenta para dar continuidade ao processo de digestão iniciado. O RGE carrega consigo um conteúdo bastante ácido normalmente (com pH próximo a 2,0), que ao entrar em contato com o esôfago (possui pH entre 5,0 e 7,0) ou outras regiões

também acima do EEI, pode danificar suas paredes musculares e gerar outras modificações mais graves nessas estruturas, quando o refluxo se torna patológico. O EEI atua prevenindo o retorno de conteúdo gastroduodenal para o esôfago. A contração tônica fraca do EEI está associada à DRGE, assim como a erosão gradual da mucosa esofágica (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 507).

O caráter ácido ou básico de uma substância aquosa (como o suco gástrico) é determinado pelo pH, *potencial do íon hidrogênio*, termo definido em 1909 pelo bioquímico Søren Sørensen (1868-1939), o qual pode ser expresso matematicamente da seguinte maneira (MASTERTON; HURLEY, 2010, p. 339):

$$pH = -\log[H^+]$$

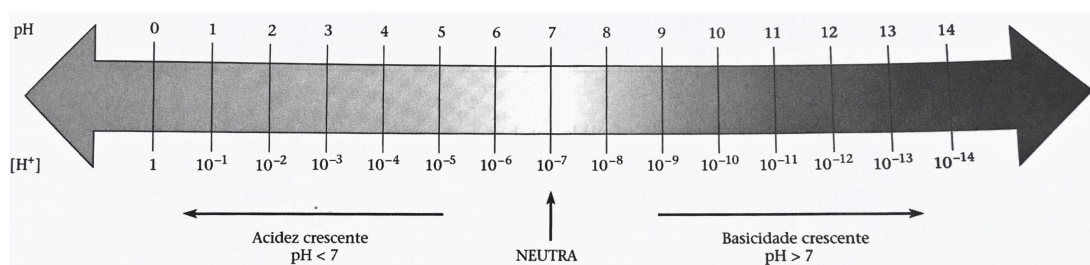
A equação descreve o pH em termos da concentração de íons hidrogênio ( $H^+$ ) na solução e é logarítmica, portanto, é possível concluir que o pH aumenta medida em que a concentração de ( $H^+$ ) diminui, ou seja, quanto maior o pH de uma solução menos ácida será. Essa relação pode ser vista na Figura 4, que apresenta a escala de pH de 0 a 14. Já que a acidez é inversamente relacionada ao pH, a medição do pH permite identificar se uma solução é ácida, básica ou neutra (a 25 °C), como listado a seguir (MASTERTON; HURLEY, 2010, p. 339).

**pH < 7** solução ácida.

**pH = 7** solução neutra.

**pH > 7** solução básica.

**Figura 4 – Escala de pH relacionada à concentração de íons  $H^+$ .**



**Fonte: (MASTERTON; HURLEY, 2010, p. 339).**

O suco gástrico confere ao antro gástrico (e ao RGE) um caráter ácido constantemente, no entanto, sua composição iônica sofre alterações de acordo com a intensidade da secreção lançada. Por exemplo, a concentração de íons  $H^+$  é diretamente proporcional à intensidade de secreção

liberada. O que independe da intensidade de secreção é a concentração do ânion  $Cl^-$ , o principal no suco gástrico. Portanto, quando o volume de secreção cresce consideravelmente, percebe-se semelhança do suco gástrico com a solução isotônica de HCl (aumento da concentração de íons  $H^+$  aliado à alta concentração do ânion  $Cl^-$  que é constante). No estômago, o ácido clorídrico realiza a conversão de pepsinogênio em pepsinas ativas, assim produzindo o pH ácido (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 511).

Como o pH natural do estômago possui caráter bastante ácido, percebe-se a importância da presença de estruturas e mecanismos fisiológicos que possam desencadear ações de proteção contra o RGE para as estruturas que antecedem o antro gástrico. Esta é uma das funções do EEI, localizado na parte mais proximal do estômago (divide-se em região proximal e distal), o cárdia. O EEI e o cárdia relaxam para permitir a entrada do alimento no antro gástrico. O EEI, após a passagem do alimento, impede o refluxo desse conteúdo, mantendo o tônus. A manutenção do tônus nessa região conduz a um esvaziamento gástrico ágil e eficiente (KOEPPEN; STANTON, 2009, p. 518).

## 2.2 Doença do Refluxo Gastroesofágico

A DRGE é uma afecção crônica com estimativa de prevalência de 8%–33% sobre a população mundial e afeta cerca de 12% da população brasileira, sua incidência tem crescido com o passar das décadas, o que justifica sua importância médico-social e motiva o desenvolvimento de tantos estudos sobre o assunto. Pode acometer ambos os gêneros e todas as faixas etárias. Uma maneira bem abrangente de definir a Doença do Refluxo Gastroesofágico (DRGE), a qual compreende suas causas e possíveis consequências em estruturas esofágicas e/ou extra-esofágicas, é como uma afecção crônica gerada a partir do refluxo de certo volume de conteúdo gastroduodenal para o esôfago, e em alguns casos, para órgãos adjacentes (órgãos do Trato Respiratório), o que pode gerar, dependendo da quantidade e características do refluxo, diferentes sintomas, afetando o esôfago e/ou regiões extra-esofagianas, podendo ser acompanhados ou não a lesões nos tecidos próximos (MORAES-FILHO; HASHIMOTO, 2000; EL-SERAG et al., 2014; MORAES-FILHO, 2004).

É importante mencionar que existem definições da DRGE que consideram não apenas o conteúdo ácido do refluxo, provindo do estômago, como também o conteúdo "não-ácido", advindo do duodeno (porção inicial do intestino delgado). Sobre a existência de sintomas, além

dos sintomas esofágicos, podem haver manifestações de sintomas extra-esofágicos, como asma, dor torácica não-coronariana recorrente e faringite, por exemplo. Os sintomas podem estar aliados a lesões teciduais esofágicas ou não, dependendo do quadro clínico (NASI; MORAES-FILHO; CECCONELLO, 2006).

Segundo o Consenso de Montreal a DRGE é definida como uma doença que se desenvolve quando o refluxo do conteúdo gástrico (movimento retrógrado) para o esôfago através da junção gastroesofágica, no qual se encontra o EEI, gera um conjunto de sintomas problemáticos e/ou complicações. As manifestações de sintomas são divididas em esofágicas e extra-esofágicas. Portanto, esse conceito engloba pacientes portadores dos sintomas típicos e atípicos da afecção (VAKIL et al., 2007).

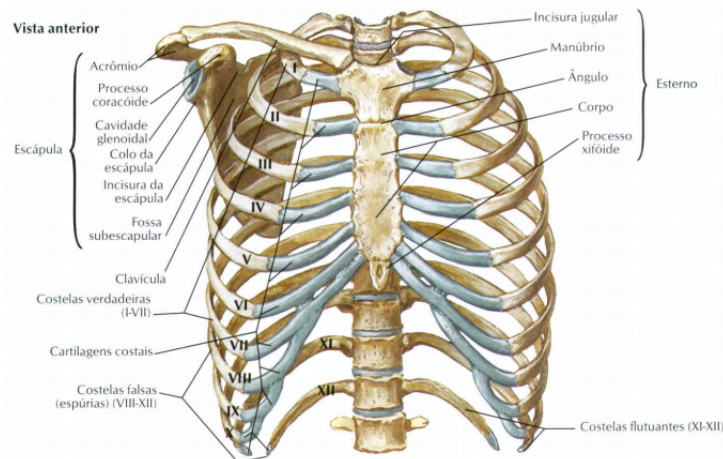
A importância de se estudar e caracterizar a DRGE também reside no fato de esta ser uma enfermidade que possui variedade considerável em suas formas de manifestação e desenvolvimento em cada paciente. São diversas as suas apresentações clínicas, podem se dar através da forma típica ou da forma atípica da afecção. Quando se trata da forma típica da afecção, as manifestações clínicas estão vinculadas diretamente ao retorno do conteúdo gastroduodenal para o esôfago. A forma atípica da afecção refere-se às manifestações clínicas geradas pelo refluxo do conteúdo gástrico sobre órgãos próximos, ou aumento do reflexo esofagobrônquico, com ou sem lesões teciduais (MORAES-FILHO; HASHIMOTO, 2000).

No diagnóstico e posterior acompanhamento da afecção, também é possível encontrar diferentes consequências que a DRGE pode vir a desencadear, dependendo de alguns fatores. Portanto, encontram-se variações sobre as condições endoscópicas em cada paciente, desde a inexistência de lesões na mucosa até grandes complicações, em casos mais graves. Além disso, a DRGE é uma das enfermidades mais recorrentes na prática médica, mais uma justificativa para esse tema ser muito investigado e conseqüentemente, crescente é o número de informações e publicações sobre o assunto.

Como já visto, a DRGE possui manifestações clínicas diversas. Os tipos de manifestações clínicas mais comuns e incomuns podem coexistir, no entanto, a inexistência de algum dos sintomas mais comuns não é fator decisivo no descarte de um diagnóstico positivo para a DRGE. As duas manifestações clínicas típicas da DRGE mais recorrentes são a pirose (azia) e a regurgitação ácida: trata-se da sensação de queimação que atinge a região entre o manúbrio do osso esterno até a base do pescoço (Figura 5), e o refluxo de conteúdo ácido ou alimentar para a

cavidade oral, respectivamente. Manifestações clínicas que portadores da DRGE também podem apresentar são: dor torácica não-coronariana, sensação de globus faríngeo, manifestações extra-esofágicas respiratórias (tosse e asma brônquica) e otorrinolaringológicas (disfonia e pigarro) (MORAES-FILHO; HASHIMOTO, 2000).

**Figura 5 – Caixa torácica (arcabouço ósseo do tórax), localização do manúbrio no osso esterno.**



Fonte: (FRANK; NETTER, 2011, p. 178).

## 2.3 Métodos diagnósticos para DRGE

A anamnese (entrevista com o paciente) possui grande relevância para o diagnóstico da DRGE típica e é a primeira ação do processo diagnóstico. Para isso, o paciente é questionado em detalhes sobre as características dos sintomas apresentados, como duração e frequência, fatores que ativam os sintomas e o quanto influenciam em sua qualidade de vida (MORAES-FILHO; HASHIMOTO, 2000).

Dentre os métodos diagnósticos apresentados a seguir, a endoscopia digestiva alta e a pHmetria esofágica prolongada são os métodos que efetivamente são utilizados para diagnóstico da DRGE: pode ser diagnosticada por meio de alterações endoscópicas sugestivas de RGE, como a esofagite e/ou pelo refluxo patológico, identificado pela monitorização prolongada do RGE (pHmetria). Os demais métodos, apesar de não realizarem um diagnóstico direto da DRGE, fazem-se presentes neste tópico devido sua importância na prática clínica, realizando, por exemplo, avaliações de quadros clínicos específicos de portadores da DRGE e identificação de complicações da afecção (NASI; MORAES-FILHO; CECCONELLO, 2006; NASI; QUEIROZ; MICHELSON, 2018).

### 2.3.1 Endoscopia digestiva alta

Este é o método diagnóstico mais indicado para detectar esofagite e determinar seu estado, visto que esta condição se faz presente em muitos dos portadores da DRGE (pacientes que possuem manifestações típicas ou atípicas da DRGE). Este exame também é capaz de identificar complicações da DRGE, como esôfago de Barrett, estenose e ulcerações esofágicas; além de permitir a visualização de outras afecções oriundas da DRGE como hérnia hiatal e úlceras pépticas gastroduodenais. Portanto, esse método possui grande eficiência na detecção e avaliação das consequências ou complicações da DRGE, apesar de não ser capaz de avaliar as condições do RGE (STREETS; DEMEESTER, 2003).

É o método utilizado para determinar o grau de esofagite e visualizar lesões, além de permitir a biópsia de uma porção dessa região do Trato Gastrointestinal para estudo histológico com o intuito de averiguar complicações da DRGE, se esta análise for necessária. É válido enfatizar que a inexistência de anormalidades para este exame não exclui o diagnóstico para DRGE (MORAES-FILHO; HASHIMOTO, 2000).

### 2.3.2 PHmetria esofágica prolongada

Este método foi introduzido na prática clínica em meados dos anos 70 e proporcionou desde então que se conheça mais sobre o RGE, quantificá-lo e contabilizar o número de episódios durante o período de exame. Antes da inclusão da pHmetria esofágica prolongada como método para monitoramento e diagnóstico, o RGE era percebido apenas através da resultante inflamação da mucosa esofágica (esofagite) em pacientes que a apresentavam, detectada através de endoscopia digestiva alta (NASI; QUEIROZ; MICHELSON, 2018).

A pHmetria esofágica prolongada é um método diagnóstico para a DRGE e realiza um monitoramento do RGE ao longo de cerca de 24 horas de exame. O monitoramento do pH intraesofágico permite determinar: a intensidade do refluxo ácido gastroesofágico, porém não detecta a presença de refluxo "não-ácido"; caracterizar o padrão de refluxo; diagnosticar a DRGE em pacientes que não apresentam esofagite (não permite caracterizar esofagite ou suas consequências); exibe o refluxo supra-esofágico/laringofaríngeo se houver (quando o refluxo ácido gera as manifestações atípicas); além de atuar na verificação da eficácia dos tratamentos clínico e/ou cirúrgico após sua realização, se há sintomas após algum dos dois tipos de tratamento (STREETS; DEMEESTER, 2003).

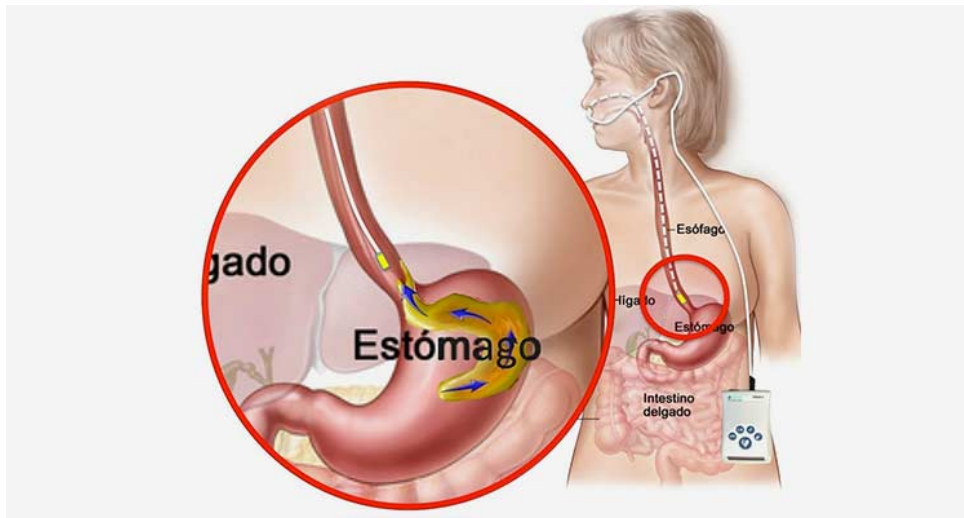
Foi a partir da introdução deste método de monitoramento prolongado que se estabeleceram os termos *refluxo fisiológico* e *refluxo patológico*: através da pHmetria o refluxo em voluntários saudáveis foi quantificado e este é considerado normal, refluxo fisiológico. O refluxo que ultrapassa esse limite na quantificação é dito refluxo patológico, portanto (NASI; QUEIROZ; MICHELSON, 2018).

O exame consiste em: a sonda para pHmetria (em média possuem dois milímetros de diâmetro) é introduzida pela via trans-nasal. As sondas para pHmetria possuem sensores (canais) que detectam o pH, geralmente são utilizadas sondas com mais de um sensor para este exame. O sensor distal (último sensor da sonda, em sua extremidade) é posicionado cinco centímetros acima do limite superior do EEI (geralmente através de manometria esofágica). A sonda é conectada a um registrador portátil que grava os valores de pH a cada intervalo de quatro segundos (esse período pode ser configurado em alguns modelos de registrador) durante todo o exame (entre 18 e 24 horas de duração). O paciente deve registrar o início e fim de sua alimentação, períodos em que está posicionado de pé e deitado (supino), além da ocorrência de sintomas (LEME; NASI; MICHELSON, 2001).

O exame de pHmetria esofágica prolongada é indicado para (Alacer Biomédica Ltda, 2019):

- Avaliação da DRGE, nos casos de pacientes com disfagia funcional, dor torácica não-cardiogênica, aerofagia e ruminação, além da caracterização do transtorno no trânsito esofágico do alimento decorrente de distúrbios motores;
- Avaliação pré e pós cirurgia antirreflexo nos quais se suspeita que persiste o refluxo ácido patológico;
- Detecção da DRGE em pacientes com dor torácica de origem não cardíaca, após avaliação cardíaca usando esquema (índice) de associação de sintomas;
- Detecção da DRGE em adultos associada à asma (não alérgica).

A Figura 6 esclarece como a sonda para pHmetria deve estar posicionada no paciente e sua conexão com o registrador. Na prática, geralmente a manometria esofágica é realizada um pouco antes da pHmetria esofágica somente para posicionar corretamente a sonda.

**Figura 6 – Posicionamento de pHmetro para exame.**

Fonte:(Gastroendo, 2019).

### 2.3.3 Manometria esofágica

A manometria esofágica, antes uma ferramenta de pesquisa, por conta do progresso dos estudos sobre seus domínios, atualmente possui aplicação clínica e vista como um método de bastante eficácia e que é muito realizado na prática clínica. Esse método é essencialmente uma maneira de analisar possíveis anormalidades funcionais relacionadas às ondas peristálticas (função motora esofágica) e à região de junção entre esôfago e estômago, o EEI (PANDOLFINO; KAHNILAS, 2005).

Na prática clínica, a manometria esofágica é realizada para detectar as seguintes anormalidades quanto ao peristaltismo: ondas peristálticas fracas, atividade peristáltica inexistente ou se existente, desordenada. No que se refere à junção esofagogástrica, esta região é avaliada quanto ao tônus pressórico do EEI, o que permite prever de certa maneira como a afecção evoluirá. Este exame, apesar de avaliar o tônus pressórico, não avalia a real capacidade do esôfago no transporte do conteúdo ingerido. Outra função de grande importância da manometria esofágica é a de identificar precisamente a localização do EEI, para posicionamento adequado dos sensores presentes ao longo da sonda para pHmetria. Portanto, a manometria esofágica pode ser realizada logo antes da pHmetria esofágica prolongada, somente para posicionar a sonda corretamente.

### 2.3.4 Impedanciometria intraluminal esofágica

Este exame consiste no monitoramento do transporte do conteúdo intraluminal esofágico, ou seja, do conteúdo que deve ser transportado naturalmente do esôfago ao estômago. O

transporte normal do conteúdo intraluminal (esôfago para estômago) é chamado de movimento anterógrado, enquanto o movimento retrógrado se trata do RGE. Este é considerado um método diagnóstico com custo de realização elevado e que ainda não apresenta larga disponibilidade na prática clínica atualmente. O exame contribui para o diagnóstico da DRGE em pacientes que apresentam manifestações atípicas da afecção, tipo de manifestação bastante relacionada ao refluxo de caráter "não-ácido"(NASI; MORAES-FILHO; CECCONELLO, 2006; MORAES-FILHO et al., 2010).

O trabalho conjunto entre impedanciometria intraluminal esofágica e pHmetria esofágica prolongada, a *impedanciopHmetria esofágica* realiza o monitoramento do refluxo (registra seus episódios), caracterizando-o, simultaneamente. Representa a evolução da pHmetria tradicional. Outros tipos de refluxo, como o "não-ácido" e o gasoso são identificados pela impedanciometria (SIFRIM et al., 2004; NASI; QUEIROZ; MICHELSON, 2018).

De acordo com o Consenso de Lyon sobre a DRGE, a impedanciopHmetria esofágica já possui atualmente o posto de padrão ouro para o detecção e caracterização dos episódios de refluxo, portanto da DRGE, (anteriormente atribuído à pHmetria esofágica prolongada) porém é uma tecnologia de alto custo e não está amplamente disponível (GYAWALI et al., 2018).

## 2.4 Formas de tratamento da DRGE

### 2.4.1 Tratamento clínico

O tratamento clínico é composto por dois processos os quais devem ser adotados simultaneamente: medidas comportamentais (altamente recomendadas pela experiência clínica) e medidas farmacológicas. A partir da combinação de tais medidas, o que se objetiva é proporcionar atenuação dos sintomas e cicatrização de lesões se existentes, diminuindo as chances do surgimento de complicações da DRGE e de retorno de sintomas (DEVAULT; CASTELL, 2005).

Caso algumas das medidas comportamentais do tratamento da DRGE já estejam inseridas na rotina do paciente, devem ser mantidas, as que não estão, recomenda-se que sejam adotadas. Existem medidas comportamentais relacionadas à refeição: reduzir o consumo de alimentos gordurosos, cítricos, cafeína, chocolate, bebidas gasosas e alcoólicas, alimentos preparados com tomate, menta e hortelã; evitar refeições muito volumosas; deitar-se somente duas horas após as refeições, no mínimo (MORAES-FILHO et al., 2002).

Outros fatores que influenciam diretamente na incidência de sintomas são peso corporal em pacientes obesos e o fumo, recomenda-se a redução de ambos (o ideal é que o hábito de fumar seja totalmente abandonado). A ministração de certos medicamentos simultaneamente ao tratamento da DRGE também requer atenção, os que são considerados "potencialmente de risco"; anticolinérgicos e bloqueadores de canais de cálcio são exemplos. A elevação da cabeceira da cama em 15 centímetros também é recomendada para prevenção do retorno de conteúdo ao esôfago enquanto o paciente está deitado.

As medidas farmacológicas são feitas com a ministração de inibidores da bomba de prótons (IBP), produzindo resultados satisfatórios em muitos casos: omeprazol e os mais recentes lansoprazol, pantoprazol, rabeprazol e esomeprazol, para redução dos sintomas do refluxo ácido e cicatrização em pacientes que apresentam esofagite. Para os casos que não respondem de forma tão positiva aos IBP, ainda são opções os antagonistas H<sub>2</sub> (AH<sub>2</sub>), ranitidina, placebo, procinéticos, e sucralfato, dependendo do quadro clínico e necessidades do paciente (NASI; MORAES-FILHO; CECCONELLO, 2006).

O tratamento clínico é ágil e eficiente no controle dos sintomas da DRGE a curto prazo. Dessa maneira, o grande desafio do tratamento clínico é após controle de sintomas, manter os pacientes assintomáticos, impedindo o retorno de sintomas certo período após o tratamento. Portanto, deve-se observar a resposta ao tratamento clínico e em caso de a ministração de fármacos necessitar se estender, que seja verificada a possibilidade de tratamento cirúrgico, o qual é apresentado a seguir.

#### 2.4.2 Tratamento cirúrgico

Alguns fatores principais permitem a indicação de tratamento cirúrgico. Primeiramente, em alguns casos se observa a necessidade de prolongamento do tratamento clínico. O paciente que não tolerar o tratamento clínico por um período mais longo, tornar-se dependente do tratamento clínico para que o controle de sintomas se mantenha, pode verificar a possibilidade da cirurgia com o médico (NASI; MORAES-FILHO; CECCONELLO, 2006).

Quando o paciente apresenta complicações da DRGE (esôfago de Barrett, ulcerações, estenoses, etc.), a indicação de tratamento cirúrgico também aumenta. Devido ao fato de os fármacos ministrados durante tratamento clínico, terem sofrido melhoramentos ao longo dos anos e se tornarem cada vez mais eficazes em grande número de casos, atualmente as complicações da

DRGE já não são mais um indício tão forte de necessidade de uma abordagem cirúrgica, muitos casos são tratáveis pela abordagem clínica, no entanto, esta possibilidade deve ser bem estudada caso a caso e continua sendo indicada em casos mais complicados.

O tratamento cirúrgico também é indicado em pacientes que apresentam manifestações respiratórias da DRGE, desde que seja investigada a real participação da DRGE no surgimento dos sintomas respiratórios. Essa verificação é necessária para comprovar como estão relacionados os sintomas respiratórios e o RGE, se são realmente gerados pelo RGE. Em algumas situações, problemas no Trato Respiratório favorecem o refluxo. Exemplo disso são os casos em que pacientes já apresentam problemas no Trato Respiratório e os fármacos empregados no tratamento desses problemas os conferem DRGE como consequência, por serem medicamentos que diminuem a tonificação do EEI. Por outro lado, o RGE pode se apresentar em pacientes sem problemas respiratórios e desencadear essas manifestações.

## 2.5 PHmetro

Este equipamento e a técnica para realização de pHmetria esofágica prolongada sofreram aperfeiçoamentos significativos desde as primeiras tentativas de aferição do pH intraesofágico até os atuais pHmetros digitais portáteis. Os primeiros registros publicados de um monitoramento prolongado do pH intraesofágico são datados de 1969, a partir da monitorização do pH durante 18 horas em pacientes hospitalizados. Os registros analógicos de pH do pHmetro foram feitos com auxílio de gravador tipo caneta (*pen recorder*) em papel (SPENCER, 1969).

O registro de pH em 24 horas assim como a construção da técnica que efetivou a pHmetria como método diagnóstico para a DRGE se deu em 1974. O pHmetro registrava graficamente o pH durante essas 24 horas. Nesse período ainda era exigida a permanência do paciente no hospital durante o exame, pois ainda se trabalhava com modelos não-portáteis de pHmetro. A partir do início da década de 80 foi possível realizar a pHmetria esofágica de 24 horas em regime ambulatorial. Fato também importante desse período corresponde ao emprego de microprocessadores digitais nos equipamentos, o que encaminhou o desenvolvimento de modelos cada vez mais próximos aos atuais (JOHNSON; DEMEESTER, 1986; FALOR et al., 1981).

Os modelos de pHmetro atuais são equipamentos que permitem a monitoração precisa e em tempo real do pH intraesofágico em exame de pHmetria esofágica. Existem outros modelos de pHmetro para outros tipos de processos em que medições de pH são necessárias. A medição

e análise do pH de substâncias é uma prática largamente adotada — laboratórios químicos, bioquímicos, hospitalares e industriais, por exemplo — visto que a avaliação do pH em uma solução aquosa é capaz de realizar controle de qualidade em produtos, pois muitas reações químicas pertencem a uma faixa específica e conhecida de pH. Portanto, existem diferentes tipos de pHmetro disponíveis comercialmente, para atender ao tipo de medição que deve ser feita, dependendo do que sua aplicação prática requer.

O pHmetro destinado à exames de pHmetria esofágica é composto por uma sonda que detecta os valores de pH do conteúdo intraesofágico (solução aquosa) e é sensível às suas alterações, e o registrador propriamente dito, o qual realiza o armazenamento (gravação) dos valores. Realiza medição do RGE em diferentes pontos de medição no esôfago, pontos nos quais os canais da sonda (sensores) são posicionados. O princípio de funcionamento está na medida do potencial entre o(s) sensor(es) de medição interno(s) à sonda e o sensor de referência cutâneo externo. A partir da leitura destas mensurações é possível a construção de uma curva de acidez ao longo do sistema digestivo (Alacer Biomédica Ltda, 2019).

Portanto, pode-se afirmar que a aferição do pH em uma solução aquosa é uma medida potenciométrica (medida de potencial ou de tensão) e para que essa medição do potencial do sensor de medida seja feita, deve-se conhecer o potencial do sensor de referência (formação de circuito elétrico fechado). Essa medição tem relação com o princípio de funcionamento de uma célula galvânica: dois condutores ligados entre si por solução eletrolítica, neste caso, trata-se de um sensor de medida de pH e um de referência para a captação do pH do conteúdo intraluminal do esôfago. A conexão dos sensores de medição e referência com o registrador para pHmetria (instrumento de alta impedância de entrada), permite a medida do potencial galvânico do circuito à baixa corrente. O conjunto dos sensores realiza com a solução intraesofágica uma pilha ligada ao circuito de alta impedância de entrada capaz de registrar a diferença de potencial em unidades de pH (DE CAESTECKER, J. S., 1989; JOHNSON, 1981).

Dessa maneira, a sonda para pHmetria funciona como um transdutor da corrente iônica (da solução em que está imersa) em corrente eletrônica: a parte externa da sonda, camada superficial do sensor interno, entra em contato com o conteúdo intraesofágico reagindo com os íons  $H^+$  e esta reação leva à formação de potencial sobre a membrana enquanto a parte interna entra em contato com a solução preenchida dentro do sensor. O sensor de referência possui um potencial estável em torno do seu eletrólito interno e proporcional ao potencial padrão deste eletrólito, enquanto o potencial do sensor interno é proporcional à atividade de íons  $H^+$ . O

potencial do sensor interno é comparado ao potencial de referência e essa diferença de potencial é o potencial que se quer conhecer, que fornece o valor de pH medido (WEBSTER, 1999).

Nas seções seguintes serão apresentadas informações relevantes acerca dos princípios teóricos e técnicos envolvidos diretamente no desenvolvimento dos aplicativos para sistema operacional Android.

## 2.6 Engenharia e qualidade de software

Sendo o software um distribuidor e transformador de informações (produz, gerencia, adquire, modifica, exibe e transmite informações) é compreensível que essa tecnologia seja considerada a de maior importância no cenário mundial, o que justifica o crescente investimento em tecnologias que tornem o processo de desenvolvimento de software mais fácil, ágil e econômico sem que o produto final tenha sua qualidade reduzida. A engenharia de software é, portanto, a estrutura utilizada para desenvolvimento de software. Determina um processo de criação e seus métodos, assim como dispõe das ferramentas necessárias para o desenvolvimento (PRESSMAN, 2016, p. 2–3).

Neste contexto, é importante definir software e o conjunto de métodos utilizados em seu planejamento, construção e validação. Existem várias definições para software. Uma delas compreende essa tecnologia sob três aspectos:

Software consiste em: (1) instruções (programas de computador) que, quando executadas, fornecem características, funções e desempenho desejados; (2) estruturas de dados que possibilitam aos programas manipular informações adequadamente; e (3) informação descritiva, tanto na forma impressa quanto na virtual, descrevendo a operação e o uso dos programas (PRESSMAN, 2016, p. 4).

Enquanto engenharia de software sob o ponto de vista sistêmico, pode ser compreendida como ferramenta para estudo de projetos com fins de abordagem prática:

Engenharia de software: (1) A aplicação de uma abordagem sistemática, disciplinada, e quantificável no desenvolvimento, operação e manutenção de software: isto é, a aplicação de engenharia ao software. (2) O estudo de abordagens como em (1) (IEEE. . . , 1990, p. 67).

A engenharia de software é uma tecnologia constituída por quatro grandes camadas bem

definidas, como ilustra a Figura 7. Toda conjuntura que envolve engenharia possui o foco na qualidade como um elemento indispensável, para a engenharia de software não seria diferente. O foco na qualidade e sua gestão são fundamentais desde as concepções pré-projeto até depois da entrega do produto final em futuras manutenções (PRESSMAN, 2016, p. 15).

Como base de sustentação, elemento que estrutura o desenvolvimento e permite a inter-relação entre as camadas está a camada de processo. O processo deve ser planejado de maneira que o desenvolvimento do projeto seja ágil e passível de modificações ao longo do tempo, já que no desenvolvimento de software provavelmente ocorrerão algumas mudanças, como: alterações nos requisitos pré-estabelecidos; correção de erros que provoquem, conseqüentemente, mudanças na estrutura dos códigos; seleção de novas atividades, ações e tarefas pela equipe de desenvolvimento conforme for necessário. Essa camada corresponde à um conjunto de ações que almejam a produção. Atua sobre o controle de gerenciamento dos projetos, prepara o desenvolvimento para o cumprimento dos prazos e norteia a aplicação de métodos, sempre visando a qualidade (PRESSMAN, 2016, p. 15-16).

**Figura 7 – Engenharia de software em suas camadas.**



**Fonte: (PRESSMAN, 2016, p. 16).**

Os métodos estão relacionados à técnica, meios utilizados para o desenvolvimento. Abrangem atividades como análise de requisitos de projeto, planejamento, modelagem, codificação, testes e suporte. A camada de ferramentas auxilia as camadas de processo e métodos oferecendo instrumentos para suporte automatizado ou semiautomatizado. É possível que haja troca de informações entre ferramentas, um sistema integrado (PRESSMAN, 2016, p. 16).

Um processo de engenharia de software não ocorre sem a aplicação de uma *metodologia de processo*, a qual direciona o processo ao determinar quais atividades fundamentais devem ser executadas, simultaneamente à *atividades de apoio* realizadas durante todo o processo. A seguir, é apresentada uma metodologia de processo genérica (adotada neste Projeto) a qual define atividades metodológicas aplicáveis aos mais diversos tipos de criação de programas e aplicações,

bastando acrescentar os detalhes necessários à cada projeto em específico (PRESSMAN, 2016, p. 17):

1. **Comunicação:** primeiramente, a equipe de desenvolvimento de software deve compreender do que trata o projeto que está sendo solicitado e quais são os objetivos almejados. Portanto, é de grande importância a comunicação entre a equipe de software, o cliente e demais envolvidos (sejam usuários, executivos, ou outros interessados no projeto) tanto antes de iniciar um trabalho técnico quanto durante todo o processo de desenvolvimento. A partir das primeiras reuniões são estabelecidos os requisitos para que o software apresente as características e funcionalidades desejadas. As reuniões realizadas no decorrer do processo de criação são importantes para que os envolvidos estejam cientes do andamento do projeto e para que sejam realizadas modificações, caso necessário.
2. **Planejamento:** a etapa de planejamento visa tornar mais clara e simples a visualização de como deve ser o produto, assim como o processo de desenvolvimento, na medida em que estabelece um plano de projeto de software. Esse plano serve como guia para a equipe de software quanto ao que deve ser feito, pois evidencia em detalhes quais serão as tarefas técnicas, recursos que devem ser utilizados e riscos, além de promover um cronograma para o desenvolvimento (organização e entrega de acordo com os prazos estabelecidos).
3. **Modelagem:** a criação de modelos para projetos está presente em diversas áreas do mundo do trabalho, sobre as criações mais simples até as mais complexas. A modelagem é muito presente e importante por conseguir desenhar a estrutura e características de um projeto completo de forma sucinta ("esboço"), facilitando a compreensão das necessidades do projeto como um todo e solução de problemas até que se chegue aos produtos finais. Assim, deve ser com a criação de software, de acordo com suas especificidades e requisitos é possível estruturar um modelo a ser seguido.
4. **Construção:** trata-se da implementação do projeto. É na etapa de construção que os códigos do software são gerados e vários testes são realizados. À medida que erros na codificação são detectados, modificações nos códigos são realizadas e esse procedimento acontece até que nenhum erro seja encontrado.
5. **Entrega:** permite também que o solicitador do software avalie o produto. Um incremento de software (parcela do software) ou o software completo finalizado, quando entregue

recebe uma avaliação, o que gera um feedback sobre o que foi entregue.

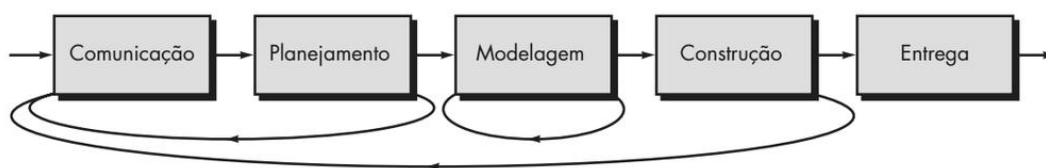
Em um processo de software, a metodologia adotada tem influência das especificidades do projeto, e tem como base a metodologia de processo genérica para engenharia de software apresentada anteriormente, a qual é distribuída nessas cinco atividades básicas. A prática dessas cinco atividades metodológicas é eficaz desde os projetos mais simples para desenvolvimento de software até os mais complexos e demorados, pois abrangem o que é essencial para a criação de um produto de qualidade: compreender o que deve ser produzido, a partir da reunião de requisitos (comunicação); organizar e mapear as atividades de desenvolvimento que devem ser executadas (planejamento e modelagem); construir de fato o software e verificar se os objetivos foram alcançados, se o software funciona como planejado.

É importante ressaltar que cada uma das atividades metodológicas é composta por ações de engenharia de software, que por sua vez, reúnem cada uma, diversas tarefas para a produção de software e garantia de qualidade. As atividades metodológicas, assim como suas respectivas ações e tarefas, devem ser executadas em uma determinada sequência ao longo do tempo e essa organização é definida através do *fluxo de processo*.

O projeto de software desta monografia foi desenvolvido a partir de um *fluxo de processo iterativo* (Figura 8), isso significa, como o próprio nome sugere, que as atividades metodológicas serão executadas a partir de uma perspectiva funcionalmente repetitiva, ou seja, as atividades podem ser realizadas mais de uma vez antes que a atividade seguinte seja executada (PRESSMAN, 2016, p. 31).

Seguindo um *fluxo de processo iterativo*, foi possível estar em constante comunicação com os envolvidos do projeto e manter a organização das tarefas e ações desenvolvidas em meio às alterações em alguns requisitos ao longo do processo.

**Figura 8 – Fluxo de processo iterativo.**



Fonte: (PRESSMAN, 2016, p. 33).

## 2.7 Aplicativos para dispositivos móveis: sistema operacional Android

Dentre os campos de aplicação de software, a categoria *Aplicações Web/aplicativos móveis* têm se destacado devido ao seu contínuo progresso. Corresponde ao desenvolvimento de aplicações para navegadores e dispositivos móveis (redes). Enquanto os WebApps são navegadores projetados para melhorar a experiência de navegação em dispositivos móveis de acordo com as especificidades desses dispositivos, os aplicativos móveis conseguem acesso direto ao hardware dos dispositivos, são softwares desenvolvidos especialmente para instalação, armazenamento e funcionamento em plataformas móveis, no caso desta monografia, para a plataforma Android (PRESSMAN, 2016, p. 7–10).

O constante progresso e investimento na criação de aplicativos móveis tem atuado inclusive sobre a tecnologia médica: auxílio ao diagnóstico em exames, auxílio ao tratamento de afecções, melhora da qualidade de vida de pacientes que requerem acompanhamento de algum tipo de quadro clínico, entre outros tipos de aplicação.

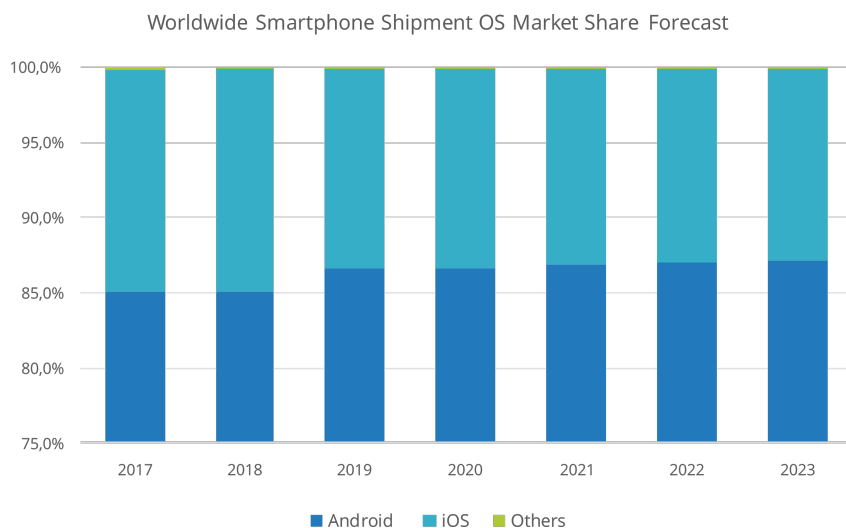
Android é um sistema operacional para dispositivos móveis, comercializado pela *Google Inc.* e lançado em 2008. Observam-se grandes mudanças no panorama do mercado de sistemas operacionais para telefones celulares desde a introdução de smartphones executando o sistema Android. Rapidamente esse sistema alcançou o posto de líder de mercado e seu expressivo volume de vendas continua tendendo ao crescimento. Isso tem como justificativa as parcerias entre a *Google* e empresas fabricantes de dispositivos móveis, assim como a característica *open source* do sistema, o que atrai desenvolvedores de aplicativos móveis para a plataforma e resulta na infinidade de aplicativos Android disponíveis atualmente. A supremacia de mercado e esses outros fatores justificam o emprego desse sistema na criação dos aplicativos protótipos propostos (Butler, 2011).

Segundo previsão da *International Data Corporation* (IDC), até o fim de 2019 a participação do sistema operacional Android aumentará ligeiramente para 86,7% em comparação aos 85,1% de 2018. Espera-se que a distribuição de smartphones Android aumente durante a previsão de 2019 a 2023, principalmente devido a lançamentos de vários novos modelos (IDC, 2019).

Esses dados são exibidos graficamente na Figura 9, é visível a expressiva participação do

sistema Android no mercado de sistemas operacionais. Os dados referentes aos anos de 2017 e 2018, e a previsão até 2023 também foram organizados em tabela para melhor visualização das porcentagens (Figura 10).

**Figura 9 – Distribuição global de mercado de sistemas operacionais para smartphones em gráfico.**



**Fonte: (IDC, 2019).**

**Figura 10 – Distribuição global de mercado de sistemas operacionais para smartphones em tabela.**

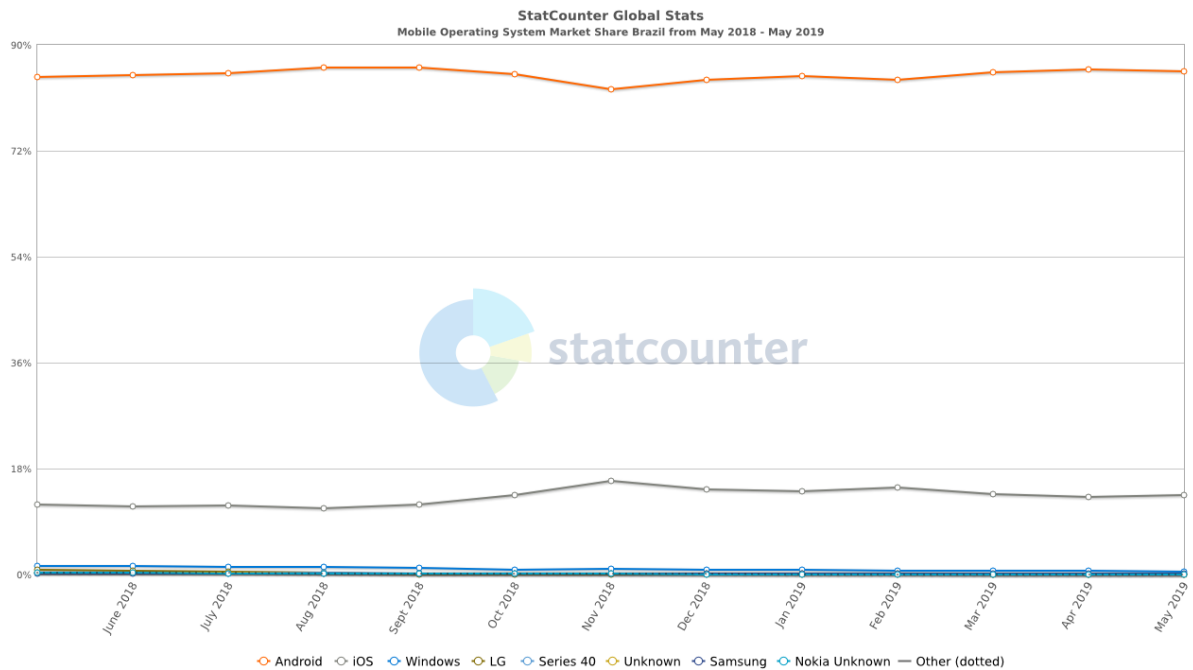
Year	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Android	85,1%	85,1%	86,7%	86,6%	86,9%	87,0%	87,1%
iOS	14,7%	14,9%	13,3%	13,4%	13,1%	13,0%	12,9%
Others	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
TOTAL	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

**Fonte: (IDC, 2019).**

No âmbito brasileiro, a distribuição do sistema Android também tem altíssimo alcance, líder de mercado: na Figura 11 a distribuição de mercado de maio de 2018 a maio de 2019 é apresentada. É possível visualizar essa distribuição em uma faixa de 82,47% a 86,14% com poucas oscilações. Na Figura 12, observa-se que o Android deteve 85,57% do mercado nacional em maio deste ano.

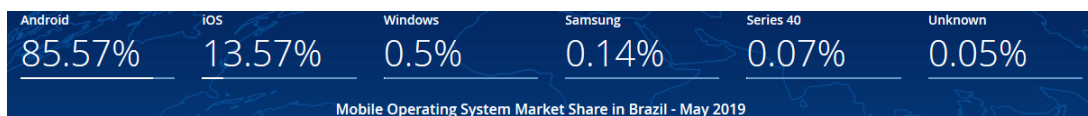
A partir do embasamento teórico obtido foi possível compreender como são relevantes os estudos que almejam aprimorar as técnicas para detecção e monitoramento de afecções que acometem o Trato Gastrointestinal humano. A pHmetria esofágica prolongada se mostra um método bastante eficaz neste contexto atualmente, portanto, o emprego de melhoramentos no equipamento utilizado (pHmetro) e na experiência do exame como um todo (adição dos aplicativos) são válidos.

**Figura 11 – Distribuição de mercado de sistemas operacionais móveis no Brasil.**



Fonte: (StatCounter GlobalStats, 2019).

**Figura 12 – Distribuição de mercado de sistemas operacionais móveis no Brasil em maio de 2019.**



Fonte: (StatCounter GlobalStats, 2019).

As estratégias empregadas advindas de conceitos da engenharia de software foram importantes para a organização de tarefas durante o desenvolvimento dos aplicativos: compreensão dos requisitos necessários para que o software atendesse às expectativas pré-definidas, planejamento consistente de atividades, desenvolvimento particionado e revisão das funcionalidades construídas. A escolha da plataforma Android, como já elucidado, tem fundamento na participação deste sistema operacional no mercado, seu enorme alcance mundial e supremacia local em vários países, além dos fortes indícios da continuidade de seu crescimento nos próximos anos.

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

As ferramentas e métodos para o desenvolvimento dos protótipos de registrador para pHmetria e de aplicativos Android para auxílio ao exame, objeto desta monografia, serão apresentados neste Capítulo, bem como as justificativas para as práticas e métodos adotados.

Primeiramente, deu-se a etapa de pesquisa e estudos em artigos científicos, livros, conteúdos disponíveis em sites e em ambientes colaborativos de programação na internet sobre os conceitos fundamentais para desenvolvimento desta monografia, a fundamentação teórica referente à montagem e codificação para o registrador para pHmetria, assim como o desenvolvimento dos aplicativos Android.

Realizada a reunião do embasamento teórico necessário, deu-se a implementação do registrador e aplicativos.

### 3.1 Registrador para pHmetria

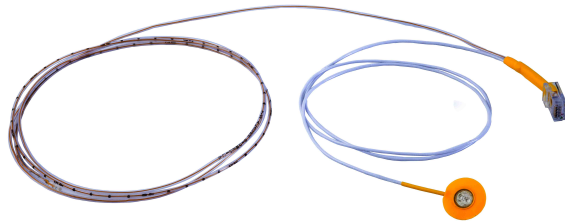
O modelo comercial de referência de pHmetro utilizado para a realização deste trabalho é portátil, registrador e sonda para pHmetria da empresa Alacer Biomédica Indústria Eletrônica Ltda (São Paulo, Brasil), ilustrados nas Figuras 13 e 14, respectivamente. A partir de consulta ao Especialista na área, a escolha do modelo comercial para referência foi realizada com o dispositivo *AL-3 PHmetria Esofágica*, bastante utilizado para exames em todo o país devido sua qualidade e eficiência. Seu menu permite configurar exames e número de canais utilizados, assim como registrar informações que também são relevantes ao diagnóstico e devem ser assinaladas pelo paciente durante o exame: horários de alimentação do paciente; posição deitar/levantar e ocorrência de sintomas. O protótipo para registrador, portanto, foi desenvolvido tendo o *AL-3 PHmetria Esofágica* como modelo.

As sondas para pHmetria esofágica são de menor calibre se comparadas aos outros modelos que não são destinados à este exame médico, para trazer conforto ao paciente. As sondas para pHmetria da Alacer Biomédica possuem sensores de antimônio e presença de cloreto de prata em seu sensor de referência externo; foram utilizadas para atuar em conjunto com o registrador desenvolvido. Foram utilizadas sondas de um canal com referência externa nos testes iniciais, visto que ainda se trabalhava com um canal de aferição. Assim que foi adquirido o segundo módulo leitor de pH, foi possível trabalhar com dois canais de aferição (internos), sendo

**Figura 13 – Registrador AL-3 PHmetria Esofágica.**

**Fonte: (Alacer Biomédica Indústria Eletrônica Ltda, 2019).**

utilizadas a partir de então sondas de dois canais com referência externa.

**Figura 14 – Sonda para pHmetria com dois canais internos.**

**Fonte: (Alacer Biomédica Ltda, 2019).**

Para o protótipo para pHmetro (hardware), os elementos que compõem a montagem final do registrador são listados a seguir:

- Arduino UNO Rev3;
- Dois módulos sensores para detecção de valor de pH líquido para Arduino (PH-4502C);
- Display LCD 16 x 2 shield com teclado;
- Módulo Bluetooth RS232 HC-05;
- Módulo micro SDCard;
- Micro SDCard de 8 GB;
- Módulo Tiny RTC DS1307;
- Acelerômetro e Giroscópio Módulo GY-521 MPU-6050;
- Módulo Serial I2C para Display LCD;

- Bateria de 9V;
- Caixa para montagem Patola e fios *jumper* para conexões entre componentes.

A escolha dos componentes para a montagem do registrador para pHmetria sofreu algumas modificações ao longo do desenvolvimento do Projeto, com o intuito de tornar mais simples o hardware, porém nunca simplista, além de diminuir os custos do protótipo e torná-lo mais compacto. Portanto, os componentes listados acima são os que fazem parte da seleção final de componentes para o protótipo. Na Tabela 1 são apresentados os custos para composição do hardware do registrador.

**Tabela 1 – Custos do hardware do protótipo de registrador para pHmetria.**

<b>Componente</b>	<b>Custo</b>
Arduino UNO Rev3	R\$ 54,90
Módulo sensor de pH líquido para Arduino PH-4502C (2 unidades)	R\$ 129,80
Display LCD 16 x 2 shield com teclado	R\$ 29,90
Módulo Bluetooth RS232 HC-05	R\$ 34,90
Módulo micro SDCard	R\$ 9,90
Micro SDCard 8 GB	R\$ 17,83
Módulo Tiny RTC DS1307	R\$ 15,90
Acelerômetro e Giroscópio Módulo GY-521 MPU-6050	R\$ 16,90
Módulo Serial I2C para Display LCD	R\$ 9,90
Bateria de 9V	R\$ 25,02
Caixa para montagem Patola	R\$ 34,11
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 379,06</b>

**Fonte: a autora.**

A sonda para pHmetria utilizada para compor este pHmetro (em conjunto com o protótipo de registrador) tem custo de R\$ 310,00: sonda para adulto de dois canais com referência cutânea externa. Portanto, o custo total para o hardware do pHmetro que utiliza o protótipo de registrador e a sonda comercial é de R\$ 689,06.

O custo total de um kit composto por equipamento e acessórios para pHmetria da Alacer Biomédica tem valor de R\$ 13.680,00 atualmente. Somente o registrador para pHmetria da empresa custa R\$ 6.930,00.

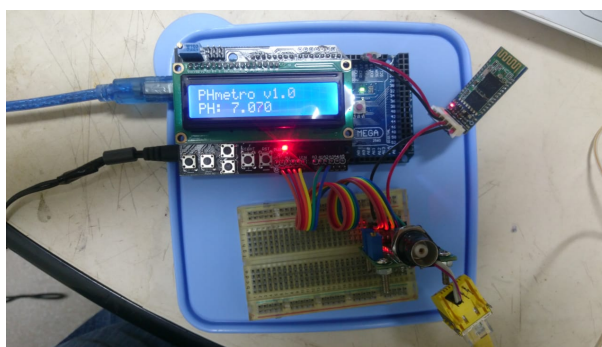
### 3.1.1 Componentes

#### 3.1.1.1 Arduino UNO

A plataforma *open source* (hardware e código fonte) Arduino permite a construção de um protótipo de registrador para pHmetria com agilidade de programação para a placa. Inicialmente, a placa Arduino MEGA 2560 Rev3 foi utilizada, por conter um número de entradas e saídas (54 portas digitais e 16 portas analógicas) mais adequado ao Projeto do que o Arduino Uno Rev3 (14 portas digitais e 6 portas analógicas), porém, com o intuito de diminuir ainda mais os custos do protótipo e torná-lo mais compacto, optou-se pela troca para a placa Arduino UNO Rev3, o qual atende as necessidades do Projeto. Essa mudança se tornou viável devido ao uso do módulo serial I2C, o qual possibilitou que todas as conexões fossem realizadas utilizando o Arduino UNO, apesar do menor número de portas (Arduino, 2019a).

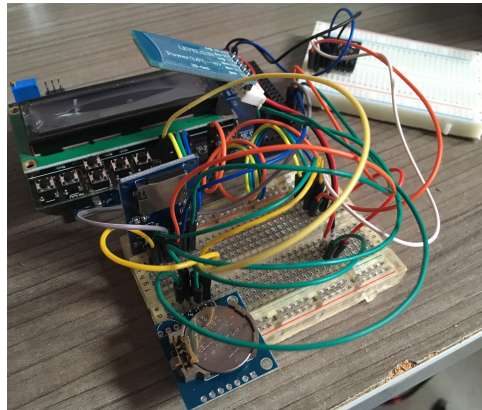
Na Figura 15 é elucidada a calibração com o módulo leitor para pH com a utilização da placa Arduino MEGA ainda nos testes iniciais. Como dito anteriormente, foi possível adotar a placa Arduino UNO para a versão final do protótipo. É possível ver também a utilização de somente um módulo leitor de pH, posteriormente mais um foi adicionado ao protótipo, para que seja possível trabalhar com sondas para pHmetria de dois canais de aferição (cada módulo realiza a leitura de um canal). A Figura 16 também é um registro das primeiras montagens do Projeto, ainda utilizando a placa Arduino MEGA, apenas um módulo sensor para pH, protoboards e fios *jumper* para facilitar as conexões aos módulos.

**Figura 15 – Calibração com a placa Arduino MEGA.**



**Fonte: a autora.**

Arduino UNO R3 (Figura 17) é a primeira placa microcontroladora de uma série de placas Arduino já lançadas, é o modelo de referência para a plataforma, portanto a placa mais vendida e utilizada entre todos os modelos de placa Arduino atualmente. Seu processador central é o *ATmega328P*, um microcontrolador tipo chip único criado pela empresa Atmel. Utiliza

**Figura 16 – Montagem com a placa Arduino MEGA.**

**Fonte: a autora.**

conexão USB para comunicação da placa com computadores, tanto para alimentação quanto para programar através de seu Arduino IDE, *ambiente de desenvolvimento integrado*, que utiliza uma linguagem baseada em C/C++ para a programação da placa (Arduino, 2019a).

Além disso, possui uma boa quantidade de portas I/O digitais e entradas analógicas para o Projeto (aliado ao módulo serial I2C) e compatibilidade com a maioria dos shields Arduino (disponibilidade de códigos e bibliotecas para os mais diversos shields, sensores e módulos). Outro fator relevante na escolha desse modelo de placa é o fato de esse ser um dos modelos de menor custo, o que é adequando à proposta do Projeto de desenvolver um protótipo que utiliza materiais de baixo custo e visando, paralelamente, a qualidade.

**Figura 17 – Arduino UNO Rev3.**

**Fonte: (Arduino, 2019a).**

Alguns indicadores técnicos são: tensão de operação de 5V; tensão de entrada (recomendada) de 7-12V; 14 pinos digitais (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM); 6 pinos digitais PWM; 6 pinos analógicos de entrada; corrente DC por pino I/O de 20 mA; corrente DC por pino 3,3V de 50 mA; memória flash de 32 KB (ATmega328P); SRAM de 2 KB

(ATmega328P); EEPROM de 1 KB (ATmega328P); velocidade do clock de 16 MHz (Arduino, 2019a).

### 3.1.1.2 Módulo sensor para detecção de valor de pH líquido (PH-4502C)

O módulo sensor para leitura de pH escolhido pode ser visto na Figura 18. Foi desenvolvido especialmente para trabalhar em conjunto com microcontroladores e é responsável pela intermediação dos sensores (canais) da sonda de pH com a placa Arduino. Este módulo é o responsável por transmitir os valores de pH detectados pela sonda de pHmetria para a placa Arduino UNO. A conversão para sinal eletrônico ocorre na sonda, a qual funciona como uma pilha galvânica. Foram utilizados dois módulos leitores de pH, um para realizar a leitura de cada canal de aferição, pois a proposta final deste protótipo é trabalhar com a leitura de sondas de dois canais.

**Figura 18 – Módulo sensor de pH para Arduino.**



**Fonte: (Diymore, 2019).**

Alguns indicadores técnicos do módulo são: fonte de alimentação de 5V; faixa de medição (detecção) de 0-14 pH; temperatura de medição de 0-60 °C; tempo de resposta de  $\leq 1min$ . Pinos utilizados: Po (saída Analógica de pH), G (GND) e V+ (5V). O pino Po de um módulo foi conectado ao pino A1 e o pino Po do outro módulo foi conectado ao pino A2 da placa Arduino UNO, para que os valores detectados por cada módulo tenham sua leitura realizada por pinos diferentes da placa Arduino.

### 3.1.1.3 Módulo Serial I2C e Display LCD 16 x 2 shield com teclado

A quantidade de pinos disponíveis no Arduino UNO seria insuficiente para as conexões do display LCD e demais conexões necessárias para os outros componentes utilizados. Para solucionar essa questão, o módulo de interface I2C para controle do display LCD foi utilizado, o que reduziu significativamente o número de pinos do Arduino destinados ao uso do display (Arduino, 2019c).

Existem 16 pinos no módulo I2C para conexão com o display LCD, os quais foram devidamente conectados. O módulo I2C utiliza os pinos SDA e SCL da placa Arduino para conexão com seus pinos SDA e SCL, respectivamente e pinos VCC e GND também são conectados aos pinos correspondentes da placa (5V e GND, respectivamente). O display LCD shield se conecta à placa Arduino com pino A0 ao A0 da placa e GND ao correspondente na placa.

**Figura 19 – Display LCD shield 16 x 2.**

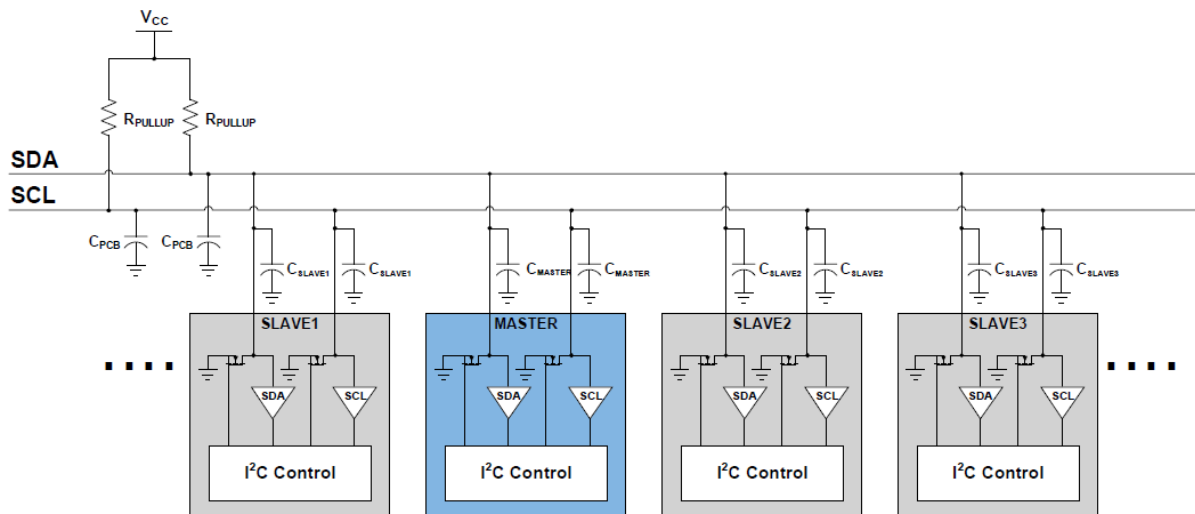


**Fonte: (AutoCore Robótica, 2019).**

Este módulo é de grande utilidade em projetos com Arduino ou outros microcontroladores (Mestre) que tenham suporte para o protocolo I2C e se observa um número considerável de periféricos interagindo entre si (Slaves). O shield display LCD 16 x 2 é apresentado na Figura 19.

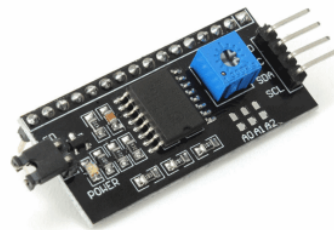
O protocolo I2C (criado pela Philips, atual NXP) permite conectar microcontroladores à diversos dispositivos periféricos, sistemas embarcados ou ainda circuitos de celulares ao definir o TWI (*Two Wire Interface*), um barramento que realiza a comunicação através de dois fios somente, o Serial Data e o Serial Clock (SDA e SCL, respectivamente) como ilustra a Figura 20. Para isso, é definido um endereço hexadecimal para cada dispositivo e no momento de comunicação somente o dispositivo solicitado pelo endereço será acionado. Geralmente o barramento é controlado por um Mestre, e trabalha com vários Slaves, mas é possível implementar um barramento que incluía outros Mestres, os quais podem solicitar o controle temporariamente do barramento (Vida de Silício LTDA, 2019).

Figura 20 – Comunicação Serial I2C.



Fonte: (Texas Instruments, 2018).

Figura 21 – Módulo Serial I2C.



Fonte: (MADEIRA, 2017).

O módulo I2C trabalha com o circuito integrado *PCF8574*: em uma das laterais do módulo existem quatro pinos, os quais foram utilizados, dois são para alimentação (VCC e GND), e os outros dois são SDA e SCL, da interface I2C (Figura 21). O potenciômetro da placa serve para ajuste do contraste do display, e o jumper na lateral oposta permite que a luz de fundo (backlight) seja controlada por programa ou permaneça apagada (NXP Semiconductors, 2013).

#### 3.1.1.4 Módulo Bluetooth RS232 HC-05

A placa Arduino UNO é um modelo que não possui módulo de comunicação bluetooth embutido, por isso surgiu a necessidade de uso de módulo bluetooth externo, neste caso o HC-05 (Figura 22), que pode iniciar uma conexão com outro dispositivo (*master-slave*). Os pinos deste módulo que foram utilizados são apresentados a seguir.

- TXD e RXD: pinos para escrita e leitura dos dados transmitidos, realizam a comunicação serial entre o módulo bluetooth e o Arduino.

- VCC e GND: pinos para alimentação do módulo.

**Figura 22 – Módulo Bluetooth RS232 HC-05.**



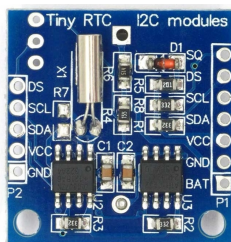
**Fonte: (FilipeFlop Componentes Eletrônicos, 2019b).**

Alguns dos indicadores técnicos do módulo são: tensão de operação entre 3,3V e 6V; modo de funcionamento master/slave; alcance do sinal de cerca de 10 metros; antena embutida na placa; firmware Linvor 1.8; pinos presentes no módulo KEY, VCC, GND, TXD, RXD, STATUS; configuração padrão de 9600bps/senha (PIN) 1234. Os pinos para alimentação VCC e GND foram conectados ao pino 5V e GND da placa Arduino, respectivamente. O pino TXD (envio/escrita de dados) conecta-se ao pino RX (recebimento/leitura de dados) do Arduino e o pino RXD (recebimento/leitura de dados) conecta-se ao pino TX (envio/escrita de dados) do Arduino.

#### 3.1.1.5 Módulo Tiny RTC DS1307

Este módulo tem como componente principal o circuito integrado *DS1307*, um RTC (*Real Time Clock*) fabricado pela *Maxim-IC*. Realiza controle do tempo e cálculo de calendário, fornecendo informações de segundos, minutos, horas, dias, meses e anos. Possui suporte para o protocolo I2C. O módulo possui bateria recarregável, a *LIR2032*, que mantém o RTC funcionando enquanto o equipamento está desligado, além da memória *AT24C32*, uma *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory* (EEPROM) (Maxim Integrated Products, Inc., 2015; PowerStream Technology, 2019; Atmel Corporation, 2003).

**Figura 23 – Módulo Tiny RTC.**



**Fonte: (CAMPOS, 2019).**

Para este Projeto, foi necessário o uso apenas das estruturas de alimentação e comunicação I2C do módulo RTC. Portanto, foram utilizados do módulo os pinos VCC (ao pino 5V do Arduino), GND (ao pino GND do Arduino), SCL (ao pino A5 do Arduino) e SDA (ao pino A4 do Arduino), todos presentes no conector *PI*: o módulo tem acesso à elementos externos através de dois conectores, *P1* e *P2*, indicados em cada lateral do módulo, como ilustra a Figura 23.

#### 3.1.1.6 Módulo micro SDCard

A comunicação via Interface Periférica Serial (Serial Peripheral Interface — SPI) foi utilizada. SPI é um protocolo de dados seriais síncronos usado por microcontroladores para comunicação com dispositivos periféricos ou com outro microcontrolador rapidamente e em curtas distâncias. Na conexão SPI, há sempre um dispositivo mestre (um microcontrolador, na maioria das vezes) que controla os dispositivos periféricos (slaves). As linhas comuns a todos os dispositivos são geralmente as listadas a seguir (Arduino, 2019b):

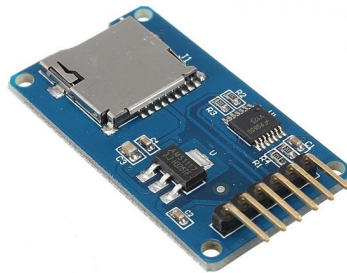
- MISO (Master In Slave Out): esta é a linha utilizada pelo dispositivo slave para enviar dados ao mestre;
- MOSI (Master Out Slave In): nesta linha o dispositivo mestre envia dados para os periféricos;
- SCK (Serial Clock): estes pulsos do clock sincronizam a transmissão de dados gerada pelo mestre e uma linha específica para cada dispositivo slave;
- SS (Slave Select): a partir deste pino o mestre pode ativar e desativar dispositivos específicos, seleciona qual slave receberá os dados.

No cartão micro SD (Figura 24) é criado para cada exame um arquivo em formato de texto com um cabeçalho que informa dados sobre o paciente: um ID gerado automaticamente, nome completo, data de nascimento e convênio do paciente — essas três últimas informações são incluídas via celular, através da versão médico do aplicativo Android, destinada ao profissional responsável pela realização do exame.

As informações a seguir do cabeçalho são os dados colhidos desde o início do exame, portanto: são registrados possíveis sintomas que o paciente venha a apresentar durante o exame; início e finalização de alimentação; posição em pé ou deitado, informações registradas pelo paciente na versão do aplicativo Android em que este é o usuário final.

Além disso é gerada uma linha, no arquivo de texto, a cada intervalo definido de 4 segundos com o valor de pH lido; início e fim do exame também são indicados. Todas as informações sobre o exame citadas terão seus horários e períodos de incidência indicados no arquivo de texto para a análise de resultados, por conta da utilização do módulo Tiny RTC.

**Figura 24 – Módulo Cartão Micro SD.**



**Fonte: (FilipeFlop Componentes Eletrônicos, 2019c).**

As conexões estabelecidas entre este módulo e a placa Arduino são realizadas da seguinte maneira: pino CS ao pino digital 10, pino SCK ao pino digital 13, pino MOSI ao pino digital 11, pino MISO ao pino digital 12, pino VCC ao pino 5V e pino GND ao pino GND do Arduino.

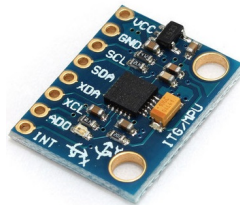
#### 3.1.1.7 Acelerômetro e Giroscópio Módulo GY-521 MPU-6050

O chip MPU-6050 combina um giroscópio e um acelerômetro de três eixos cada (x, y e z), sendo ao todo seis graus de liberdade (6DOF), além de um Processador Digital de Movimento (DMP) integrado. O sensor usa o Protocolo padrão de comunicação I2C para transmissão de dados com o Arduino. O módulo pode ser visto na Figura 25, os pinos VCC, GND, SCL e SDA foram utilizados (InvenSense Inc., 2019; Arduino Playground, 2019).

O giroscópio é um sensor que utiliza a força da gravidade para indicar a posição de um determinado objeto no espaço, neste caso, a posição do corpo humano (paciente de pé ou deitado). Pode ser empregado no monitoramento da orientação, direção, movimento angular e rotação. Em smartphones, por exemplo, o giroscópio ajuda a determinar a posição e orientação do aparelho. O acelerômetro é um sensor que mede a aceleração exercida sobre um objeto em relação à gravidade, assim como ângulo de inclinação, rotação, vibração e colisão. Quando utilizado em smartphones, o acelerômetro pode mudar automaticamente o visor do celular na vertical ou horizontal, já que esse sensor identifica em que eixo vetor aceleração da gravidade está o movimento. Pode-se dizer que exercem funções complementares um sobre o outro, tornando ambas as medições ainda mais precisas, enquanto um mede a aceleração de um corpo em relação

à gravidade, o outro mede a posição do corpo através da força da gravidade (Vida de Silício LTDA, 2019).

**Figura 25 – Módulo GY-521 MPU-6050.**



**Fonte: (FilipeFlop Componentes Eletrônicos, 2019a).**

A alimentação do módulo pode variar entre 3V e 5V (VCC), mas para melhores resultados e precisão, recomenda-se utilizar 5V, portanto foi conectado ao pino 5V da placa Arduino. O GND foi conectado no pino GND do Arduino. SCL corresponde ao fio para o clock e SDA corresponde ao fio para transmissão de dados no Protocolo I2C, conectados aos pinos SCL e SDA do Arduino, respectivamente (InvenSense Inc., 2013).

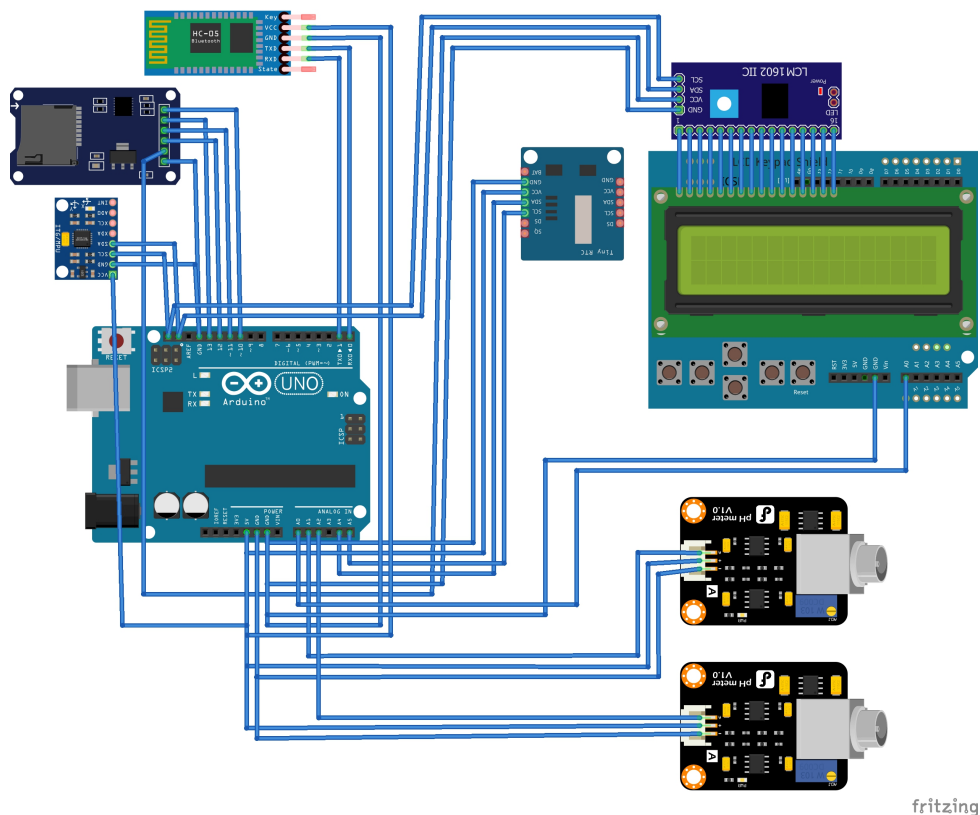
Testes com este módulo foram feitos para verificar as leituras de valores nos eixos x, y e z e correlacionar esses valores com a posição do módulo no espaço, conseqüentemente, a posição do paciente no espaço (três eixos), pois este módulo deve ser fixado no paciente. Durante esses testes, através de mudanças na inclinação do módulo no espaço foi possível definir a partir das medições de aceleração quais as leituras dos eixos para um corpo na vertical ou horizontal (e em movimento entre essas posições). O paciente é considerado na vertical (de pé) quando o módulo realiza as seguintes leituras referentes à aceleração: valor da aceleração no eixo x deve ser maior que zero, maior que a aceleração no eixo y e maior que a aceleração no eixo z. Qualquer leitura que não se encaixe nesse padrão indica que o paciente está inclinado ou completamente na horizontal (deitado).

### 3.1.2 Montagem e procedimento para testes

O Projeto completo do registrador criado no Software Fritzing, constituído pelos componentes apresentados é exibido pela Figura 26 com as devidas conexões. O protótipo depois de montado foi comportado em uma caixa patola de formato e tamanho semelhantes aos do modelo de registrador portátil para pHmetria da Alacer Biomédica, tem dimensões de 115mm x 90mm x 55mm (comprimento, largura e altura, respectivamente). Os componentes foram soldados na caixa e esta recebeu as aberturas necessárias para permitir as conexões com elementos externos,

inserção de micro cartão SD e conexão à sonda para pHmetria, por exemplo.

**Figura 26 – Projeto do registrador criado no Software Fritzing.**



**Fonte: a autora.**

### 3.1.2.1 Calibração

O procedimento de calibração do pHmetro deve ser realizado antes de todos os exames de pHmetria, para garantir a precisão na captação do sinal pelo equipamento, portanto, a veracidade das medições. A seguir, a definição de calibração segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

Calibração: conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões (INMETRO, 2001).

A calibração é um procedimento indispensável antes da utilização do equipamento de pHmetria para fins de ajuste. É necessária pois a sonda sofre variações naturais e esperadas no seu comportamento elétrico quanto ao seu ponto de estabilidade. Assim, a calibração atua encaminhando o equipamento ao "ponto zero", trata-se do valor de pH que fornece uma diferença

de potencial de 0 milivolts (mV), com uma pequena faixa de tolerância, entre os sensores de medida e referência (SONDHEIMER, 1988).

O "ponto zero", ou próximo, é alcançado quando os sensores de medida e referência são imersos em solução tampão para a qual foram projetados prover potenciais iguais entre si. À medida que a solução se torna mais ácida, o potencial do sensor de medida aumenta em relação ao potencial do sensor de referência, e à medida que a solução se torna mais alcalina, o potencial do sensor de medida diminui em relação ao potencial do sensor de referência. Portanto, a calibração ajusta essa diferença de potencial entre os sensores de medida e referência para o mais próximo possível de 0 mV via software (WESTCOTT, 1978).

Geralmente a solução de pH 7,00 é uma das soluções utilizadas para calibração entre os diversos fabricantes de sensores, pois a maioria dos sensores de medição de pH é projetada para prover um potencial igual ao sensor de referência, ao serem imersos em solução tampão de pH 7,00, a qual fornece uma diferença de potencial de aproximadamente 0 mV (WEBSTER, 1999; WESTCOTT, 1978).

Devido à importância desse procedimento, todos os testes do registrador portátil foram iniciados com a sua calibração, a partir das duas soluções tampão utilizadas (soluções que possuem pH constante). Foram utilizadas soluções tampão de pH 1,00 e 7,00 da Alacer Biomédica.

Para a calibração da sonda, no registrador deve-se selecionar a opção de modo calibração (a calibração via software também é possível) e em seguida, a sonda deve ser conectada ao registrador. A parte da sonda que comporta os seus sensores que aferem o pH (um ou mais canais) deve ser inserida dentro de um recipiente que contenha a solução tampão de pH 1,00 de modo que todos os sensores presentes na sonda (incluindo seu sensor de referência externa) estejam submersos na solução.

Imediatamente, o display LCD exibe valores de pH lidos, com pequenas oscilações desses valores nos primeiros dois a cinco minutos. Após aguardar por esse período de três minutos em média, o display indica que a calibração foi concluída e exibe o valor 1,0 para o pH, o que permite concluir que a leitura do pH está correta, visto que a solução tampão possui pH 1,00 e que o registrador realiza o procedimento de calibração com sucesso.

A seguir, deve-se calibrar a sonda com a solução tampão de pH 7,00. Depois que a calibração com pH 1,00 for concluída, a parte da sonda que estava imersa na solução de pH

1,00 deve ser seca e imersa em água filtrada por alguns segundos, em seguida outra secagem é necessária antes de submergir os sensores da sonda na solução tampão de pH 7,00. Basta aguardar até que o circuito identifique o pH 7,00 da solução e o display indicará que a calibração desta segunda solução foi concluída. Então, o pHmetro está pronto para o exame.

É possível ainda, com o código fonte utilizado, realizar a calibração via programação, exibindo na tela do computador os valores de pH medidos. Assim, caso haja alteração de parâmetros do circuito com o passar do tempo, o software recalcula novos parâmetros e refaz a calibração (utilizando as soluções tampão). Existem algumas linhas de código destinadas à indicação da tensão informada pelo display LCD na entrada analógica.

### 3.1.2.2 Testes em amostras

Após a calibração do protótipo de pHmetro e do pHmetro comercial com uso das duas soluções tampão (pH 1,00 e pH 7,00), foram feitas medições de pH em diferentes amostras de substâncias líquidas, intercalando água mineral e substância para evitar alterações nas medições pela contaminação entre as amostras. O pHmetro comercial foi utilizado como padrão metrológico. Os testes usaram amostras das substâncias a seguir: cerveja, suco de laranja industrializado, energético, água mineral, isotônico, vinagre de álcool, refrigerante Coca-Cola, suco de goiaba industrializado, suco de uva industrializado e refrigerante de guaraná.

As sondas para pHmetria de dois canais e com referência externa da Alacer Biomédica foram utilizadas para trabalhar em conjunto com o protótipo de registrador e o registrador do dispositivo comercial (*AL-3 pHmetria Esofágica*). As medições de pH foram feitas em cada uma das amostras de substâncias (direita para a esquerda e intercalando com água) pelo protótipo e dispositivo comercial simultaneamente. Na Figura 27, o protótipo e o modelo comercial são apresentados lado a lado durante os testes. As medições nessa sequência foram repetidas oito vezes no teste final. Para cada amostra de substância foram anotados os valores de pH medidos para cada canal de ambos os registradores a cada 30 segundos, durante três minutos (0 segundos-180 segundos), com auxílio de cronômetro. Em seguida, ambas as sondas foram secas e imersas em água mineral durante três minutos. Após esse período, as sondas são secas e imersas na amostra seguinte e assim sucessivamente. Para anotação das medidas a Tabela 2 foi utilizada, portanto, oito tabelas foram preenchidas no último teste realizado. A preparação para os testes é ilustrada na Figura 28.

Figura 27 – Modelo comercial e protótipo em testes.



Fonte: a autora.

Tabela 2 – Resultado representativo da mensuração de pH em testes.

1 CERVEJA									Água	2 SUCO DE LARANJA									Água
		0 seg	30 seg	60 seg	90 seg	120 seg	150 seg	180 seg	3 min	0 seg	30 seg	60 seg	90 seg	120 seg	150 seg	180 seg	3 min		
PROTÓTIPO	CANAL 1	5.4	5.3	5.3	5.2	5.2	5.3	5.1	6.8	5.2	4.9	4.7	4.9	4.9	4.6	4.8	5.5		
	CANAL 2	5.4	5.4	5.3	5.3	5.2	5.2	5.1	6.9	5.2	4.9	5.1	5.1	4.8	4.7	4.9	5.5		
COMERCIAL	CANAL 1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	6.9	5.3	5.2	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	6.8		
	CANAL 2	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1	6.9	5.3	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	5.1	6.6		
3 ENERGÉTICO									Água	4 ÁGUA MINERAL									Água
		0 seg	30 seg	60 seg	90 seg	120 seg	150 seg	180 seg	3 min	0 seg	30 seg	60 seg	90 seg	120 seg	150 seg	180 seg	3 min		
PROTÓTIPO	CANAL 1	5.9	6.0	5.9	5.7	5.7	5.7	5.6	5.7	7.0	6.8	5.7	5.8	6.4	7.2	6.9	6.5		
	CANAL 2	6.1	5.9	5.9	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	7.0	6.8	6.0	5.8	6.4	7.2	6.9	6.5		
COMERCIAL	CANAL 1	6.5	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.9	7.0	7.1	7.2	7.2	7.1	7.1	7.1	7.2		
	CANAL 2	6.4	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.9	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.2		
5 ISOTÔNICO									Água	6 VINAGRE									Água
		0 seg	30 seg	60 seg	90 seg	120 seg	150 seg	180 seg	3 min	0 seg	30 seg	60 seg	90 seg	120 seg	150 seg	180 seg	3 min		
PROTÓTIPO	CANAL 1	4.3	4.1	4.2	4.2	4.4	4.1	4.2	5.3	4.7	4.4	4.2	4.3	4.4	4.2	4.3	5.4		
	CANAL 2	4.3	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4.3	5.6	4.9	4.4	4.5	4.4	4.5	4.4	4.3	5.6		
COMERCIAL	CANAL 1	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	6.8	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.2	6.8		
	CANAL 2	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	6.8	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.2	6.7		
7 COCA-COLA									Água	8 SUCO DE GOIABA									Água
		0 seg	30 seg	60 seg	90 seg	120 seg	150 seg	180 seg	3 min	0 seg	30 seg	60 seg	90 seg	120 seg	150 seg	180 seg	3 min		
PROTÓTIPO	CANAL 1	5.0	4.5	4.3	4.4	4.5	4.4	4.4	5.8	5.5	5.2	5.2	5.0	5.2	5.5	5.3	5.7		
	CANAL 2	5.1	4.4	4.4	4.4	4.2	4.3	4.5	5.8	5.4	5.3	5.3	5.1	5.3	5.1	5.3	5.7		
COMERCIAL	CANAL 1	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.9	4.8	7.1	5.6	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	6.8		
	CANAL 2	4.9	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	6.9	5.5	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	6.8		
9 SUCO DE UVA									Água	10 GUARANÁ									Água
		0 seg	30 seg	60 seg	90 seg	120 seg	150 seg	180 seg	3 min	0 seg	30 seg	60 seg	90 seg	120 seg	150 seg	180 seg	3 min		
PROTÓTIPO	CANAL 1	6.1	6.0	6.1	6.1	6.0	5.9	6.0	6.8	5.5	5.5	5.1	5.3	5.7	5.9	5.9	6.3		
	CANAL 2	6.3	5.9	5.9	6.0	5.9	5.8	6.1	6.9	5.9	5.1	5.3	5.1	5.0	5.9	5.9	6.3		
COMERCIAL	CANAL 1	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0	5.7	5.7	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	7.1		
	CANAL 2	6.1	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	7.0	5.6	5.6	5.6	5.6	5.5	5.5	5.6	7.1		

Fonte: a autora.

### 3.2 Aplicativos Android

O ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) escolhido para desenvolvimento dos protótipos foi o Android Studio, IDE criado pelo Google. O desenvolvimento de aplicativos para o sistema operacional Android necessita da instalação do Java SDK e posteriormente, do Android SDK (kit de desenvolvimento) para dar início ao processo de criação, o que foi devidamente feito. Os testes dos aplicativos foram realizados em emulador no Android Studio e em dispositivo físico (smartphone).

**Figura 28 – Organização para testes.**

**Fonte: a autora.**

### 3.2.1 Ambiente de desenvolvimento Android Studio

O Android Studio se baseia no IntelliJ IDEA. Portanto, contém além do editor de código e ferramentas do IntelliJ, outros recursos para que o desenvolvedor alcance maior produtividade na criação de aplicativos Android, como destaca o *Android Developers*, site oficial para desenvolvedores de aplicativos para Android. Algumas outras características do ambiente são apresentadas a seguir (Android Developers, 2018):

- Sistema de compilação flexível e emulador com vários recursos;
- Ambiente unificado que permite desenvolver aplicações para todos os tipos de dispositivos Android;
- Instant Run para aplicar alterações nos aplicativos em execução sem precisar compilar um novo APK;
- Modelos de códigos e integração com a plataforma GitHub para facilitar a criação de recursos comuns dos aplicativos e importar exemplos de código;
- Ferramentas e estruturas de teste que auxiliam na verificação e análise dos mais variados tipos de aplicações em Android;
- Ferramentas de verificação de código suspeito para detectar problemas de desempenho, usabilidade, compatibilidade com versões e outros;
- Compatibilidade com C++ e NDK;

- Compatibilidade embutida com o Google Cloud Platform, facilitando a integração do Google Cloud Messaging e do App Engine.

Os projetos no ambiente Android Studio, possuem sua estruturação em um ou mais módulos (módulos de aplicativo Android, módulos de biblioteca, módulos do Google App Engine), cada módulo com arquivos de código-fonte e referentes à recursos. A exibição dos arquivos dos Projetos na vista de projetos Android, podem ser visualizadas nas Figuras 29 e 30, relativas às versões para profissional e paciente, respectivamente. A organização dessa vista por módulos facilita o acesso aos principais arquivos-fonte do projeto, ou seja, esta é uma exibição simplificada da estrutura do projeto. A estrutura completa de arquivos do projeto está em Project, na lista suspensa Project, já os arquivos de compilação estão no nível superior em Gradle Scripts. Cada módulo de aplicativo contém os três pilares de desenvolvimento, as pastas:

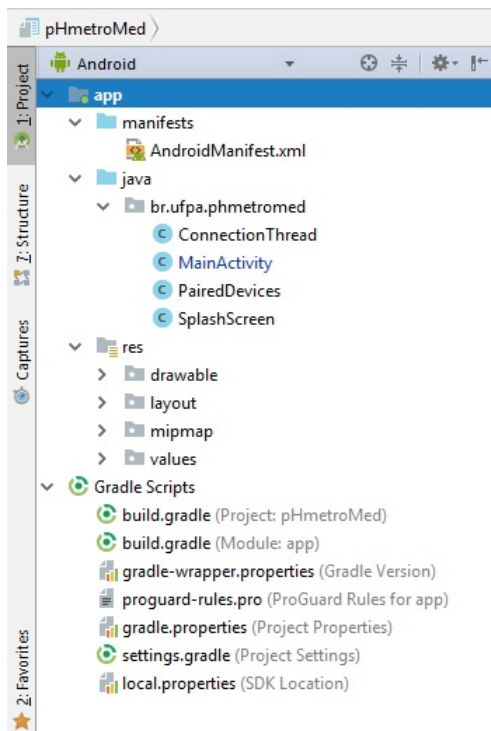
- Manifestos: contém o arquivo `AndroidManifest.xml`, no qual são inseridas as permissões para conexão com outros dispositivos via bluetooth, por exemplo;
- Java: contém os arquivos de código-fonte do Java, incluindo o código de teste do JUnit, ou seja, códigos-fonte para a Main Activity, gerenciamento da conexão bluetooth e dispositivos pareados e definição da Splash Screen;
- Recursos: módulo que contém todos os recursos que não são códigos, entre os quais: layouts XML (para escrita do código que descreve os layouts e visualização do mesmo com a exibição de telas), strings de IU e imagens em bitmap.

### 3.2.2 Organização dos aplicativos — Fluxograma

Uma maneira de sintetizar o fluxo de utilização das aplicações está na criação de um fluxograma de navegação do aplicativo. O fluxograma pode resumir as ações relacionadas às mudança de telas, indica as decisões que são tomadas pelo usuário durante a navegação, início e fim da aplicação. É uma ferramenta com finalidade de descrever o fluxo de ação de um trabalho lógico. É composto por símbolos representados por desenhos geométricos básicos (OLIVEIRA, 2000).

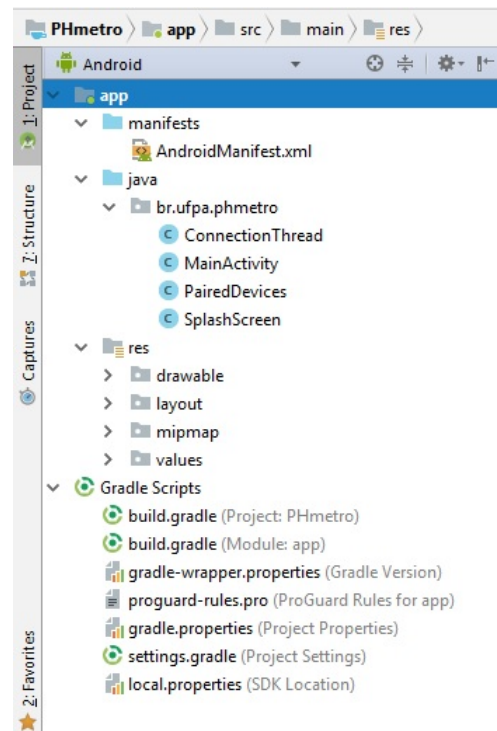
As Figuras 31 e 32, ilustram os fluxogramas que resumem as atividades dos aplicativos para os usuários profissional e paciente, respectivamente. Foram criados na plataforma *online*

Figura 29 – Vista App PHmetroMed.



Fonte: a autora.

Figura 30 – Vista App PHmetro (paciente).



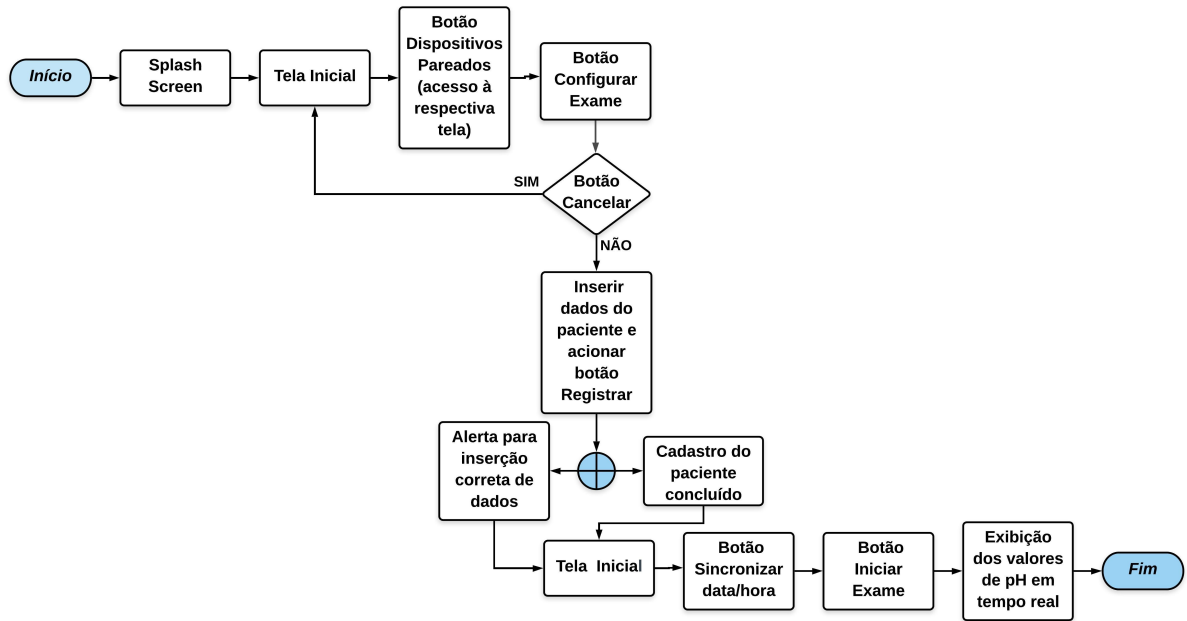
Fonte: a autora.

Lucidchart (*Lucid Software Inc*). As figuras geométricas indicam atividades diferentes, para facilitar a visualização geral do fluxograma: os retângulos de bordas arredondadas indicam início e fim da aplicação, os retângulos indicam os processos, os triângulos se referem às tomadas de decisão e o círculo (Figura 31) é um conector "ou". As setas indicam o sentido do fluxo das atividades.

Na Figura 31 o fluxograma indica que a primeira ação a ser observada é a abertura da *Splash Screen*, antes da exibição da tela inicial. A seguir, a conexão bluetooth entre o celular e o registrador deve ser estabelecida para que a inserção de dados do paciente possa ser efetuada. Se esta ação for cancelada o aplicativo retorna à tela inicial, se for completada o cadastro deve ser finalizado com o botão *Registrar*. Caso todos os campos de texto para inserção de dados do cadastro tenham sido preenchidos o cadastro é finalizado, caso algum campo não tenha sido preenchido, uma mensagem é exibida para alertar o usuário e de volta à tela inicial é possível iniciar o exame.

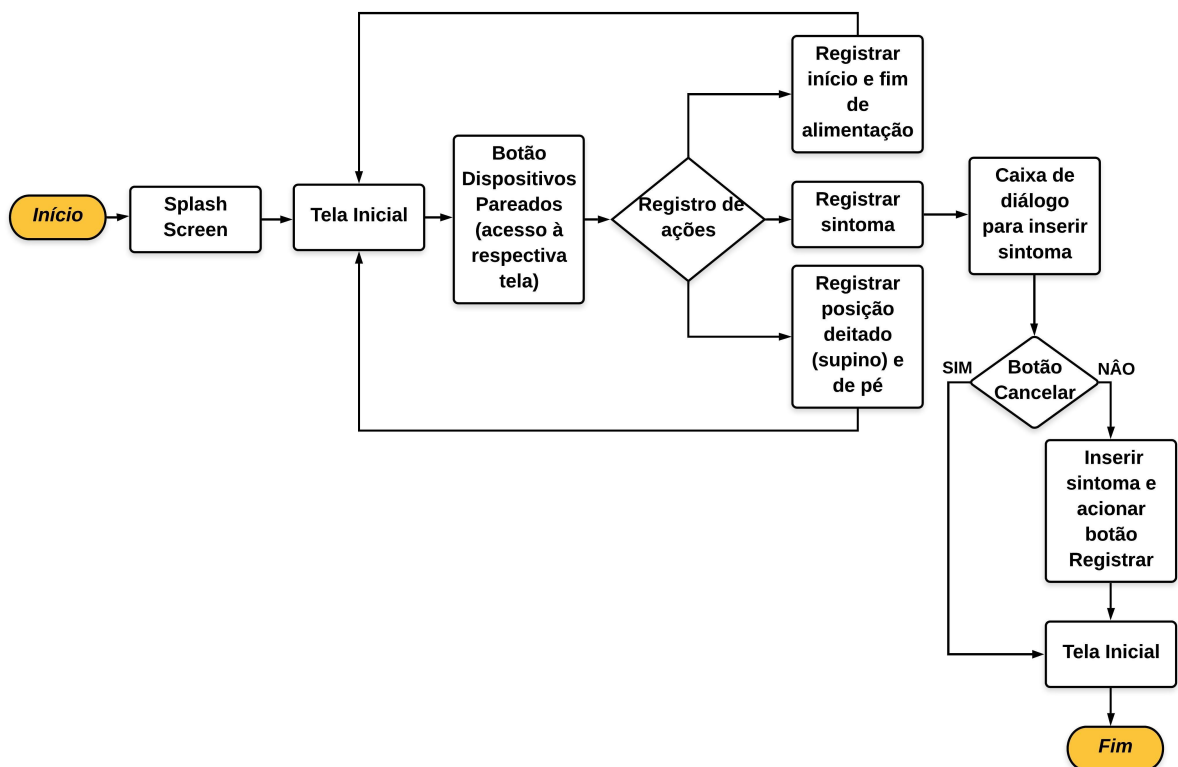
Na Figura 32 o fluxograma também é iniciado com a abertura da *Splash Screen*, antes da exibição da tela inicial. Posteriormente, a conexão bluetooth entre o celular e o registrador é estabelecida através do botão *Dispositivos Pareados* que direciona à tela destinada a esta

Figura 31 – Fluxograma de navegação (profissional).



Fonte: a autora.

Figura 32 – Fluxograma de navegação (paciente).



Fonte: a autora.

atividade. A partir do momento em que o exame é iniciado o paciente pode realizar o registro das refeições, mudança na posição corporal e ocorrência de sintomas. Para os registros de início ou

fim da refeição e posição deitado ou de pé basta arrastar o *Switch* correspondente, permanecendo na tela inicial. O registro de sintomas exibe uma caixa de diálogo sobre a tela inicial: caso a operação seja cancelada o aplicativo encerra a caixa de diálogo, caso o paciente insira o sintoma e acione o botão *Registrar*, o sintoma é registrado e o aplicativo a caixa de diálogo se fecha. Essas ações se repetem enquanto durar o exame, ou seja, sempre que necessário o paciente registra esses eventos.

A compatibilidade da placa microcontroladora Arduino UNO com os módulos empregados foi fator fundamental para atender às funcionalidades que devem estar presentes no registrador. A calibração pode ser feita via software ou via registrador (modo calibração). Os testes referentes às mensurações de pH pelo registrador foram realizados repetidas vezes em substâncias líquidas diversas para que a amostra de resultados fosse satisfatoriamente conclusiva. Para ambos os aplicativos percebeu-se a necessidade de criação de três *Activities* além da *Main Activity*, para o gerenciamento da conexão bluetooth, pareamento de dispositivos e definição da tela de abertura (*Splash Screen*), como elucidado pelas Figuras 29 e 30.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Aquisição de dados: mensuração do pH

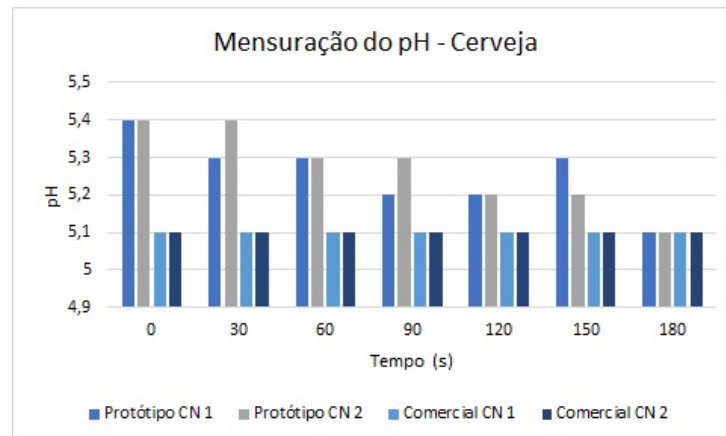
É essencial que se faça uma comparação entre o desempenho do protótipo de registrador criado e o dispositivo comercial adotado como modelo para o desenvolvimento, o *AL-3 pHmetria Esofágica*, com o intuito de comprovar que o protótipo está realizando medições corretamente, de maneira que sua leitura de valores de pH gere resultados próximos aos da leitura realizada pelo dispositivo comercial. Os resultados obtidos em relação ao funcionamento dos aplicativos propostos e exibição de suas telas também serão apresentados neste Capítulo.

Como descrito no Capítulo 3, foram feitas medições do valor de pH imergindo a sonda para pHmetria em amostras de substâncias diferentes após o procedimento de calibração, para os testes. Foram feitos vários testes durante o período de desenvolvimento do projeto, o último teste realizado consistiu no preenchimento de dados da Tabela 2 oito vezes, ou seja, oito repetições de medições nas amostras na sequência apresentada pela Tabela 2. Para representar esse último teste, os resultados obtidos em uma sequência de medição dessas oito realizadas são apresentados nas Figuras 33 a 42. Cada Figura ilustra graficamente o resultado da mensuração do pH em uma das dez diferentes substâncias escolhidas para execução dos testes.

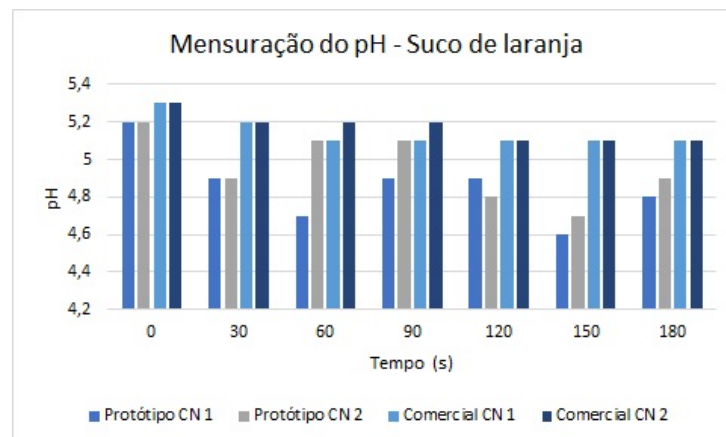
A mensuração do pH em amostra de cerveja no referido teste, gerou o gráfico da Figura 33, o qual evidencia que o registrador comercial realizou leitura igual dos valores de pH para ambos os canais em todos os instantes convencionados para tal anotação dos valores durante três minutos (instantes 0 segundos, 30 segundos, 60 segundos, 90 segundos, 120 segundos, 150 segundos e 180 segundos). Enquanto isso, o protótipo realizou leitura igual para seus dois canais a cada 60 segundos (instantes 0 segundos, 60 segundos, 120 segundos e 180 segundos). De um modo geral, as leituras feitas pelo registrador comercial e protótipo foram de valores de pH bem próximos entre si e no decorrer dos três minutos de medição esses valores tenderam a se aproximar cada vez mais, até que no instante 180 segundos todos os canais fazem leitura do mesmo valor de pH, o que se almeja, visto que todos os quatro canais estão imersos na mesma amostra.

Na Figura 34 é ilustrado o gráfico para a mensuração do pH em suco de laranja industrializado. Os valores de pH lidos pelos canais do registrador comercial se mantiveram iguais entre si e bem próximos aos valores registrados pelo protótipo.

Na mensuração do pH em energético (Figura 35), observa-se que a partir do instante 30

**Figura 33 – Mensuração do pH em amostra de cerveja.**

Fonte: a autora.

**Figura 34 – Mensuração do pH em amostra de suco de laranja.**

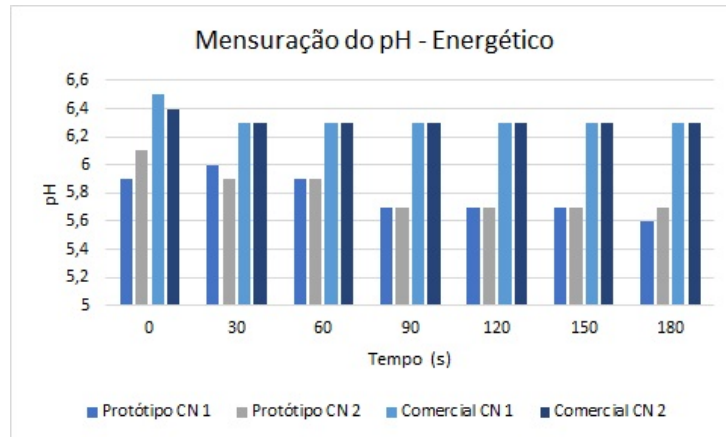
Fonte: a autora.

segundos as leituras dos canais do registrador comercial mantiveram-se iguais entre si e esse valor não se alterou desde então, enquanto as leituras dos canais do protótipo apresentaram comportamento bastante semelhante a partir do instante 90 segundos.

O teste em água mineral, por sua vez, evidenciou que os valores de pH lidos pelos canais do registrador comercial se mantiveram iguais entre si durante quase todo o período de três minutos e os canais do protótipo apresentaram leitura de valores próximos. As leituras do registrador comercial apresentaram proximidade satisfatória às leituras do protótipo (Figura 36).

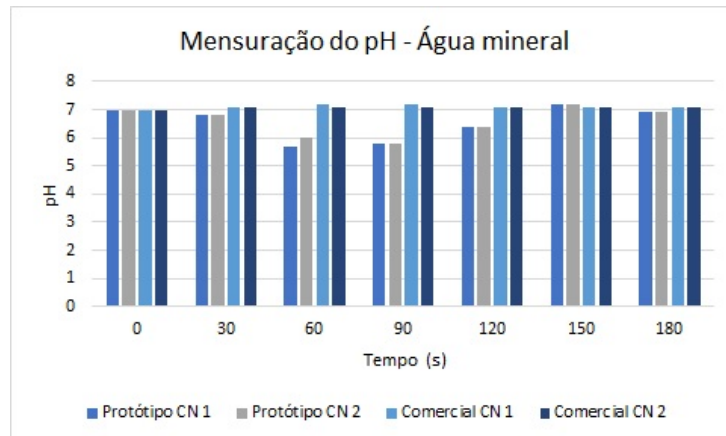
Os canais do registrador comercial fizeram leituras iguais entre si durante praticamente todo o período e os valores lidos sofreram pouquíssima alteração com o decorrer do tempo em amostra de isotônico. Os canais do protótipo apresentaram comportamento bastante semelhante. Todos os quatro canais realizaram leituras de valores iguais de pH entre si em alguns instantes (0 segundos, 60 segundos e 90 segundos), como ilustra o gráfico da Figura 37.

**Figura 35 – Mensuração do pH em amostra de energético.**



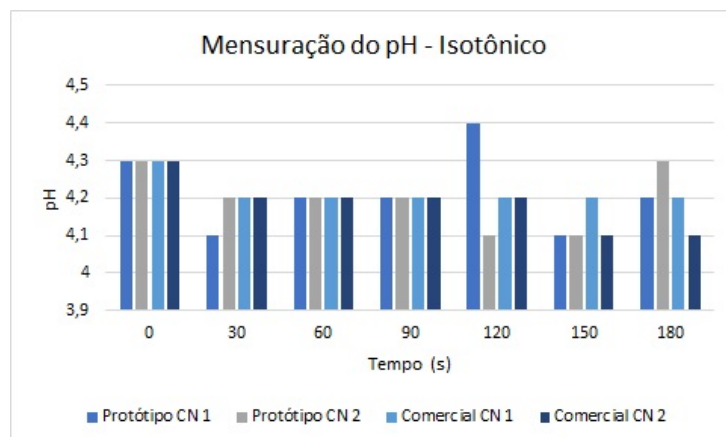
Fonte: a autora.

**Figura 36 – Mensuração do pH em amostra de água mineral.**



Fonte: a autora.

**Figura 37 – Mensuração do pH em amostra de isotônico.**

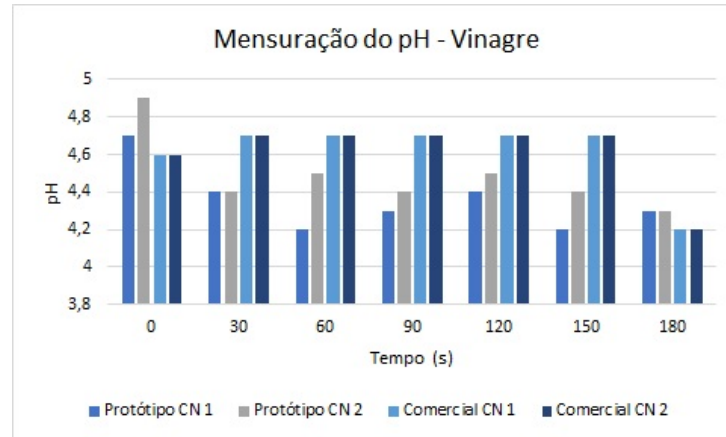


Fonte: a autora.

Na Figura 38 a mensuração do pH em vinagre conferiu bastante estabilidade na leitura do registrador comercial, o qual registrou o mesmo valor de pH para ambos os seus canais em quase todo o período. Observa-se que apesar das pequenas oscilações nas leituras dos canais

do protótipo, essas leituras apresentaram valores aproximados entre si e em relação ao produto comercial.

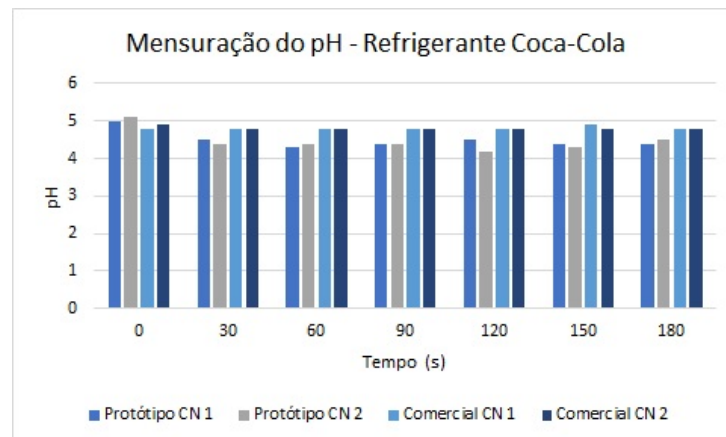
**Figura 38 – Mensuração do pH em amostra de vinagre.**



**Fonte: a autora.**

As leituras para os quatro canais obtiveram certa estabilidade também nas medições em amostras de refrigerante Coca-Cola e suco de goiaba industrializado (Figuras 39 e 40, respectivamente). Em ambas as amostras, observa-se boa aproximação entre os valores lidos pelos canais do protótipo e registrador comercial.

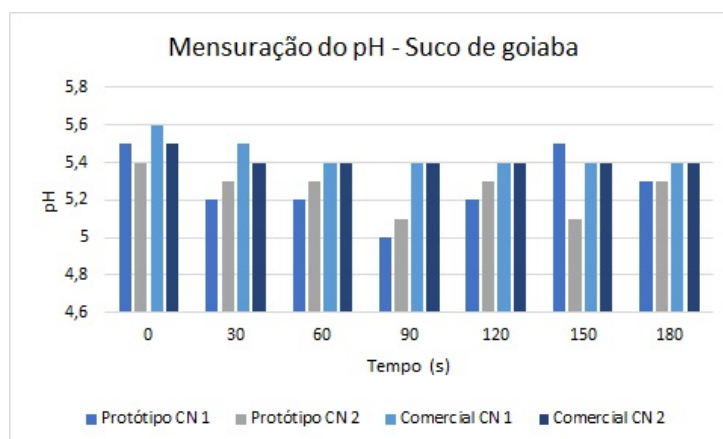
**Figura 39 – Mensuração do pH em amostra de refrigerante Coca-Cola.**



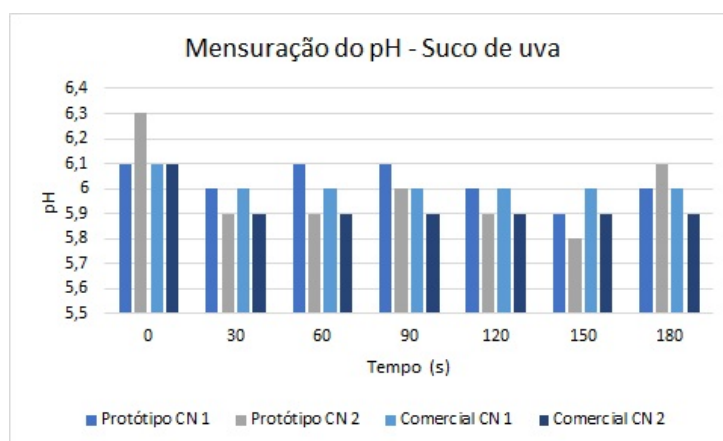
**Fonte: a autora.**

Em amostra de suco de uva (Figura 41), observa-se entre os quatro canais que a diferença máxima entre os valores lidos foi de 0,2 em cada um dos instantes, o que representa uma boa precisão e aproximação entre as leituras do protótipo e registrador comercial.

Em amostra de refrigerante de guaraná (Figura 42) os canais do registrador comercial realizaram leituras do mesmo valor de pH por praticamente todo o período. Os canais do protótipo apresentaram pequena oscilação dos valores e leituras próximas às dos canais do comercial.

**Figura 40 – Mensuração do pH em amostra de suco de goiaba.**

Fonte: a autora.

**Figura 41 – Mensuração do pH em amostra de suco de uva.**

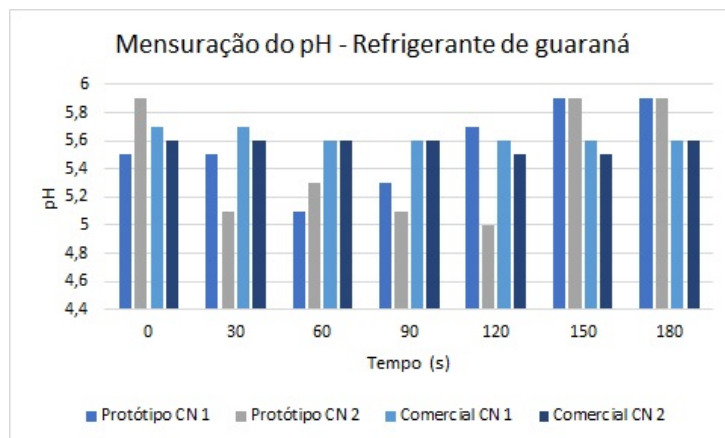
Fonte: a autora.

Os gráficos apresentados, como dito anteriormente, são representativos para os testes de mensuração de pH realizados, pois várias repetições da rotina elucidada pela Tabela 2 foram realizadas, com o intuito de observar a estabilidade e oscilações nas medições e proximidade entre as leituras do registrador comercial e protótipo, colhendo uma quantidade satisfatória de dados.

A partir dos testes mais recentes, com o preenchimento de oito tabelas nos moldes da Tabela 2, foi possível colher uma quantidade considerável de resultados para cálculo de média, expressa na Figura 43. Foram calculados os valores médios para a leitura de cada canal dos dispositivos protótipo e modelo comercial, para cada uma das dez amostras de substâncias, portanto, foram calculadas as médias sobre 56 medições para cada um dos canais de cada dispositivo, em cada uma das dez amostras (totalizando 2.240 medições).

Os testes realizados comprovaram que o protótipo executa corretamente suas funci-

**Figura 42 – Mensuração do pH em amostra de refrigerante de guaraná.**



Fonte: a autora.

**Figura 43 – Médias das leituras dos sensores (canais).**

Amostras	Leitura do AL-3 pHmetria Esofágica		Leitura do protótipo (Arduino)	
	Canal 1	Canal 2	Canal 1	Canal 2
<i>Cerveja</i>	5,217857	5,260714	5,033929	5,105357
<i>Suco de laranja</i>	5,187500	5,225000	4,830357	4,901785
<i>Energético</i>	6,341071	6,362500	5,583928	5,683928
<i>Água mineral</i>	6,796428	6,814285	5,869642	5,953571
<i>Isotônico</i>	4,212500	4,210714	4,158928	4,219642
<i>Vinagre</i>	4,682142	4,694642	4,235714	4,339285
<i>Refrigerante Coca-Cola</i>	4,828571	4,846428	4,487500	4,517857
<i>Suco de goiaba</i>	5,589285	5,503571	5,230357	5,289285
<i>Suco de uva</i>	6,101785	6,094642	5,866071	5,951785
<i>Refrigerante de guaraná</i>	5,708928	5,658928	5,367857	5,435714

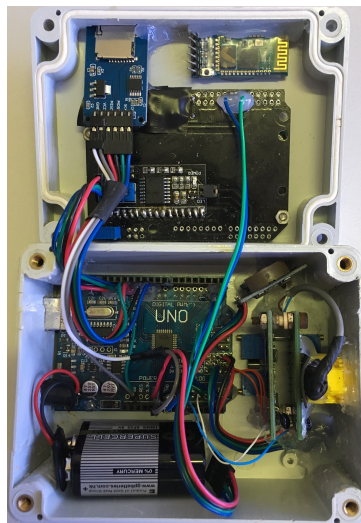
Fonte: a autora.

onalidades, realiza leituras dos valores de pH bem próximas às mensurações indicadas pelo registrador comercial, e apresenta poucas oscilações nas medições. Portanto, o desempenho do protótipo quanto à precisão no registro de valores de pH é satisfatório. É possível observar na

Figura 43 que a leitura em algumas amostras apresenta valores mais aproximados aos da leitura do produto comercial do que em outras. Isso pode ser motivado por um ciclo de leitura rápida no processamento da placa Arduino.

Na Figura 44 uma vista interna do protótipo é exibida. Nessa Figura é possível observar como os componentes foram organizados e fixados na caixa.

**Figura 44 – Vista interna do protótipo de registrador.**



**Fonte: a autora.**

Estão à mostra na Figura 45 as entradas para fonte de alimentação externa, para o micro SDCard e entrada USB. O protótipo tem ainda uma entrada para conexão com o módulo de acelerômetro e giroscópio (GY-521 MPU-6050). Essa necessidade de o módulo ser externo ao registrador existe pelo motivo de que este deve ser fixado no paciente, para que seja identificada a movimentação/posição corporal do paciente em deitado ou de pé, através dos eixos x, y e z compreendidos pelo módulo. A Figura 46 exhibe as entradas para conexões com o módulo GY-521 MPU-6050 e a sonda para pHmetria.

## 4.2 Funcionalidades dos aplicativos

Ambos os aplicativos terão por objetivo o envio e recebimento de dados, troca de informações com o protótipo de registrador portátil para pHmetria, o qual armazenará em si todas as informações do exame de pHmetria.

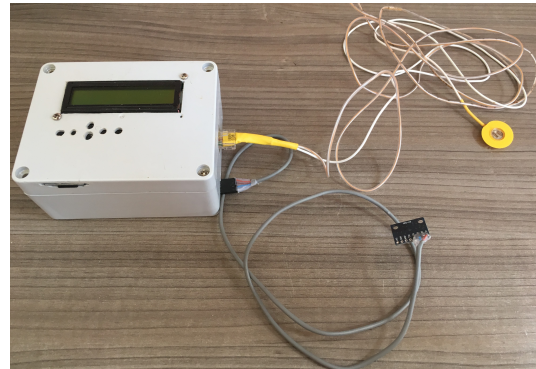
Os ícones de ambas as versões dos aplicativos são ilustrados na Figura 47. Ao acessá-los, estes apresentam uma tela de abertura (*Splash Screen*) por alguns poucos segundos. As telas

**Figura 45 – Protótipo de registrador para pHmetria.**



Fonte: a autora.

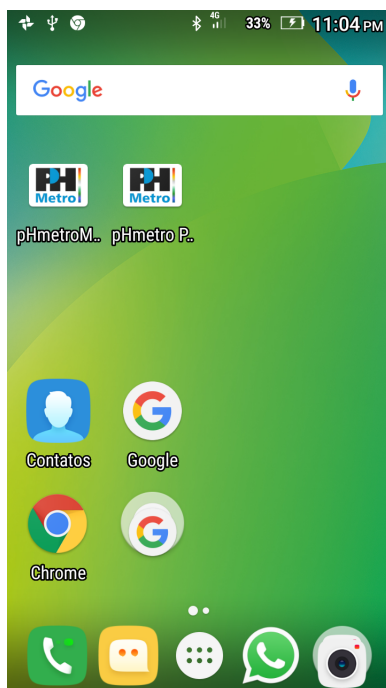
**Figura 46 – Protótipo, sonda para pHmetria e módulo GY-521 MPU-6050.**



Fonte: a autora.

de abertura são exibidas aos usuários assim que os aplicativos são abertos, com o objetivo de apresentar uma marca (logotipo) relacionada à aplicação, ou para a realização de algum pré-processamento que requer alguns segundos antes da abertura dos aplicativos (Figura 48).

**Figura 47 – Ícones dos aplicativos.**



Fonte: a autora.

**Figura 48 – Tela de abertura.**



Fonte: a autora.

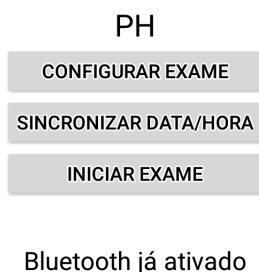
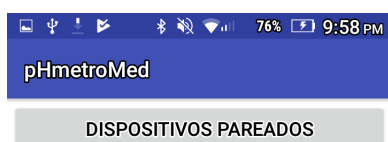
#### 4.2.1 App versão profissional (médico)

Primeiro, a tela de abertura é exibida por alguns segundos. A seguir, tem-se a exibição da tela inicial, a qual é composta por quatro botões e dois *TextView* (Figura 49). O botão *Dispositivos*

*Pareados* permite acesso a uma tela que exibe os dispositivos prontos para pareamento, os quais podem ser selecionados, neste caso, o bluetooth (módulo HC-05) do registrador para pHmetria deve ser selecionado (Figura 50).

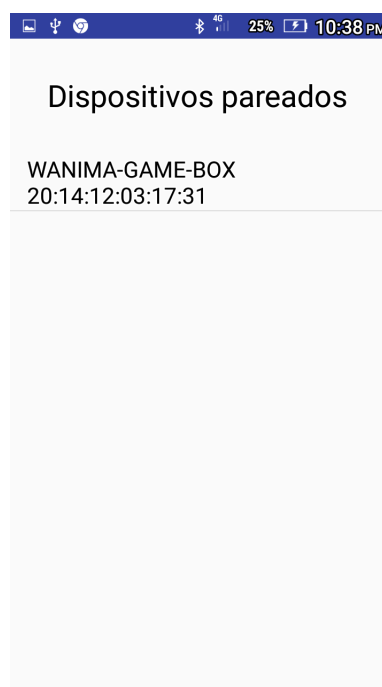
O *TextView* central na tela inicial do aplicativo (onde se lê "PH") exibe em tempo real os valores de pH registrados pelo pHmetro e transmitidos aos aplicativos durante todo o exame. O segundo *TextView* (abaixo) fornece informações sobre o status de conexão via bluetooth entre o celular e o registrador portátil, se existe algum problema com o hardware bluetooth do celular, se foi possível ativar o bluetooth e se a conexão está sendo realizada ou não.

**Figura 49 – Tela inicial (versão para profissional).**



**Fonte: a autora.**

**Figura 50 – Seleção de dispositivo para pareamento.**



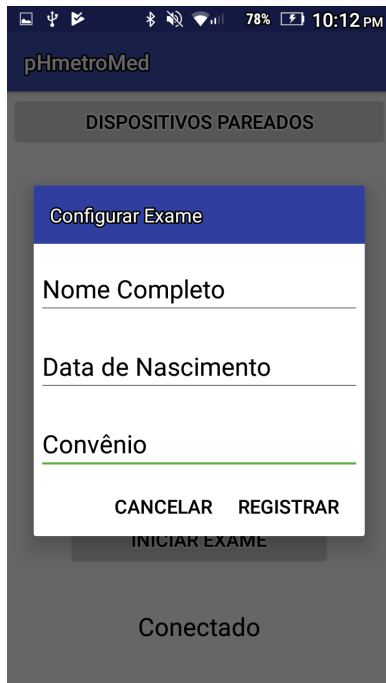
**Fonte: a autora.**

O botão *Configurar Exame* ao ser selecionado, abre uma janela para que o médico (ou outro profissional da área da saúde responsável pelo exame) insira dados do paciente, como pode ser visto nas Figuras 51 e 52. Os dados solicitados para preenchimento são: nome completo, data de nascimento e convênio do paciente. Existe um campo de texto a ser preenchido para cada tipo de informação. É possível concluir esse registro ao clicar no botão *Registrar* ou não completar essa ação através do botão *Cancelar*, o qual retorna à tela inicial do aplicativo.

Essas informações sobre o paciente são exibidas em um cabeçalho no documento (salvo no micro SDCard do registrador) em que todos os registros do pHmetro são feitos durante o

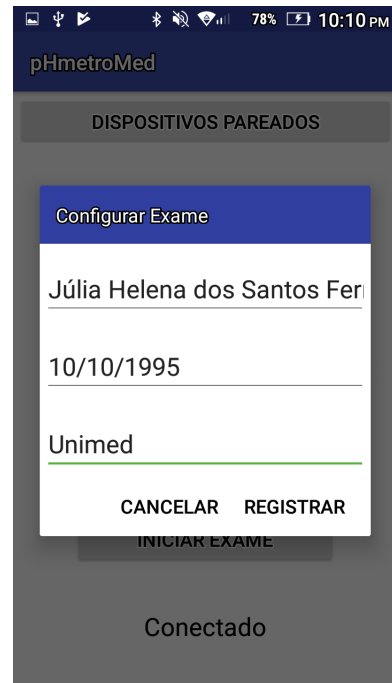
exame, ou seja, são as primeiras informações lidas no documento. Esse cabeçalho facilita a identificação do paciente que realizou o exame.

**Figura 51 – Inserção de dados do paciente.**



**Fonte: a autora.**

**Figura 52 – Exemplo de inserção de dados.**

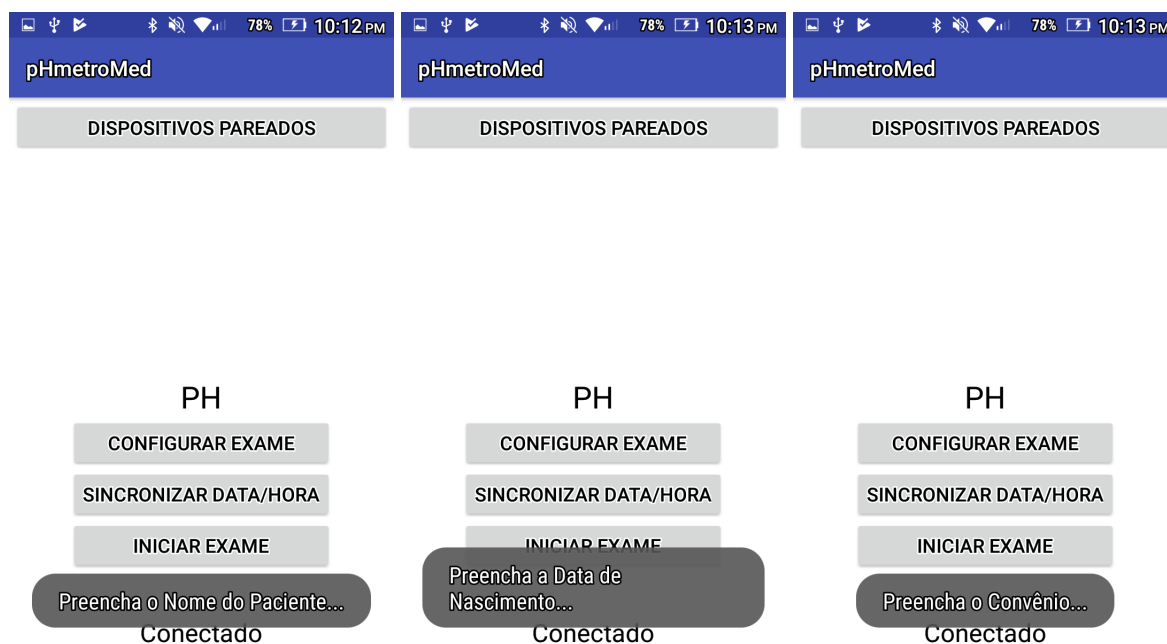


**Fonte: a autora.**

O preenchimento incorreto dos dados do paciente em qualquer um dos campos, imprime uma pequena janela com uma mensagem (tamanho da janela suficiente para comportar a mensagem em questão) ao usuário relatando o problema encontrado: ao preencher os dados e selecionar o botão *Registrar*, se algum dos três campos não for preenchido, as mensagens de alerta que o aplicativo exibirá na tela serão: "*Preencha o Nome do Paciente...*", "*Preencha a Data de Nascimento...*" ou "*Preencha o Convênio...*" de acordo com o que não foi informado (digitado incorretamente pelo usuário). Alguma dessas três mensagens será exibida até que todos os campos sejam devidamente preenchidos. As mensagens de alerta são exibidas na Figura 53.

O botão *Sincronizar Data/Hora* é importante para que aplicativo e registrador trabalhem em conjunto e apresentem informações de data e horário corretamente, visto que esses dados são cruciais para a análise de resultados e diagnóstico preciso: os períodos que envolvem cada episódio de RGE precisam ser conhecidos com precisão, assim como períodos de alimentação, períodos sem RGE, horário de possíveis sintomas, entre outros. O exame pode ser inicializado via aplicativo através do botão *Iniciar Exame*.

Figura 53 – Alerta para preenchimento de dados do paciente.



Fonte: a autora.

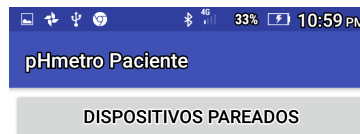
#### 4.2.2 App versão paciente

A versão do aplicativo para o paciente permite realizar registros sobre suas refeições, possíveis sintomas e mudança de posição corporal (ao deitar e levantar) com seus respectivos horários — registros que são atualmente feitos, nos exames de pHmetria, por escrito em documentos entregues ao paciente. Assim que o aplicativo é acessado, acontece a exibição da tela de abertura, como na versão para o profissional da área da saúde, ilustrada na Figura 48.

Na Figura 54, a tela inicial da versão do aplicativo para o paciente é apresentada. Nesta tela existem quatro botões (dos quais dois *Switch*) e três *TextView*. O botão localizado na parte superior da tela é o *Dispositivos Pareados*, também existente na outra versão do aplicativo. Ao ser selecionado, esse botão exibe a tela da Figura 50, para seleção de dispositivos para pareamento. Dois *TextView* são os mesmos (de mesma função) que os do aplicativo versão profissional: um para exibir em tempo real os valores de pH registrados durante o exame e o outro, para exibir mensagens sobre o status da conexão via bluetooth. O terceiro *TextView* está localizado logo abaixo do botão *Sintoma*, exibe neste local os registros referentes à alimentação, posição e sintomas no momento em que são feitos seguidos de data e horário.

Foram criados dois botões (*Switch*) para que o paciente registre os horários de início e término de suas refeições e o outro para que o paciente informe ao aplicativo a sua posição, ao

**Figura 54 – Tela inicial do aplicativo para paciente.**



PH

Alimentação

Deitado

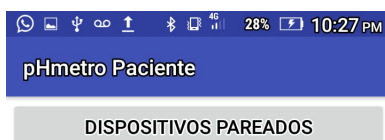
SINTOMA

Bluetooth já ativado

**Fonte: a autora.**

deitar e levantar. Ao iniciar uma refeição, o paciente deve arrastar o *Switch Alimentação* para a direita (Figura 55) e ao finalizar, para a esquerda (Figura 56). O paciente informará sobre sua posição por meio do *Switch Deitado*: ao deitar, o paciente deve arrastá-lo para a direita (Figura 57) e ao levantar, para a esquerda (Figura 58).

**Figura 55 – Alimentação iniciada.**



PH: 5.4

Alimentação

Deitado

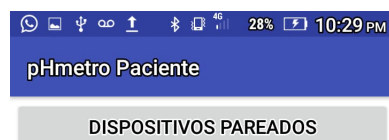
SINTOMA

Alimentação Iniciada  
24-04-2019 22:26:55

Conectado

**Fonte: a autora.**

**Figura 56 – Alimentação finalizada.**



PH: 5.4

Alimentação

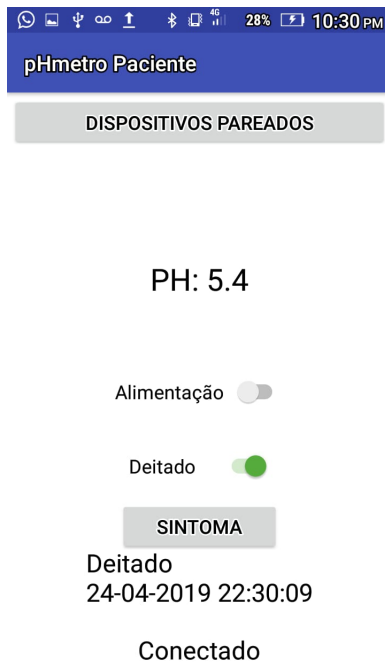
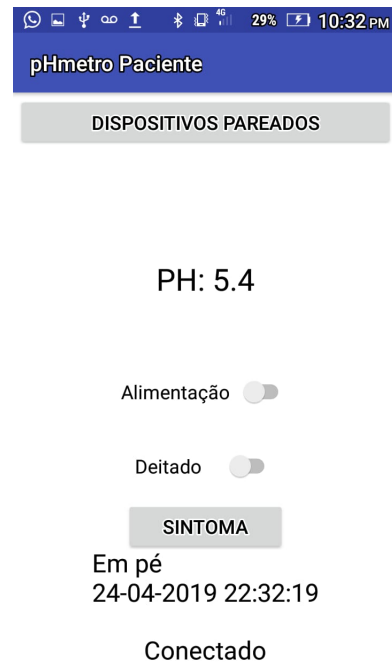
Deitado

SINTOMA

Alimentação Finalizada  
24-04-2019 22:29:32

Conectado

**Fonte: a autora.**

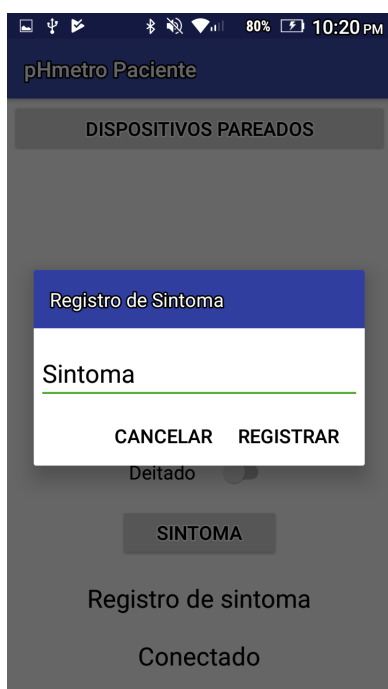
**Figura 57 – Registro da posição deitado.****Fonte: a autora.****Figura 58 – Registro da posição em pé.****Fonte: a autora.**

A partir dessas funções é possível visualizar no momento de análise de resultados os períodos que o paciente permaneceu ingerindo alimentos ou não, e os períodos deitado e de pé durante o exame (perceber a quantidade de RGE em cada posição), informações relevantes para correlação com os episódios de RGE e valores de pH registrados, para o diagnóstico.

Caso durante o exame o paciente apresente sintomas, devem ser registrados. Para isso, ao selecionar o botão *Sintoma*, uma caixa de diálogo será aberta sobre a tela inicial do aplicativo, como ilustra a Figura 59. Nesta caixa de diálogo existe um campo de texto no qual o paciente deve digitar o sintoma apresentado no momento em que surge. O botão *Registrar* conclui o registro do sintoma e o botão *Cancelar* (caso o botão *Sintoma* tenha sido acionado de forma não intencional) retorna à tela inicial. Na Figura 60 é apresentado um exemplo de registro de sintoma, a pirose ("azia") é uma manifestação clínica considerada recorrente nestes casos, como comentado no Capítulo 2.

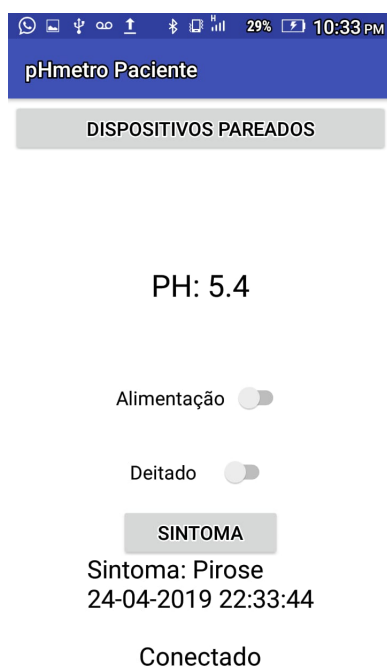
Essas informações sobre alimentação, posição do paciente e sintomas assim que registradas são exibidas na tela inicial do aplicativo através da *TextView* correspondente quando essas ações são registradas (Figuras 55, 56, 57, 58, 60) e esses dados são enviados ao registrador para pHmetria em tempo real. São armazenados no documento de texto (no micro SDCard) na ordem em que são registrados assim como os valores de pH detectados.

**Figura 59 – Registro de sintoma.**



**Fonte: a autora.**

**Figura 60 – Exemplo de registro de sintoma.**



**Fonte: a autora.**

## 5 CONCLUSÃO

O protótipo de registrador para pHmetria é de fato portátil, construído a partir de materiais de baixo custo e seu desempenho quanto à precisão no registro de valores de pH (soluções aquosas) é satisfatório por apresentar resultados bem próximos às mensurações indicadas pelo registrador comercial, em medições simultâneas durante a fase de testes. Foi possível fazer a leitura do pH a partir das soluções tampão durante a calibração e enviar esses dados em tempo real via bluetooth para o celular Android, dispositivo físico utilizado nos testes, assim como nas medições nas substâncias após a calibração.

A calibração com as soluções tampão de valores de pH 1,00 e 7,00 adquiridas corresponderam aos valores de pH reais de cada solução, portanto, o registrador portátil apresentou resultados satisfatórios com relação ao procedimento de calibração também. O relógio do módulo Tiny RTC utilizado permitiu que as informações registradas tivessem seus horários demarcados com precisão, o que é indispensável para o protótipo.

A versão do aplicativo Android destinada ao profissional responsável pelo exame realiza com sucesso as operações de inserção de dados pessoais do paciente, além de exibir em tempo real os valores de pH lidos desde o início ao fim do exame. Da mesma forma, a versão do aplicativo cujo usuário final é o paciente funciona com sucesso: os valores de pH são exibidos em tempo real e os registros sobre alimentação, ocorrência de sintomas e posição corporal (paciente deitado ou de pé) são concluídos e exibidos corretamente.

É importante ressaltar que existem pacientes, idosos por exemplo, que podem apresentar dificuldades no uso do aparelho celular, portanto poderiam ter dificuldades no uso do aplicativo por conta própria. Nesses casos, haveria necessidade de auxílio de um terceiro no manuseio do aplicativo durante o exame (um familiar, por exemplo), ou ainda fazer uso do método tradicional de preenchimento manuscrito de ficha com os registros requeridos.

Ambas as versões dos protótipos de aplicativos conectam-se via bluetooth com o protótipo de registrador para pHmetria com eficiência, a transmissão de informações em ambos os sentidos da via permite efetivamente o envio em tempo real dos valores de pH detectados pelo pHmetro aos aplicativos, da mesma maneira, os dados inseridos em ambos os aplicativos são salvos com sucesso do micro cartão SD inserido no módulo do registrador, assim como os valores de pH. Assim, as versões finais dos aplicativos protótipos apresentaram também bons resultados,

funcionamento dentro do esperado e cumprimento dos requisitos estabelecidos para o Projeto, o que mostra a sua aplicabilidade como ferramenta para auxílio ao exame.

## 5.1 Trabalhos Futuros

Como melhorias ao trabalho desenvolvido é sugerida a realização de testes de mensuração de pH com outras substâncias para amostra, bem como misturar substâncias para criar uma amostra combinada, além de investigar estratégias que aperfeiçoem a precisão das mensurações de pH. Sugestão para os aplicativos seria a inserção de mais informações de dados pessoais do paciente além do nome, data de nascimento e convênio médico, como: idade, se apresenta outra patologia que pode se relacionar com a DRGE, entre outros. Outra sugestão é a de atingir outra faixa etária realizando testes com sondas infantis, visto que neste trabalho somente sondas para adultos foram utilizadas. Além disso, a fabricação de placa de circuito impresso é sugerida.

## REFERÊNCIAS

- Alacer Biomédica Indústria Eletrônica Ltda. **AL-3 PHmetria Esofágica**. 2019. Disponível em: <<https://www.alacer.com.br/wp-content/uploads/2017/11/banner.jpg>>.
- Alacer Biomédica Ltda. **Sonda para PHmetria Esofágica**. 2019. Disponível em: <<https://www.alacer.com.br/sondas-para-phmetria/>>.
- Android Developers. **Conheça o Android Studio**. 2018. Disponível em: <<https://developer.android.com/studio/intro/?hl=pt-br>>.
- Arduino. **Arduino UNO Rev3**. 2019. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>.
- Arduino. **SPI library**. 2019. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/SPI>>.
- Arduino. **Wire Library**. 2019. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire>>.
- Arduino Playground. **MPU-6050 Accelerometer + Gyro**. 2019. Disponível em: <<https://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050/>>.
- Atmel Corporation. **2-WireSerial EEPROM**. [S.l.], 2003. Disponível em: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc0336.pdf>>.
- AutoCore Robótica. **Display LCD Shield com Teclado**. 2019. Disponível em: <<https://cdn.awsli.com.br/600x700/78/78150/produto/6053803/316fef480d.jpg>>.
- Butler, M. Android: Changing the mobile landscape. **IEEE Pervasive Computing**, v. 10, n. 1, p. 4–7, 2011.
- CAMPOS, A. **Data, hora e memória extra no Arduino com o módulo Tiny RTC e o chip DS1307**. 2019. Disponível em: <<https://static.efetividade.net/img/im1307100043-42531.jpg>>.
- DE CAESTECKER, J. S. Twenty-four-hour oesophageal ph monitoring: advances and controversies. **The Netherlands journal of medicine**, v. 34 Suppl, p. 20—39, 1989.
- DEVAULT, K. R.; CASTELL, D. O. Updated Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Gastroesophageal Reflux Disease. **The American Journal Of Gastroenterology**, The American College of Gastroenterology, v. 100, p. 190–200, 01 2005. ISSN 0004-2803. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2005.41217.x>>.
- Diymore. **PH4502C Liquid PH Value Detection Sensor Monitoring Control Module For Arduino**. 2019. Disponível em: <[https://cdn.shopify.com/s/files/1/0122/7558/0986/products/010667\\_7\\_823\\_1024x1024.jpg?v=1531364474](https://cdn.shopify.com/s/files/1/0122/7558/0986/products/010667_7_823_1024x1024.jpg?v=1531364474)>.
- EL-SERAG, H. B. et al. Update on the epidemiology of gastro-oesophageal reflux disease: a systematic review. **Gut**, v. 63, p. 871–80, 2014.
- FALOR, W. H. et al. Twenty-four hour esophageal ph monitoring by telemetry: Cost-effective use in outpatients. **The American Journal of Surgery**, v. 142, n. 4, p. 514 – 516, 1981.
- FilipeFlop Componentes Eletrônicos. **Acelerômetro e Giroscópio 3 Eixos 6 DOF MPU-6050**. 2019. Disponível em: <<https://uploads.filipeflop.com/2017/07/450xN-13.jpg>>.

- FilipeFlop Componentes Eletrônicos. **Módulo Bluetooth RS232 HC-05**. 2019. Disponível em: <<https://uploads.filipeflop.com/2017/07/03-23.png>>.
- FilipeFlop Componentes Eletrônicos. **Módulo Cartão Micro SD**. 2019. Disponível em: <<https://uploads.filipeflop.com/2017/07/SKU122168a.jpg>>.
- FRANK, H.; NETTER, M. **Atlas de Anatomia Humana**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.
- Gastroendo. **PHmetria e Manometria**. 2019. Disponível em: <<https://www.gastroendo.com.br/wp-content/themes/ge/images-ge/exames/phmetria.jpg>>.
- GYAWALI, C. P. et al. Modern diagnosis of gerd: the lyon consensus. **Gut**, BMJ Publishing Group, v. 67, n. 7, p. 1351–1362, 2018. Disponível em: <<https://gut.bmj.com/content/67/7/1351>>.
- IDC. **Smartphone Market Share**. 2019. Disponível em: <<https://www.idc.com/promo/smartphone-market-share/os>>.
- IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology. **IEEE Std 610.12-1990**, p. 67, 1990.
- INMETRO. **Proposta de Termo de Referência**. 2001. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/laboratorios/termoref.asp?iacao=imprimir>>.
- InvenSense Inc. **MPU-6000/MPU-6050 Product Specification**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>>.
- InvenSense Inc. **MPU-6050 Six-Axis (Gyro + Accelerometer) MEMS MotionTracking™ Devices**. 2019. Disponível em: <<https://www.invensense.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6050/>>.
- JOHNSON, L.; DEMEESTER, T. Development of the 24-hour intraesophageal ph monitoring composite scoring system. **Journal of clinical gastroenterology**, v. 8 Suppl 1, p. 52—58, 1986.
- JOHNSON, L. F. New concepts and methods in the study and treatment of gastroesophageal reflux disease. **Medical Clinics of North America**, v. 65, n. 6, p. 1195 – 1222, 1981. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025712516314699>>.
- KOEPPEN, B. M.; STANTON, B. A. Anatomia funcional e princípios gerais da regulação do trato gastrointestinal. In: **Berne & Levy : Fisiologia**. 6. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. cap. 26, p. 491–499.
- LEME, E.; NASI, A.; MICHELSON, N. Parte ii-phmetria esofágica prolongada. **Editora Roca**, 2001.
- MADEIRA, D. **Display LCD 20 x 4 e LCD 16 x 2 com Adaptador I2C – Utilizando o display com Arduino**. 2017. Disponível em: <<https://i0.wp.com/portal.vidadesilicio.com.br/wp-content/uploads/2017/09/Modulo-i2c-arduino.png?resize=300%2C212&ssl=1>>.
- MASTERTON, W.; HURLEY, C. Ácidos e bases. In: **Química: princípios e reações**. 6. ed. [S.l.]: LTC, 2010. p. 336–342.
- Maxim Integrated Products, Inc. **DS1307 64 x 8, Serial, I2C Real-Time Clock**. [S.l.], 2015. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf>>.

- MORAES-FILHO, J. P. P. Gastroesophageal reflux disease: Prevalence and management in Brazil. **Best Practice & Research Clinical Gastroenterology**, v. 18, p. 23 – 26, 2004. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1521691804000691>>.
- MORAES-FILHO, J. P. P. et al. Brazilian Consensus on Gastroesophageal Reflux Disease: proposals for assessment, classification, and management. **The American Journal Of Gastroenterology**, The American College of Gastroenterology, v. 97, p. 241–248, 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1572-0241.2002.05476.x>>.
- MORAES-FILHO, J. P. P.; HASHIMOTO, C. L. I Consenso Brasileiro da Doença do Refluxo Gastroesofágico. **Foz do Iguaçu**, 2000. Disponível em: <[http://production.latec.ufms.br/new\\_pmm/res/complementares/u3\\_r1.pdf](http://production.latec.ufms.br/new_pmm/res/complementares/u3_r1.pdf)>.
- MORAES-FILHO, J. P. P. et al. Guidelines for the diagnosis and management of gastroesophageal reflux disease: an evidence-based consensus. **Arquivos de Gastroenterologia**, scielo, v. 47, p. 99 – 115, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-28032010000100017&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-28032010000100017&nrm=iso)>.
- NASI, A.; MORAES-FILHO, J. P. P. d.; CECCONELLO, I. Doença do refluxo gastroesofágico: revisão ampliada. **Arquivos de Gastroenterologia**, scielo, v. 43, p. 334 – 341, 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-28032006000400017&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-28032006000400017&nrm=iso)>.
- NASI, A.; QUEIROZ, N. A. S. F.; MICHELSON, N. H. PROLONGED GASTROESOPHAGEAL REFLUX MONITORING BY IMPEDANCE-PHMETRY: A REVIEW OF THE SUBJECT PONDERED WITH OUR EXPERIENCE WITH 1,200 CASES. **Arquivos de Gastroenterologia**, scielo, v. 55, p. 76 – 84, 2018. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-28032018000500076&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-28032018000500076&nrm=iso)>.
- NXP Semiconductors. **PCF8574; PCF8574A Remote 8-bit I/O expander for I2C-bus with interrupt: Product data sheet**. [S.l.], 2013. Disponível em: <[https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8574\\_PCF8574A.pdf](https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8574_PCF8574A.pdf)>.
- OLIVEIRA, J. A. N. M. . J. F. **Algoritmos: lógica para desenvolvimento de programação de computadores**. 8. ed. [S.l.]: AMGH, 2000.
- PANDOLFINO, J.; KAHRILAS, P. A technical review on the clinical use of esophageal manometry. **Gastroenterology**, scielo, v. 128, p. 209–224, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1053/j.gastro.2004.11.008>>.
- PowerStream Technology. **PowerStream Li-ion Coin Cell Lir2032 Data Sheet**. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://www.powerstream.com/p/Lir2032.pdf>>.
- PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software: uma abordagem profissional**. 8. ed. [S.l.]: AMGH, 2016.
- SIFRIM, D. et al. Gastro-oesophageal reflux monitoring: review and consensus report on detection and definitions of acid, non-acid, and gas reflux. **Gut**, BMJ Publishing Group, v. 53, n. 7, p. 1024–1031, 2004. Disponível em: <<https://gut.bmj.com/content/53/7/1024>>.
- SILVA, E. T. F. d.; IRION, C. Aplicativo móvel para transferência de imagens médicas. 2015. Disponível em: <<https://www.inatel.br/biblioteca/todo-docman/pos-seminarios/seceb/2015-5/9992-aplicativo-movel-para-transferencia-de-imagens-medicas>>.

SILVERTHORN, D. U. Sistema digestório. In: **Fisiologia humana [recurso eletrônico]: uma abordagem integrada**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. cap. 21, p. 686–723.

SIRIN, S.; ÖZ, F. Laryngopharyngeal reflux concept: what is known and what should we focus on? **Brazilian Journal of Otorhinolaryngology**, scielo, v. 85, p. 133–135, 2019. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1808-86942019000200133&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-86942019000200133&nrm=iso)>.

SONDHEIMER, J. M. Gastroesophageal reflux: Update on pathogenesis and diagnosis. **Pediatric Clinics of North America**, v. 35, n. 1, p. 103 – 116, 1988. *Pediatric Gastroenterology I*.

SPENCER, J. Prolonged ph recording in the study of gastro-oesophageal reflux. **British Journal of Surgery**, Wiley Online Library, v. 56, n. 12, p. 912–914, 1969.

StatCounter GlobalStats. **Mobile Operating System Market Share Brazil**. 2019. Disponível em: <<http://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/brazil>>.

STREETS, C. G.; DEMEESTER, T. R. Ambulatory 24-hour esophageal ph monitoring: Why, when, and what to do. **Journal of Clinical Gastroenterology**, BMJ Publishing Group, v. 37, n. 7, p. 14–22, 2003. Disponível em: <[https://journals.lww.com/jcge/Fulltext/2003/07000/Ambulatory\\_24\\_hour\\_Esophageal\\_pH\\_Monitoring\\_\\_Why,.7.aspx](https://journals.lww.com/jcge/Fulltext/2003/07000/Ambulatory_24_hour_Esophageal_pH_Monitoring__Why,.7.aspx)>.

Texas Instruments. **Why,When,and Howto use I2C Buffers**. 2018. Disponível em: <<http://www.tij.co.jp/jp/lit/an/scpa054/scpa054.pdf>>.

VAKIL, N. et al. The montreal definition and classification of gastro-esophageal reflux disease (gerd) – a global evidence-based consensus. **Zeitschrift für Gastroenterologie**, v. 45, p. 1125–40, 2007. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/5820591\\_The\\_Montreal\\_definition\\_and\\_classification\\_of\\_Gastro-esophageal\\_Reflux\\_Disease\\_GERD\\_-\\_a\\_global\\_evidence-based\\_consensus](https://www.researchgate.net/publication/5820591_The_Montreal_definition_and_classification_of_Gastro-esophageal_Reflux_Disease_GERD_-_a_global_evidence-based_consensus)>.

Vida de Silício LTDA. **Módulo GY-521 MPU6050 - Acelerômetro e Giroscópio**. 2019. Disponível em: <<https://www.vidadesilicio.com.br/modulo-gy-521-acelerometro-giroscopio>>.

WEBSTER, J. **The measurement, instrumentation, and sensors handbook**. New York: CRC Press LLC, 1999.

WESTCOTT, C. C. **PH Measurements**. New York: Academic Press, 1978.