



GABRIEL JACINTO BOTELHO

Licenciatura em Ciências e Engenharia Informática

SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DE POSTURA COM UTILIZAÇÃO DE SENSORES

SAPI-SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE POSTURA ININTERRUPTA

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

Universidade NOVA de Lisboa
Novembro, 2021



SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DE POSTURA COM UTILIZAÇÃO DE SENSORES

SAPI-SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE POSTURA ININTERRUPTA

GABRIEL JACINTO BOTELHO

Licenciatura em Ciências e Engenharia Informática

Orientadoras: Carmen Morgado
Professora Auxiliar, Universidade Nova de Lisboa
Fernanda Barbosa
Professora Auxiliar, Universidade Nova de Lisboa

Sistema para avaliação de postura com utilização de sensores

Copyright © Gabriel Jacinto Botelho, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Para a minha mãe, o meu pai, o meu irmão.

AGRADECIMENTOS

Gostava de agradecer:

- Em primeiro lugar aos meus **pais** que me aturam há algum tempo, apoiam-me em todas as decisões que tomo na minha vida e sei que estarão sempre a meu lado.
- Ao meu **irmão** por ser o meu irmão.
- Aos meus **avôs**, principalmente à minha avó pelo bom tempo passada na sua companhia, na “terrinha”.
- À minha **família** por sempre se preocuparem comigo.
- Ao meus **amigos** por estarem sempre lá.
- E Por último queria agradecer às **professoras** por me terem aturado e ajudado com a minha escrita e todos os desafios que encontramos durante a tese.

Obrigado a todos por tudo, Gabriel Botelho

“It’s getting better all the time, can’t get no worse.” (The Beatles)

RESUMO

Hoje em dia a maioria das pessoas passa grande parte do seu tempo à frente de ecrãs e muitas não se posicionam adequadamente. Essa má postura pode levar a lesões frequentes sendo as mais comuns as dores de costas, pescoço, cabeça, ombros e braços e mãos.

Ao longo do tempo pode vir a desenvolver-se a anteriorização da cabeça que se trata de um desequilíbrio muscular na zona do pescoço. A anteriorização da cabeça pode ser revertida com ajuda de fisioterapeutas, que através de exercícios ajudam a melhorar a postura através de exercícios de fortalecimento e alongamento, principalmente os músculos do pescoço, coluna e ombros. O fisioterapeuta utiliza métodos analógicos e empíricos para avaliar o estado do paciente durante todo o processo, desde o diagnóstico até ao final dos tratamentos.

Nesta tese desenvolveu-se o Sistema de avaliação de postura ininterrupta (SAPI) que auxilia os fisioterapeutas na obtenção de informação da postura na zona do pescoço de um paciente, durante um intervalo de tempo enquanto está sentado. O sistema SAPI é composto uma parte de Hardware e um de Software. O dispositivo desenvolvido, permite obter postura na área do pescoço (o ângulo ACV). O sistema processa e analisa os dados recolhidos oferecendo uma ferramenta aos fisioterapeutas para diagnóstico e acompanhamento dos seus pacientes, permitindo também estabelecer um canal de comunicação entre os fisioterapeutas e os seus pacientes. O SAPI permite desta forma melhorar a qualidade e a quantidade de medições efetuadas, disponibilizando aos fisioterapeutas um sistema de acompanhamento mais personalizado dos seus pacientes. No desenvolvimento do sistema SAPI foram tidos em consideração diversos fatores, tais como: a facilidade de utilização, a qualidade dos dados recolhidos e o custo do sistema.

Palavras-chave: Postura Corporal, Anteriorização da Cabeça, Fisioterapia, Sensores de Movimento, Serviços Web, Computação Móvel ...

ABSTRACT

Nowadays, most people spend their time in front of screens, and most do not position themselves properly. This poor posture can lead to frequent injuries with the most common being back, neck, head, shoulder and arm and hand pain.

Over time, forward head posture may be developed, which is a muscle imbalance in the neck area. Forward head posture can be reversed with the help of physiotherapists who, through exercises, help to improve the posture by strengthening and stretching the muscles of the neck, spine and shoulders. The physiotherapist uses analogue and empirical methods to assess the patient's condition throughout the process, from diagnosis to the end of treatments.

In this thesis, the SAPI system was developed to help physiotherapists obtain information about the posture in the neck area of a patient during a time interval while sitting. The SAPI system is composed of a Hardware part and a Software part. The developed device allows obtaining posture in the neck area (the ACV angle). The software processes and analyses the collected data, offering a tool to physiotherapists for diagnostics and follow-up of their patients, as well as establishing a communication channel between physiotherapists and their patients. SAPI thus improves the quality and quantity of measurements taken, giving physiotherapists a more personalized monitoring system for their patients. When developing the SAPI system, several factors were considered, such as ease of use, the quality of the data collected, and the system's cost.

Keywords: Posture, Forward Head Posture, Physiotherapy, Motion Sensors, Web services, Mobile Computing . . .

ÍNDICE

Índice de Figuras	xxi
Índice de Tabelas	xxv
Siglas	xxvii
1 Introdução	1
1.1 Motivação	1
1.2 Objetivo da tese	4
1.3 Estrutura do documento	5
2 Panorama Atual	7
2.1 Problema - Anteriorização da Cabeça	7
2.2 Soluções existentes	9
2.2.1 Analógicas	9
2.2.2 Comerciais	10
2.2.3 Acadêmicas	11
2.3 Tecnologias	15
2.3.1 Hardware	15
2.3.2 Software	19
2.3.3 Sumário	22
3 SAPI - Sistema de avaliação de postura ininterrupta	23
3.1 Requisitos do Sistema	23
3.2 Componentes do Sistema	25
3.2.1 Componente Sensorial	25
3.2.2 Aplicação do Paciente	27
3.2.3 Servidor	30
3.2.4 Aplicação do Fisioterapeuta	31
3.3 Sumário	33
4 Desenvolvimento do SAPI	35
4.1 Componente sensorial	35
4.1.1 Componente sensorial com um sensor	35

4.1.2	Componente com dois sensores	38
4.2	Aplicação do paciente	41
4.2.1	Interface página principal	43
4.2.2	Medição instantânea	44
4.2.3	Medições numa sessão	44
4.2.4	Histórico de medições	46
4.2.5	Perfil utilizador/paciente	48
4.2.6	Comunicação fisioterapeuta/paciente	49
4.2.7	Entrar na aplicação	50
4.3	Servidor	50
4.4	Aplicação do fisioterapeuta	54
4.5	Sumário	57
5	Avaliação do Sistema	59
5.1	Avaliação da componente sensorial	59
5.1.1	Avaliação dos dados obtidos	59
5.1.2	Avaliação da usabilidade e conforto	61
5.1.3	Proposta de solução aos problemas encontrados	63
5.2	Avaliação da aplicação do paciente	64
5.2.1	Cenário 1	64
5.2.2	Cenário 2	64
5.2.3	Cenário 3	64
5.2.4	Cenário 4	64
5.2.5	Resultados	64
5.3	Avaliação da aplicação do fisioterapeuta	66
5.3.1	Cenário 1	66
5.3.2	Cenário 2	66
5.3.3	Cenário 3	66
5.3.4	Resultados	66
5.4	Avaliação do custo do sistema	67
5.4.1	Custo da componente sensorial	67
5.4.2	Custo de manter o sistema ativo	67
5.5	Sumário	68
6	Conclusão	69
6.1	Conclusões	69
6.2	Trabalho Futuro	70
6.2.1	Componente sensorial	70
6.2.2	Servidor	70
6.2.3	Aplicação do paciente	70
6.2.4	Aplicação do fisioterapeuta	71

Bibliografía

73

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Percentagem de adultos dos EUA que visitaram no ano de 2018 um profissional de saúde por causa de dores no pescoço ou costas	2
1.2	Postura correta a quando se está sentado	3
1.3	Comparação visual da anteriorização da cabeça	3
1.4	Representação das medições	4
2.1	Diagrama da medição do ACV.	8
2.2	Dispositivo de medição da postura e respetivo método de utilização	9
2.3	Método de utilização de instrumentos para medir ACV	10
2.4	Dispositivo UPRIGHT em uso	11
2.5	Paginas da aplicação companheira do UPRIGHT	12
2.6	Dispositivo Hipee em uso	12
2.7	Protótipo desenvolvido por Sanghoon Jeon, Byungjin Ko e S. Son.	13
2.8	Diagrama da colocação do protótipo desenvolvido por Iman Bagheri, Saeid Alizadeh e Elyas Irankhah.	14
2.9	Posição dos sensores na proposta de Taeyoung Kim	14
2.10	Posição dos sensores e ímanes na proposta de Hobeom Han, Hyeongkyu Jang e Sang Won Yoon	15
2.11	Sensor de inclinação simples	16
2.12	Sensor de inclinação que usa água	16
2.13	Exemplo de um <i>flex sensor</i>	17
2.14	Representação dos 9 eixos de um IMU	17
2.15	Explicação do funcionamento de um sensor de medição de distancia	18
2.16	Triângulo CAP.	21
3.1	Ligação de componentes e suas responsabilidades	25
3.2	Exemplos de diferentes inclinações sentado	26
3.3	Posição dos sensores	27
3.4	<i>Mockups</i> da Página de autenticação da Aplicação	28
3.5	<i>Mockups</i> da página principal da Aplicação	28
3.6	<i>Mockups</i> da interação de recolher valor instantâneo	29
3.7	<i>Mockups</i> da sessão na aplicação	29
3.8	<i>Mockups</i> do perfil na aplicação	30

3.9	<i>Mockups</i> do histórico dos dados recolhidos na aplicação	30
3.10	Estrutura da API	31
3.11	<i>Mockups</i> da página de autenticação	32
3.12	<i>Mockups</i> da página com a lista de pacientes de um fisioterapeuta	32
3.13	<i>Mockups</i> da página com a lista de medições de um paciente	33
3.14	<i>Mockups</i> da página de uma sessão de um paciente	33
4.1	Representação dos 3 eixos obtidos	36
4.2	Representação da posição do sensor para obter inclinação a partir do eixo <i>yaw</i>	37
4.3	Representação da posição do sensor para obter inclinação a partir dos eixos <i>roll</i> e <i>pitch</i>	37
4.4	Teste do sensor comparando com um transferidor	38
4.5	Esquema da componente Sensorial (Sensores não ligado à BreadBoard)	39
4.6	Posição do sensor no teste de pescoço e cabeça.	40
4.7	Primeiros teste feitos com a componente sensor	40
4.8	Componente sensorial na caixas.	41
4.9	Componente sensorial posição no corpo.	42
4.10	Página principal.	43
4.11	Página principal com valores não validos.	43
4.12	Popup de uma medição instantânea.	44
4.13	Página de configuração de uma sessão	45
4.14	Página da sessão	45
4.15	Página fim da sessão	46
4.16	Página com lista das medições feitas	47
4.17	Página da sessão guardada	47
4.18	Página do perfil	48
4.19	Email com a <i>password</i> temporária	48
4.20	Página da lista de mensagens	49
4.21	Página de uma mensagens	49
4.22	Página de autenticação	50
4.23	Email de bem vindo com a <i>password</i> temporária	51
4.24	Página de autenticação de um utilizador novo ao sistema	51
4.25	Diagrama do modelo entidade relacionamento usado para desenvolver a base de dados	52
4.26	Diagrama do modelo entidade relação obtido do MySQL	54
4.27	Página de autenticação.	55
4.28	Página principal.	55
4.29	Página do paciente.	56
4.30	Página da sessão.	56
4.31	Página das mensagens.	57
4.32	Página do administrador.	57

4.33	Tecnologias usadas em cada componente.	58
5.1	Gráfico gerado pelo Tracker com ângulo ao longo do tempo	60
5.2	Gráfico gerado pelo sistema com ângulo ao longo do tempo	60
5.3	Comparação do ângulo obtido com o ACV	61
5.4	Dispersão de género no estudo.	61
5.5	Dispersão da idade no estudo.	62
5.6	Resultado do teste colocar sensor nas costas.	62
5.7	Resultado do teste colocar sensor no pescoço.	63
5.8	Resultado do conforto do sensor durante o teste.	63
5.9	Resultado do procedimento de ligar sensor à aplicação.	65
5.10	Resultado do procedimento de aceder às notas.	65

ÍNDICE DE TABELAS

5.1	Tabela de preços (aproximados) do material usado na componente sensorial	67
-----	--	----

SIGLAS

ACV	Ângulo Crânio-Vertebral i, 8
API	Application Programming Interface tradução de Interface de Programação de Aplicações i, 30
FHP	Forward Head Posture tradução de anteriorização da cabeça i, 2
GPS	Global Positioning System tradução de sistema de posicionamento global i, 17
IDE	Integrated Development Environment tradução de Ambiente de Desenvolvimento Integrado i, 18
IMU	Inertial Measurement Unit i, 11
SAPI	Sistema de avaliação de postura ininterrupta i, 23
SUS	System Usability Scale i, 65

INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Ter uma boa postura não é somente sobre ter boa aparência, mas sim uma parte importante da saúde e bem-estar a longo prazo. Ao garantimos que mantemos uma boa postura durante a realização das várias atividades no dia a dia, podemos prevenir dores, lesões e outros problemas de saúde.

Ao falarmos de postura podem ser identificados dois tipos de postura: (1) A postura dinâmica, postura quando estamos em movimento, como por exemplo, a andar, a correr ou a praticar algum tipo de exercício físico; (2) A postura estática, postura que representa todas as situações em que mantemos a mesma posição durante um grande período de tempo, como por exemplo estar sentado ou deitado.

Quando se fala de postura, a parte do corpo que tem maior influência é coluna vertebral. Na coluna existem três curvaturas naturais: na cervical, na dorsal e na lombar. Uma postura correta deve manter essas curvas e não as aumentar ou diminuir [22]. Numa boa postura, sentado ou de pé, deve manter-se a cabeça erguida, com o queixo paralelo ao chão, a coluna deve estar alinhada verticalmente, sem desvios para a direita ou para a esquerda, e os ombros devem estar relaxados e paralelos ao plano dos ouvidos.

Devido à proliferação do trabalho digital em quase todas as profissões, um aumento do consumo de entretenimento em casa (tanto de filmes como de jogos) e à introdução dos *smartphones* no nosso dia a dia, a maioria das pessoas passa grande parte do seu tempo à frente de ecrãs e maioritariamente na posição sentada. Muitos dos problemas posturais ocorrem quando estamos sentados e a olhar para um ecrã, pelo que deveríamos ter uma maior consciência da nossa postura nessas situações, de forma a minimizar problemas

que possamos vir a desenvolver.

Um estudo publicado nos Estados Unidos da América em 2015, denota que as pessoas, que trabalham em escritórios, mantêm uma boa postura somente 36% do seu tempo de trabalho [40]. Devido a essa má postura em média 75% da população mundial sentiu, em algum momento da sua vida, dores no pescoço ou ombros [26] [13]. Num questionário feito em 2018 [17] (figura 1.1) 14% dos inquiridos visitaram nesse ano um profissional de saúde por causa de dores no pescoço e 38% com dores nas costas.

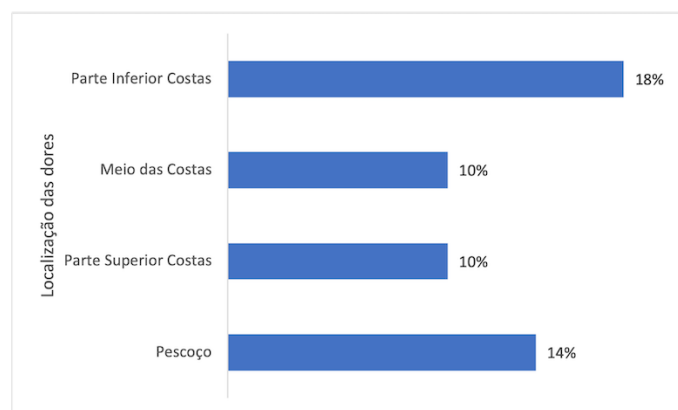


Figura 1.1: Percentagem de adultos dos EUA que visitaram no ano de 2018 um profissional de saúde por causa de dores no pescoço ou costas adaptado de [17]

Alguns dos cuidados aconselhados pelos fisioterapeutas e fisiatras, que devemos ter em conta quando estamos sentados durante longos períodos de tempo, são por exemplo: fazer pausas regulares mudando de posição, fazer pequenas caminhadas ou alongar suavemente os músculos [22].

Como é possível ver na figura 1.2, os cuidados a ter quando se está sentado em frente a um ecrã são: os pés devem estar apoiados no chão; as pernas não devem estar cruzadas; os joelhos devem fazer um ângulo de 90° de forma que as coxas e quadris fiquem paralelos ao chão; as costas devem estar bem apoiadas na cadeira; os cotovelos devem estar junto ao corpo, fazendo um ângulo entre 90° e 120° quando apoiados na secretária; os ombros devem estar relaxados, mas paralelos com o plano dos ouvidos. Para além disso e para manter essa postura correta, o monitor deve estar posicionado à altura dos olhos, para que não haja a tendência de curvar o pescoço [5].

No entanto, devido a vários fatores fica difícil manter essa boa postura corporal quando se passa muito tempo sentado, o que leva a que muitas pessoas necessitem de ajuda profissional para reverter os problemas causados por uma má postura. Ao consultar profissionais de saúde, como fisioterapeutas e fisiatras, estes fazem a avaliação dos seus pacientes e propõem vários exercícios de correção de postura que ao longo do tempo vão ajudar a que tenham uma melhor postura e assim uma melhor qualidade de vida.

Uma das complicações mais comuns que se pode vir a desenvolver essa má postura é a anteriorização da cabeça (FHP-Forward Head Posture), detetada em 17% da população



Figura 1.2: Postura correta a quando se está sentado [22]

[32]. Este problema FHP trata-se de um desequilíbrio muscular na zona do pescoço. Como é possível observar na figura 1.3, uma pessoa com FHP tem um desvio anterior no plano sagital da cabeça, ou seja a cabeça está posicionada à frente dos ombros. Este simples desvio é suficiente para gerar impactos biomecânicos significativos no corpo humano [6]. Esses impactos traduzem-se: num desgaste da coluna vertebral; maior probabilidade de

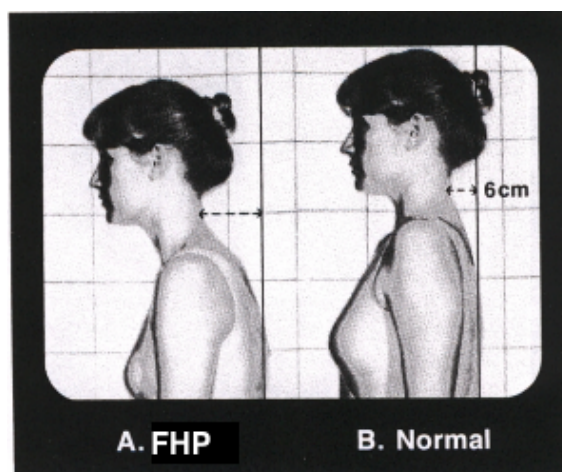


Figura 1.3: Comparação visual da anteriorização da cabeça [47]

sofrer lesões; dores no pescoço, ombros e costas; diminuição da flexibilidade; falta de equilíbrio e aumento do risco de queda. Em casos mais graves, a FHP pode levar a que seja mais difícil ingerir comida ou mesmo respirar [22].

Quando uma pessoa apresenta sintomas de ter FHP deve consultar um médico que vai avaliar o seu estado. Dependendo da severidade, o paciente pode ser aconselhado a realizar tratamentos de fisioterapia de forma a melhorar a sua postura. O fisioterapeuta

na consulta, quando na presença de um paciente com este tipo de patologia, mede vários ângulos para aferir qual a gravidade da situação. Normalmente, em consulta, são medidos os três ângulos representados na figura 1.4: (a) o ângulo sagital da cabeça, (b) o ângulo crânio-vertebral e (c) o ângulo dos ombros.

O processo de medição dos ângulos, na maioria das vezes, é executado manualmente o que implica que não pode ser medido de uma forma constante e também obriga que o paciente tenha de estar presente no consultório. Pelo que não é possível realizar essas medições em situações do quotidiano do paciente, como por exemplo, quando este se encontra sentado a trabalhar ao computador durante várias horas. As medições em situações do quotidiano são bastante úteis para um fisioterapeuta, uma vez que este pode avaliar como a postura do paciente vai evoluindo ao longo do tempo. Para além de que, uma vez que o paciente está mais relaxado, podem ser revelados os seus hábitos inconscientes de má postura.

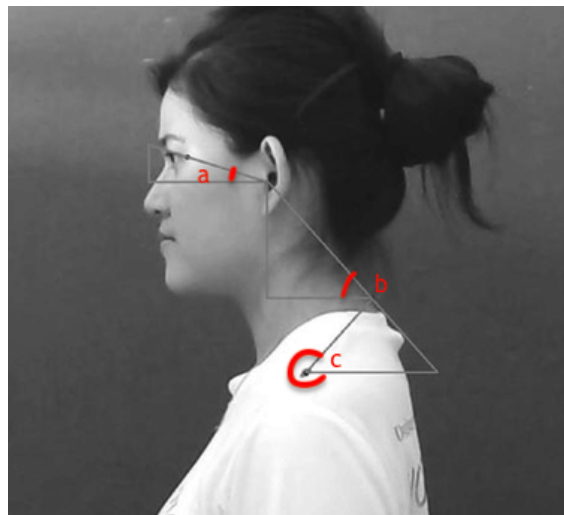


Figura 1.4: Representação das medições adaptada de [34]

1.2 Objetivo da tese

Esta tese tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de medição da postura da cabeça, com a finalidade ajudar os fisioterapeutas no diagnóstico e avaliação da anteriorização da cabeça e no acompanhamento dos seus pacientes.

O sistema será composto por três componentes: (1) Um dispositivo de recolha de dados do paciente, referente ao posicionamento da cabeça em relação ao corpo; (2) Uma aplicação para os pacientes usarem num dispositivo móvel, que vai processar os dados recolhidos pelos sensores em informação útil e transmitir esta informação para posteriormente ser analisada pelo fisioterapeuta; (3) Uma aplicação para o fisioterapeuta com a capacidade de visualizar e gerir os dados transmitidos pelas aplicações dos pacientes e que permita que o fisioterapeuta interaja com os seus pacientes.

Com o desenvolvimento deste sistema, pretendemos automatizar o processo de medição da postura da cabeça, em particular o registo do ângulo crânio-vertebral e do ângulo sagital da cabeça. Sendo que, iremos focar-nos essencialmente na recolha e análise de dados, enquanto o paciente estiver sentado.

Durante o desenvolvimento do sistema foram estudadas e analisadas as medições mais adequadas para avaliar a postura da cabeça, tendo como objetivo chegar à solução em que os dados obtidos sejam úteis e fiáveis para o processo de avaliação e tratamento da FHP, por parte dos fisioterapeutas. Ao facilitar este registo é possível aumentar a quantidade de dados obtidos, sem prejudicar a sua qualidade, otimizando assim o processo de diagnóstico/avaliação.

O sistema tem dois modos de funcionamento: (1) recolha de dados instantâneos que vão ser usados como forma de complementar e validar as medições feitas em consulta; (2) efetuar medições longo de uma atividade, como por exemplo estar sentado a uma secretária a trabalhar num computador.

Um sistema deste tipo, móvel, acessível e de fácil utilização, permitirá que o paciente possa ser avaliado num maior número de situações da sua vida quotidiana. Permitindo ao fisioterapeuta, analisar a postura dos seus pacientes em situações que seriam difíceis ou mesmo não tão reais, pois teriam que ser recriadas no consultório, como por exemplo ler um livro, trabalhar ao computador ou estar sentado no sofá.

Na aplicação do fisioterapeuta os dados dos dispositivos dos vários pacientes são acedidos pelo profissional para acompanhar remotamente os seus pacientes. Esta aplicação tem um histórico detalhado da evolução dos pacientes permitindo desta forma, ao fisioterapeuta, fazer uma melhor avaliação da evolução dos seus pacientes. Também nesta aplicação é possível o fisioterapeuta enviar notas aos pacientes, onde pode fazer recomendações ou pedir ao paciente para fazer certas medições.

Na aplicação do paciente, uma outra funcionalidade a ser implementada, é a possibilidade de dar um *feedback* imediato ao paciente, quando este não tem a postura correta. Isto é possível pois os dados estão a ser recolhidos em tempo real. Utilizando reforço ou punição, o comportamento do paciente poderá ser modelado, para que este mantenha a postura correta. Por exemplo, cada vez que o paciente estiver com uma má postura, ativando um barulho irritante ou um motor vibratório (punição ativa) [46].

1.3 Estrutura do documento

Este documento está estruturado em seis capítulos. No primeiro capítulo, que é o presente, é discutida a motivação da tese, bem como os objetivos pretendidos. No segundo capítulo, serão analisadas as técnicas existentes para a avaliação da postura, tanto no panorama comercial, como no panorama académico. Também nesse capítulo será feita uma análise a várias tecnologias de interesse, para a realização da aplicação/protótipo a desenvolver nesta dissertação. No terceiro capítulo é apresentada a proposta de tese, onde é descrito um esboço da arquitetura do sistema e a composição de cada componente.

No quarto capítulo é explicado como foi desenvolvida a aplicação. Explicamos também todos os desafios encontrados durante o desenvolvimento e as decisões tomadas durante esse processo. No quinto capítulo são apresentados os testes realizados ao sistema e os resultados obtidos. No sexto e último capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido assim como futuros desenvolvimentos previstos para esta tese.

PANORAMA ATUAL

Neste capítulo introduzimos os problema da Anteriorização da Cabeça vamos também analisar o qual é a melhor forma de avaliar a postura, mais concretamente a postura na zona do pescoço. Sendo que nesse processo vamos analisar as soluções de avaliação de postura presentes no mercado, bem como as investigações académicas nesta área. Por último vamos analisar as tecnologias disponíveis que poderão ser úteis para o desenvolvimento desta tese.

2.1 Problema - Anteriorização da Cabeça

Nesta tese pretendemos avaliar a postura de pacientes, mais concretamente analisar pessoas com sintomas de FHP, ao longo de um intervalo de tempo em posições estáticas.

A FHP é um problema postural associado aos maus hábitos da vida contemporânea. Uma das maiores causas que motivam este problema, são os longos períodos de tempo passados a olhar para baixo. Atividades como o uso dos *smartphones*, passar muito tempo sentado ao computador, bem como conduzir por muito tempo, são situações que só foram introduzidas no nosso quotidiano nas últimas décadas. Assim cada vez mais o número de pessoas com FHP vai ser cada vez maior, em 2017, um em cada quatro adultos foi a um médico por ter dores de costas e/ou pescoço [17].

A FHP, para além das dores localizadas na zona do pescoço, pode causar muitos problemas no nosso corpo [53]. Alguns dos problemas, com manifestações em curto prazo, são: a cifose (corcundez), que se trata de uma curvatura formada para fora da caixa torácica em demasia [42]; espasmos musculares; fadiga crónica; respiração restrita e outras manifestações que prejudicam o nosso bem estar. A longo prazo poder-se-ão desenvolver vários problemas de saúde, tais como: mobilidade reduzida dos ombros; osteoporose, que é a diminuição da massa óssea e deterioração da arquitetura do osso, o que poderá levar

a um aumento do risco de fraturas [38].

Para se avaliar um paciente, em relação à FHD, é preciso medir o Ângulo Crânio-Vertebral (ACV), como é possível observar na figura 2.1, identificado com **c)**. O ACV é definido pelo ângulo obtido pela interseção da linha horizontal, que passa pela vértebra C7 indicado na figura com **a)** com a linha estendida entre o Targus do ouvido, indicado com **b)** na figura.

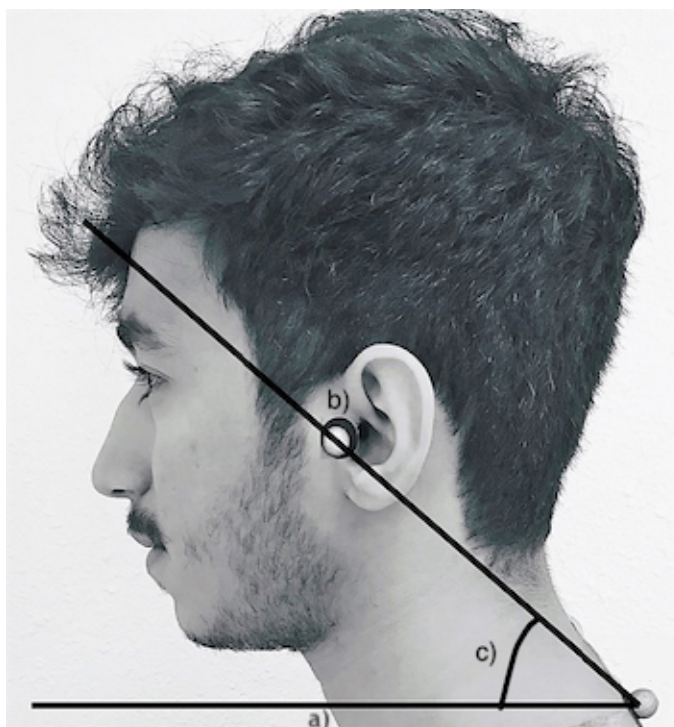


Figura 2.1: Diagrama da medição do ACV. Imagem adaptada de [44].

O ACV, numa pessoa saudável, vai medir em média ± 54.1 graus [44] [59]. Pessoas com FHP têm em média um ACV de ± 47 graus [44] [59]. Assim pode afirma-se que quanto menor o ângulo obtido, maior a severidade do problema.

Ao longo do tratamento de um paciente com FHD, os fisioterapeutas realizam a medição de ACV manualmente durante a consulta. Uma vez que esta medição só pode ser realizada durante as consultas presenciais, a progressão da evolução da situação do paciente não é avaliada com frequência. Não é possível realizar amostras mais espontâneas, como quando o paciente não está ativamente a pensar na sua postura, como por exemplo em situação de trabalho ou nas suas tarefas habituais do seu dia a dia.

Com o atual estado da pandemia houve uma necessidade de aumentar o número de consultas feitas à distância, pelo que a realização de medições se tornou difícil de efetuar. O que veio salientar a importância e utilidade que um sistema em que esta medição fosse efetuada pelo paciente, de forma simples e sem necessidade de um especialista, pode ter.

2.2 Soluções existentes

Nesta subsecção vamos avaliar as soluções existentes na área de medição de postura, observando as inovações que cada uma das propostas introduz e os problemas que estas podem ter.

2.2.1 Analógicas

Em situação de consulta médica, os fisioterapeutas usam um dispositivo de medição da postura em forma de T como é observado na figura 2.2. Este dispositivo calcula a distância horizontal entre a vértebra mais saída e a menos saída, sendo esta medição efetuada com o paciente de pé. A distância obtida, a partir deste método é usada para avaliar se o paciente sofre ou não de FHP, sendo que, quanto maior o valor obtido maior a severidade [58].

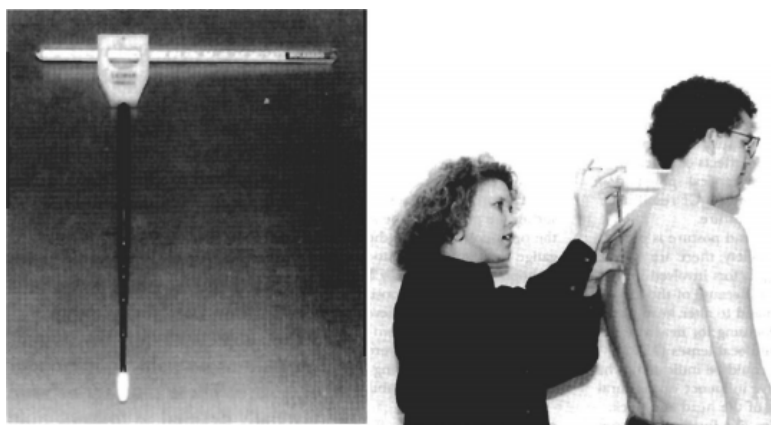


Figura 2.2: Dispositivo de medição da postura e respetivo método de utilização [58].

Outra técnica usada é a de comparação fotográfica usando um Prumo como referência. O Prumo é um instrumento constituído de corpo pesado preso a um fio e que indica a linha vertical em relação à terra. Para avaliar um paciente, este coloca-se em pé ao lado de um prumo e é tirada uma fotografia, a partir desta podemos avaliar o ACV usando um transferidor e também como fazer uma avaliação comparativa com fotos de outros pacientes.

A precisão dos dois métodos acima referidos é questionável devido à sua natureza. O primeiro, não mede exatamente o ACV, o que pode levar a uma avaliação incorreta do problema inicial. O segundo método, tem um problema, a fotografia tem de ser retirada de perfil para que o ângulo não seja afetado, caso contrário o resultado final vai estar incorreto.

Existem dois dispositivos com resultados mais fiáveis possíveis de serem usados para a avaliação do estado do paciente: o Goniômetro (na figura 2.3(a)) e o Inclínometro (na figura 2.3(b)) [4]. Ambos medem o ACV, sendo que os resultados obtidos têm uma boa precisão. Um dos problemas, destes métodos de medição, é que as medidas têm de ser

efetuadas quando o paciente está numa consulta e em posição estática, não sendo possível obter os resultados ao longo do tempo, nem em situações do quotidiano, como por exemplo, quando o paciente está a trabalhar com um computador ou a ver um filme no sofá.

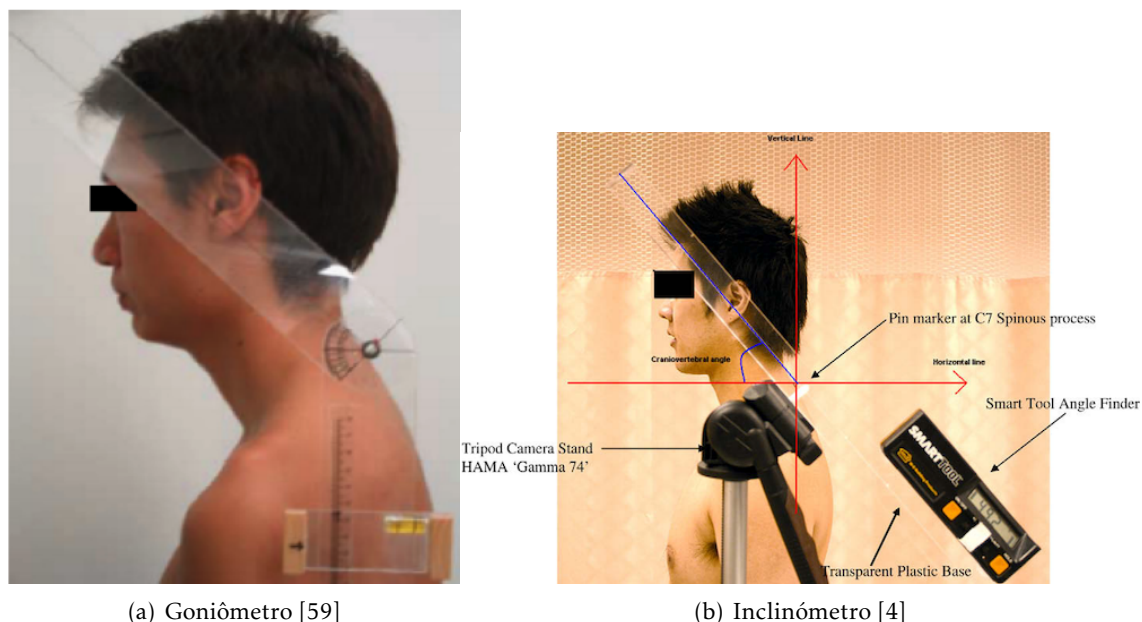


Figura 2.3: Método de utilização de instrumentos para medir ACV

2.2.2 Comerciais

No mercado existem soluções que avaliam a postura dos seus utilizadores tais como: “UPRIGHT” [56] e “Hipee-Smart Posture Device” [25].

O UPRIGHT, como se pode ver na figura 2.4, é um pequeno dispositivo colocado na parte superior das costas em cima da coluna. Este pode ser colado diretamente na pele ou com um assessorio e ser usado como se fosse um colar inverso. Este dispositivo vem acompanhado por uma aplicação, que processa os dados obtidos pelo dispositivo. Na aplicação é possível observar os resultados em tempo real, sobre a postura do utilizador, como é visível na figura 2.5(a). Como a monitorização é constante, é possível ter alarmes para avisar o utilizador que está com uma má postura. A aplicação realiza um resumo dos dados obtidos, como é possível observar na figura 2.5(b). Toda a informação, presente na aplicação pode ser obtida numa plataforma online e acedida a partir de qualquer dispositivo. Outra funcionalidade disponível na aplicação do UPRIGHT é assistir a aulas de Yoga, onde o dispositivo é usado para avaliar se as posições de Yoga são corretamente executadas. Em [12] é possível obter imagens do interior do dispositivo, onde se pode observar que este contém 2 IMU (Inertial Measurement Unit, dispositivo eletrónico que será analisado na secção 2.3.1), uma unidade de processamento de dados central e outros



Figura 2.4: Dispositivo UPRIGHT em uso [56]

componentes não identificáveis.

Um dos problemas que UPRIGHT tem é a inconsistência dos resultados em algumas situações, como é referido na avaliação feita pelo jornal Techradar [45]. Exemplos destas situações são: quando o utilizador está sentado numa cadeira com inclinação e quando o utilizador está a andar. O UPRIGHT é uma solução interessante e bem desenvolvida, mas não avalia o ACV que é o que pretendemos, avaliando só postura no geral. Trata-se de um dispositivo com elevado custo, para um fisioterapeuta disponibilizar a todos os seus pacientes, para além de não ter acesso direto a toda a informação.

O Hipee [25] é um dispositivo usado como se fosse um colar inverso, onde a parte captativa deste fica repousado na parte superior das costas em cima da coluna, como é possível ver na figura 2.6. Esta solução é muito semelhante com a solução anterior, mas de baixo custo. Trata-se de um dispositivo mais didático, uma vez que existe uma variação do produto para crianças. Esta solução, neste momento, só está disponível no mercado chinês. Tal como a solução anterior este dispositivo não calcula o ACV que é o pretendido nesta tese.

2.2.3 Académicas

Ao nível académico existem várias publicações nesta área, com diferentes soluções. A maioria dos projetos utilizam o Inertial Measurement Unit (IMU) para recolha de informação espacial. Os IMU são uma coleção de sensores que servem, para detetar as forças exercidas no mesmo, bem como a sua orientação. Os IMU normalmente contêm um acelerómetro, um giroscópio e, opcionalmente, um magnetómetro (o seu funcionamento vai ser explicado na secção 2.3.1).

No artigo de Sanghoon Jeon, Byungjin Ko e S. Son [30] figura 2.7, para detetar se

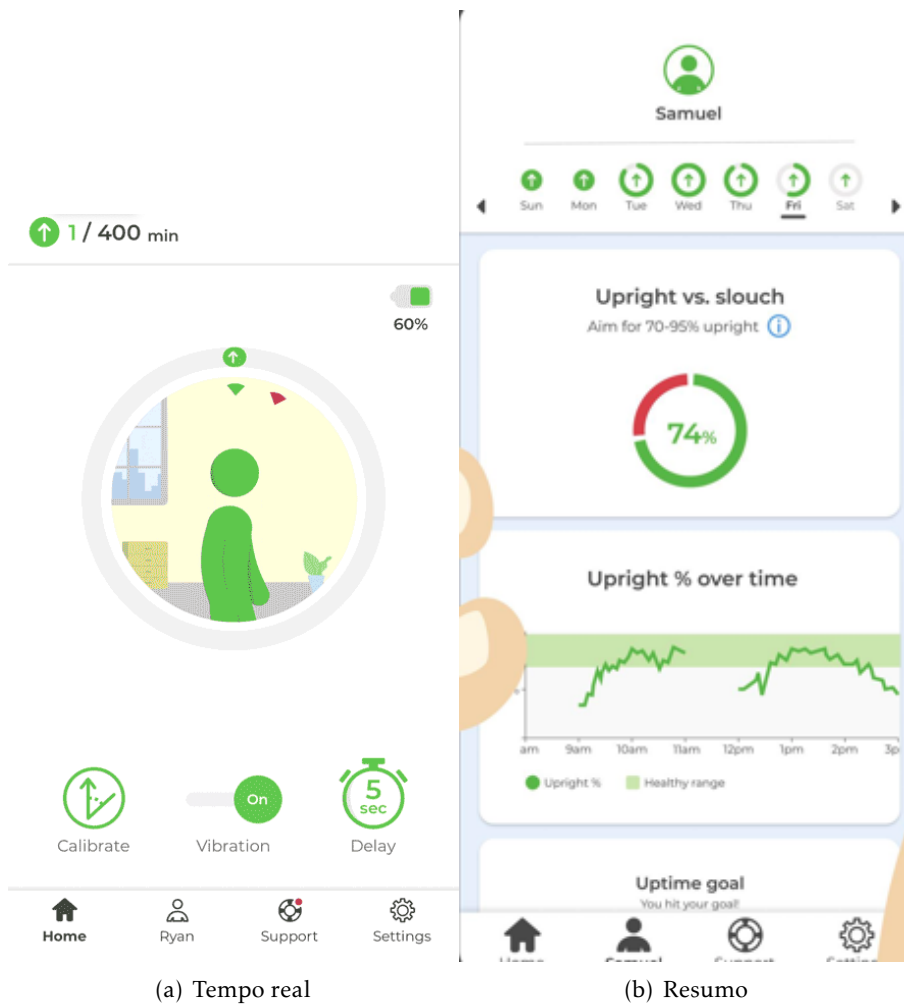


Figura 2.5: Páginas da aplicação companheira do UPRIGHT [56]



Figura 2.6: Dispositivo Hipee em uso [25]

um utilizador tem uma postura correta, estes propõem a utilização de um dispositivo composto por um MPU-6050 (um IMU) e um sensor de infravermelhos. O dispositivo é colocado na orelha do utilizador e mede a distância vertical entre o trago da orelha (que é uma pequena saliência localizada no ouvido externo, como é possível de observar no ponto c) da figura 2.1) e o corpo. Se a postura estiver correta, essa distância vai ser mais curta, uma vez que o ombro é o ponto mais próximo do trago da orelha. Contudo, se tiver uma postura incorreta, a distância vai ser mais longa, uma vez que o peito vai ser a parte do corpo mais perto. Usando o sensor de infravermelhos para medir a distância, é possível realizar esta medição. O uso do IMU serve essencialmente para certificar que o posicionamento do equipamento na orelha está correto.

Esta abordagem não será adequada de acordo com os objetivos pretendidos pois não avalia concretamente o ACV. Mas sim, se o utilizador está suficientemente encurvado para que o fecho de infravermelhos não seja refletido no ombro. Trata-se então de uma situação binária, onde o utilizador está ou não com uma má postura, a partir de um certo ângulo.

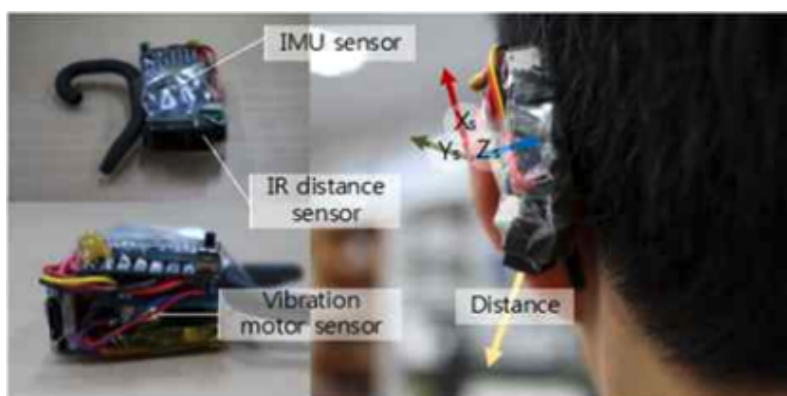


Figura 2.7: Protótipo desenvolvido por Sanghoon Jeon, Byungjin Ko e S. Son. [30]

Iman Bagheri, Saeid Alizadeh e Elyas Irankhah [3] apresentam uma proposta de utilização de um IMU colocado na cabeça (nuca), como se pode observar na figura 2.8. Com os dados do IMU é possível obter uma inclinação em relação à terra. Esta medição implica que o utilizador esteja posicionado com as costas verticais, caso contrário estamos a acrescentar ao ângulo obtido a inclinação das costas, obtendo assim o ACV mais o ângulo da inclinação das costas.

Na proposta apresentada por Niharika Pentapati [39], o IMU é colocado na parte superior das costas, medindo a inclinação das costas. Assim uma junção das duas soluções a de Iman Bagheri, Saeid Alizadeh e Elyas Irankhah [3] e a de Niharika Pentapati [39] resolveria o problema da inclinação das costas.

Taeyoung Kim, propõe, na sua tese de mestrado [31], uma solução para o problema da inclinação das costas. Também usa um IMU para obter os dados posicionais. Inicialmente são usados três sensores para obter o ACV: um na cabeça, um no pescoço e um nas costas como se pode observar na figura 2.9. Ao fazerem testes verificaram que não havia

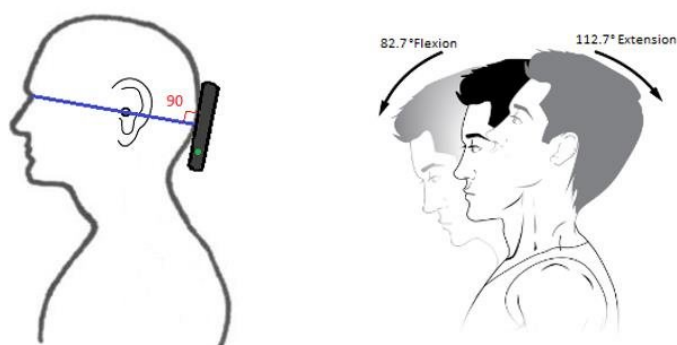


Figura 2.8: Diagrama da colocação do protótipo desenvolvido por Iman Bagheri, Saeid Alizadeh e Elyas Irankhah. [3]

necessidade da utilização do sensor das costas, uma vez que havia uma forte relação entre o ângulo obtido pelo sensor da cabeça e o ângulo obtido pelo sensor do pescoço. A solução



Figura 2.9: Posição dos sensores na proposta de Taeyoung Kim [31]

proposta na tese [31] apresenta bons resultados em algumas medições, em que o erro de medição é de cerca de 1 grau, quando uma pessoa está em pé e quando está a ler um papel numa mesa. Contudo, em situações como estar sentado, tem erros na ordem de 15 graus, que seria de evitar no contexto pretendido.

Por último, Hobeom Han, Hyeongkyu Jang e Sang Won Yoon em 2020 nos artigos [29] [24] propõem uma solução semelhante à anterior, mas para além dos IMU adicionaram um par de ímanes e magnetómetros (figura 2.10). Os magnetómetros medem em que posição estão os ímanes, fazendo com que haja duas formas de averiguar a postura. Os

resultados obtidos com os ímanes tiveram uma maior exatidão na ordem dos 5% . Neste trabalho foram utilizados algoritmos de aprendizagem para tratamento e classificação da informação recolhida. A proposta apresentada neste artigo demonstra uma melhoria na medição do ângulo ACV, contudo essa melhoria dos resultados pode não se justificar devido à inconveniência de posicionar os ímanes corretamente, bem como o custo acrescido ao sistema.

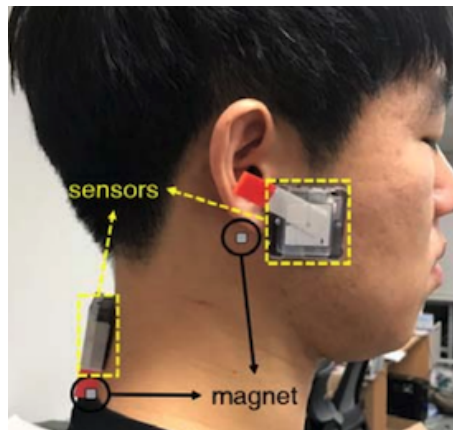


Figura 2.10: Posição dos sensores e ímanes na proposta de Hobeom Han, Hyeongkyu Jang e Sang Won Yoon [24]

2.3 Tecnologias

Hoje em dia existem várias tecnologias que tentam resolver um mesmo problema de formas diferentes, com vantagens e desvantagens diferentes para cada uma. Nesta seção pretendemos avaliar quais são as tecnologias disponíveis para a resolução do nosso problema, bem como fazer uma avaliação comparativa.

2.3.1 Hardware

Nesta tese pretendemos medir ângulos, existem várias tecnologias que podem ser usadas para essa funcionalidade. Uma das possibilidades é a utilização de sensores, estes são dispositivos que transformam grandezas físicas em sinais, possíveis de ser avaliados por outros componentes eletrônicos.

2.3.1.1 Sensores

O inclinômetro é uma ferramenta que associamos à obtenção de ângulos. Existem sensores eletrônicos que se baseiam no mesmo princípio para obter valores de inclinação, havendo diversas variantes com diferentes objetivos.

O sensor representado na figura 2.11 é constituído por uma bola de metal, que se encontra dentro de um invólucro de metal e quando está na vertical completa um

circuito. O sensor é útil para saber se um objeto está posicionado numa posição certa. Este identifica duas posições: vertical ou não vertical. Existe outro tipo de sensor de inclinação, que identifica um maior número de posições e que tem por base uma cápsula com líquido, o qual ao se deslocar de um lado para o outro, fazendo variar a resistência do circuito interno, permitindo assim determinar qual o valor da inclinação (figura 2.12). Embora estes sensores sejam precisos e confiáveis, têm algumas fraquezas, tais como: (1) um atraso no tempo de resposta; (2) são suscetíveis a vibrações; (3) tem um tempo de vida útil limitado, uma vez que contêm uma parte mecânica [52].

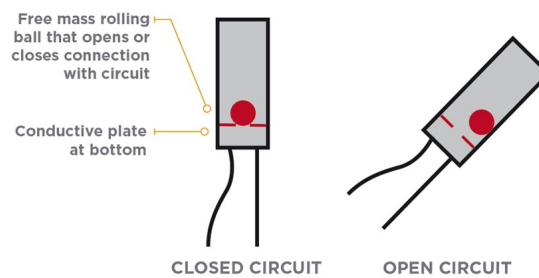


Figura 2.11: Sensor de inclinação simples [52]

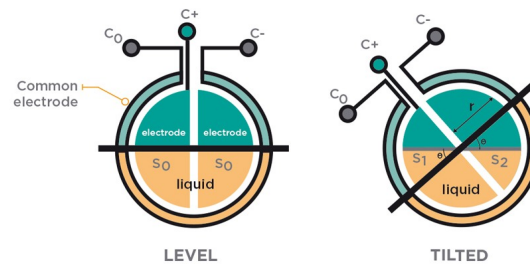


Figura 2.12: Sensor de inclinação que usa água [52]

O *flex sensor* é outro tipo de sensor que também pode ser utilizado para medir ângulos [15] (figura 2.13). Este mede a quantidade de “flexão”, quando dobrada a sua superfície condutora é alterada, resultando no aumento ou diminuição da sua resistência, que pode ser medida. Um dos problemas, deste tipo de sensores, é a facilidade de se quebrar.

Uma solução alternativa em soluções alternativas, em relação aos sensores de inclinação, é o uso de acelerômetros. Estes medem a aceleração sentida no corpo. Usando a aceleração gravítica da Terra é possível obter a inclinação do objeto [1]. Estes sensores fornecem medições mais confiáveis quando estão estáticos, uma vez que a única aceleração exercida no sistema é a gravítica. Normalmente para a medição de movimento ou posicionamento, este sensor é integrado em conjunto com giroscópio e magnetómetro constituem um IMU.

IMU significa “*Inertial Measurement Unit*” e este é uma coleção de sensores de medição [57]. Os IMU podem medir uma variedade de fatores: incluindo velocidade, direção,

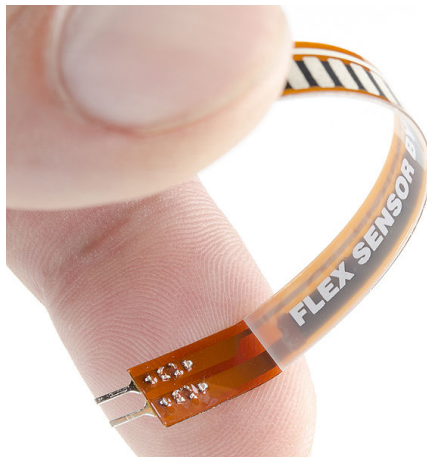


Figura 2.13: Exemplo de um *flex sensor* [7]

aceleração e na presença de um magnetômetro, campos magnéticos ao redor do dispositivo. Cada componente de um IMU é usado para obter diferentes dados (figura 2.14). O acelerômetro mede a velocidade e aceleração. O giroscópio mede a rotação. O magnetômetro serve para obter a direção cardinal.

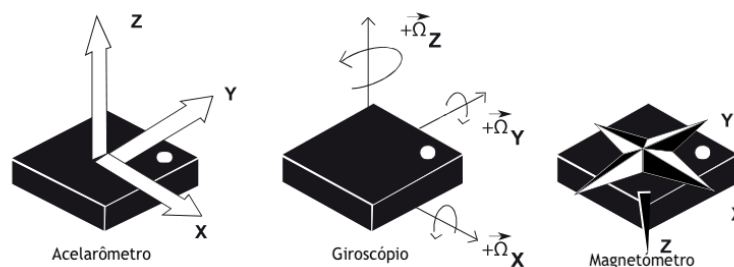


Figura 2.14: Representação dos 9 eixos de um IMU adaptada de [10]

Hoje em dia os IMU são de tamanho tão reduzido que é possível integrar todos os componentes num só microchip e o custo destes é reduzido [1]. Os IMU são usados em várias situações, tais como: no controlo de drones, nos GPS e nos telemóveis.

Um dos problemas dos IMU é que eles estão sujeitos a erros que se acumulam com o tempo. Como os IMU medem as mudanças em relação a si mesmo, não comparam com um dispositivo externo com os valores reais. Assim o IMU arredonda constantemente pequenas frações nos seus cálculos, que se acumulam com o tempo. Se não forem corrigidas, essas pequenas imprecisões podem resultar em erros significativos. Para se obter resultados fiáveis é necessário usar tecnologia corretiva ou uma recalibração periódica [57].

Para medir ângulos também pode ser usado um sensor de distância, a partir do algoritmo do Teorema de Pitágoras. Assim podemos avaliar alguns sensores de medição de distâncias.

Existem dois tipos de sensores, os que tem o emissor de sinais separados do recetor e os que o têm junto, sendo que podem usar qualquer tipo de sinal, por exemplo: sonoro, ultrassônicos, luminosos e infravermelho. Os sensores em que o transmissor de sinais e recetor estão juntos identificam, a distância pelo tempo de voo do sinal [55]. Isto é baseiam-se no tempo em que os sinais transmitidos pelos sensores demoram a voltar à origem depois de refletirem num corpo, como é possível observar na figura 2.15. Este tipo de sensores para distâncias grandes (mais de 1 metro) têm um baixo custo, mas quando se pretende ter valores exatos a pequenas distâncias, o custo dos sensores pode ser elevado.

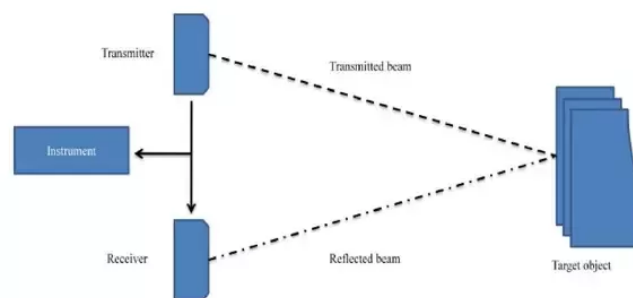


Figura 2.15: Explicação do funcionamento de um sensor de medição de distancia [55]

2.3.1.2 Microcontroladores

Os valores obtidos dos sensores têm que, de um modo geral, ser processados, para isso existe a necessidade de componentes, como microcontroladores. Estes são responsáveis pela gestão e tratamento dos sinais recolhidos pelos sensores.

O microcontrolador é um chip composto por uma unidade de processamento, memória e portas de entrada e saída de dados [2]. Estes são possíveis de ser programados e assim executar funcionalidades diferentes. Existe no mercado uma grande diversidade de microcontroladores, com diferentes características, em particular diferentes capacidades de processamento, de memória, de número de portas, consumo e dimensão. A escolha do microcontrolador depende do tipo e objetivo da aplicação.

Hoje em dia, uma das plataformas mais usadas para desenvolvimento de protótipos no âmbito da eletrónica é o Arduino Uno [2]. O Arduino Uno é uma placa de desenvolvimento, desenhada à volta do microprocessador Atmel AVR, com a característica de ser open-source. Este pode ser programado em várias linguagens, sendo que a oficial é uma variação de C/C++, todas estas são compiladas para o Assembly do microcontrolador. Existem plataformas de programação (IDE) como Arduino IDE ou *Eclipse for Arduino* que permitem, desenvolver de forma simples, código para diferentes *boards*, inclusive o Arduino UNO. Devido à popularidade do Arduino existe uma grande quantidade de sensores compatíveis presentes no mercado e bibliotecas de código, disponíveis para lidar com os mesmos.

Ao processarmos a informação necessária, necessitamos de armazenar os dados. Existem duas abordagens: guardar localmente ou num dispositivo externo. A maior parte dos microcontroladores tem pouca memória, assim há necessidade de recorrer a módulos de armazenamento, como por exemplo o módulo de cartões SD. Esta abordagem tem a desvantagem de os dados só poderem ser visionados quando o sistema não estiver em funcionamento. Para guardar os dados num dispositivo externo é necessário ter um meio de transmissão dos dados. Podemos transmitir por cabo, por exemplo USB, mas isto implicaria uma diminuição na mobilidade do sistema. Ou uma transmissão sem fios como o Wi-Fi ou o Bluetooth, onde podemos adicionar um módulo como o ESP8266 [9], que consegue conectar com uma rede Wi-Fi e transmitir os dados produzidos pelo microcontrolador.

O ESP32 é um microcontrolador desenvolvido pela Espressif que já contém integrado uma unidade de comunicação por Wi-Fi e Bluetooth [8]. Os ambientes de desenvolvimento usados para o Arduino UNO têm suporte para o ESP32 [18], obtendo todas as vantagens da comunidade do Arduino. A forma de desenvolvimento é semelhante à das diferentes versões do Arduino, com a vantagem de já ter integrado as duas formas de comunicação. Ao usar o ESP32 diminuímos o problema de ligação entre o microcontrolador e um módulo de comunicação, o custo do sistema e o consumo de energia, em comparação ao uso de um Arduino com o módulo como ESP8266.

2.3.2 Software

Para além da parte sensorial, o sistema a desenvolver necessita de processar e armazenar os dados recolhidos pela aplicação do paciente, para posteriormente serem consultados e analisados pelo fisioterapeuta.

2.3.2.1 Aplicações

Será necessário desenvolver uma aplicação para *Smartphone*, para o paciente. Existem várias plataformas de desenvolvimento de aplicações para *Smartphone*. Podemos desenvolver a aplicação em código nativo, no caso do Android em Java no caso, do iOS em Swift ou o desenvolvimento pode ser feito usando uma *Framework* como React Native [43] ou Flutter [16].

Ao desenvolver em código nativo, temos a garantia que estamos a tirar melhor partido do hardware, tendo assim um maior controlo do mesmo. Sendo também mais fácil de endereçar os problemas quando estes existem, uma vez que estamos focados numa só plataforma. No caso de queremos desenvolver para Android e iOS, garantimos que a experiência do utilizador é idêntica com o sistema, isto é, que usa o mesmo estilo de design. É garantido que enquanto o sistema operativo for suportado, a nossa aplicação poderá ser sempre atualizada para funcionar e quando novas tecnologias são apresentadas aos sistemas, temos acesso imediato às mesmas. Por último, existe uma grande comunidade que desenvolve aplicações nativas tanto para Android como iOS, tendo assim muita informação, software e ferramentas que podem ajudar no desenvolvimento das aplicações.

Quando usamos *Frameworks*, como o React Native temos a vantagem que só é necessário desenvolver código uma vez, porque o código produzido em React é processado e traduzido para código nativo de cada sistema [36]. No caso que quisermos desenvolver para vários sistemas, usar React Native diminui o tempo de desenvolvimento das aplicações. Como o código original é o mesmo, a experiência do utilizador vai ser muito idêntica, independentemente do sistema operativo utilizado. Uma vantagem concreta, de desenvolver em React Native é a possibilidade de ver as mudanças quase em tempo real, uma vez que não é preciso compilar para que as mudanças sejam visíveis. Apesar das *Frameworks* trazerem muitas vantagens, ao desenvolvermos para várias plataformas ao mesmo tempo, não podemos otimizar o nosso código especificamente para cada sistema. No caso de termos um erro na aplicação, não podemos esperar que seja fácil resolvemos, uma vez que o problema pode resultar de um erro no código gerado pela *Framework*. No caso de quisermos criar componentes personalizadas, teremos de desenvolver código nativo incorporado no código da *Framework*. A longo prazo não sabemos se esta *Framework* vai ter atualizações, uma vez que é desenvolvida por uma entidade independente dos sistemas operativos, o Facebook no caso da React Native [43].

Embora a utilização da *Framework* tenha muitas vantagens a sua utilização tornasse pouco eficiente quando se pretende lidar com componentes específicos do hardware como por exemplo o Bluetooth. Uma vez que foi tomada a opção da comunicação entre a componente sensorial e a aplicação do paciente ser através do protocolo Bluetooth. Por esse motivo a escolha para o desenvolvimento da aplicação paciente recaiu na opção código nativo, mais concretamente Android uma vez que existe um maior número de dispositivos com este sistema.

Temos também de escolher como vamos desenvolver uma aplicação de gestão, na qual o fisioterapeuta vai poder aceder aos dados dos seus pacientes e interagir com estes. Para a implementação aplicação do fisioterapeuta, temos o mesmo problema da implementação da aplicação mobile, uma vez que podemos implementar o código nativo, que neste caso seria HTML5 com java script, ou utilizar uma *Framework* como React ou angular. Tal como decidido na aplicação móvel, a melhor solução é a utilização de *Framework* pois facilita um rápido desenvolvimento, com uma diminuição dos possíveis erros produzidos durante o desenvolvimento. Sendo a React a *Framework* com a maior comunidade e com o suporte de empresas grandes.

2.3.2.2 Base de Dados

Para guardar os dados obtidos pelos sensores e a informação dos utilizadores é preciso escolher uma base de dados adequada para o nosso objetivo. Assim existem várias soluções que podemos adotar para base de dados, SQL como MySQL ou noSQL como MongoDB, Neo4j e FireBase.

Para avaliar as várias bases de dados vamos usar o triângulo de CAP (Consistency,

Availability, Partition tolerance) [23]. Que em português quer dizer C-Consistência, A-Disponibilidade e P-Tolerância de Partição. Como é possível observar na figura 2.16, cada base de dados só pode garantir duas das três preocupações principais. A consistência quer dizer que cada utilizador da base de dados vai ter, em todo o momento, a mesma visão dos dados. A disponibilidade significa que em qualquer momento a base de dados pode ser chamada para ler ou escrever. A Tolerância de Partição significa que a base de dados funciona em situações em que exista falhas na comunicação entre nós da mesma [27].

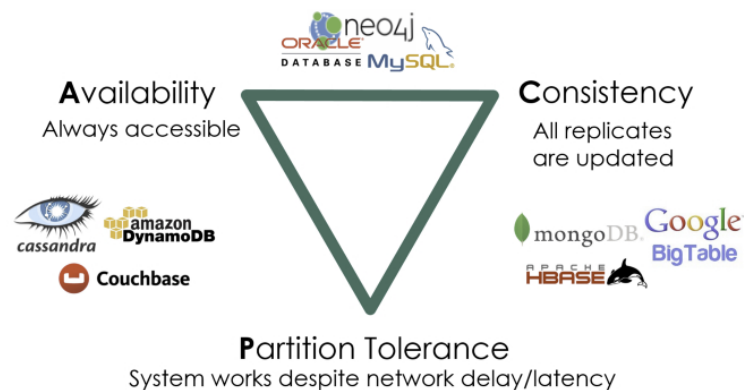


Figura 2.16: Triângulo CAP adaptada de [23]

Na prática, as bases de dados mais usadas num contexto de aplicação móvel são MySQL do tipo CA, MongoDB do tipo CP ou Firebase uma solução *cloud* da Google com o tipo CP. Podemos observar que a preocupação que estas bases de dados têm em comum é a consistência.

Uma preocupação que temos de ter em conta ao selecionar uma base de dados é o alojamento da mesma. Esta irá influenciar os custos associados e a segurança. As soluções *cloud* têm várias vantagens, a nível monetário não é necessário um investimento inicial de compra do hardware e o custo por *GigaByte* é menor em comparação com uma base de dados local [37]. É mais facilmente escalável, uma vez que podemos pedir recursos sob demanda, assim só se paga o que se estiver a utilizar. Por último as bases de dados *cloud* fazem vários *backups* dos dados guardados, garantindo a redundância da informação guardada. As principais vantagens de alojar o servidor localmente têm a ver principalmente com segurança e velocidade de acesso à informação. Ao alojar localmente temos controlo mais absoluto sobre a informação armazenada, garantindo que nenhum terceiro consiga ter acesso.

Tendo em conta os argumentos sobre as vantagens e desvantagens de utilizar serviços *cloud*, optaremos por utilizar uma base de dados local. Uma vez que estamos a guardar dados clínicos dos pacientes, temos de garantir que não existe violação da privacidade. Seria desadequado adotar uma solução *cloud* pois estaríamos a disponibilizar dados críticos a uma empresa terceira, apesar que monetariamente ser uma melhor solução utilizar um serviço *cloud*.

Uma vez que esta tese será realizada em pequena escala, com poucos utilizadores, qualquer base de dados que possa ser implementada num servidor local pode ser usada. Assim Mysql e MongoDB, uma vez que estas são OpenSource, serão as melhores candidatas.

2.3.3 Sumário

Com base no estado de arte, concluímos que para analisar a postura de um paciente em relação ao FHP, devemos analisar a posição da cabeça em relação ao corpo. Para tal será necessário medir o ACV, sendo a utilização de IMU a solução mais frequente. No entanto, relativamente à colocação de IMU, não existe uma solução consensual. Pelo que numa fase inicial do trabalho houve a necessidade de proceder a um estudo e análise desse problema, com vista a definir a solução que melhor se adequa às medições que pretendemos efetuar. Ainda na componente sensorial a escolha que se revela mais adequada, em termos de microcontrolador, é o ESP32, uma vez que é uma solução de baixo custo e que tem já integrada unidades de comunicação, o que se revela vantajoso, pois reduz o número de componentes e de interligações entre si.

No desenvolvimento de aplicações, concluiu-se que para as exigências do sistema, a utilização de Android é necessária para desenvolver a aplicação do paciente e para a aplicação do fisioterapeuta usaremos a *Framework React*.

SAPI - SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE POSTURA ININTERRUPTA

Neste capítulo vamos apresentar os objetivos e a estrutura do Sistema de avaliação de postura ininterrupta (SAPI) desenvolvido ao longo desta tese. Em primeiro lugar vão ser detalhados os requisitos que este sistema precisa de cumprir para que seja útil no contexto de avaliação e monitorização de pacientes com FHP. De seguida é explicado qual é o design e estrutura do sistema, bem como irão ser recolhidos, tratados e exibidos os dados biométricos. Sendo que a parte da visualização vai ser apresentada em duas partes: paciente e fisioterapeuta.

3.1 Requisitos do Sistema

Tendo em conta o problema que pretendemos resolver e todo o estudo previamente feito, propomos um sistema de avaliação de postura de forma contínua. Onde um paciente pode recolher dados sobre a sua postura de uma forma autónoma, para posteriormente serem usados pelo fisioterapeuta para que faça uma melhor avaliação do paciente. Tendo em conta o sistema acima resumido, este tem de preencher os seguintes requisitos:

- **Medir a postura.** O objetivo do sistema é ajudar um fisioterapeuta a avaliar a postura de pacientes que apresentem problemas de anteriorização da cabeça. Uma das formas para avaliar a gravidade do problema é a medição do ângulo crânio-vertebral (ACV). Assim o sistema tem de medir esse ângulo.
- **Medir de forma contínua.** Uma das ideias fundamentais deste sistema é a capacidade de poder recolher dados sobre a postura dos pacientes ao longo de um período de tempo. Este tipo de medição pode ajudar a melhorar a avaliação do paciente, uma vez que quando sentado se vai mudando de posição e consequentemente alterando

a postura. Podendo ao longo do tempo vir a apresentar posturas cada vez mais incorretas. De forma manual seria impossível efetuar a medição deste ângulo de forma contínua ao longo do tempo. Para além de que a medição por um fisioterapeuta pode influenciar as medições, uma vez que o paciente ao ter consciência da medição poderá ter uma tendência, mesmo que inconsciente, de corrigir a sua postura.

- **Fácil de medir** Uma vez que pretendemos que esta medição seja feita ao longo de um período de tempo, esta não pode ser feita somente em consulta. Assim esta medição tem de ser fácil de efetuar por parte do paciente e, idealmente, sem ajuda de terceiros.
- **Visualização dos dados simples e intuitiva.** O sistema vai recolher diversos dados, para que o fisioterapeuta os consiga avaliar e interpretar de forma simples estes deverão ser apresentados de forma gráfica. Assim é necessário desenvolver uma interface gráfica para visualizar os dados recolhidos. Também o paciente necessita de ter acesso a uma interface simples que lhe dê algum *feedback* sobre a sua postura e correta recolha de dados.
- **Conectividade** Uma vez que o paciente e o fisioterapeuta poderão não estar na mesma divisão, é importante que os dados recolhidos pelo paciente possam ser acedidos remotamente.
- **Baixo custo.** Uma vez que o sistema é para ser usado pelos pacientes fora do local de consulta, uma das necessidades é manter o custo do sistema o mais reduzido que possível. Assim para minimizar os custos é importante que possa ser utilizado equipamento que os utilizadores tenham consigo usualmente, como é o caso dos telemóveis e dos computadores pessoais.
- **Ajudar a uma avaliação dos pacientes.** O sistema tem como objetivo ajudar os fisioterapeutas, assim o sistema tem de apresentar os dados de uma forma clara e concisa. Caso contrário os dados recolhidos podem não se revelar úteis para a avaliação da postura dos pacientes.
- **Ajudar a uma maior interação paciente fisioterapeuta.** Havendo a conectividade entre os diferentes componentes do sistema, este pode ser usado para aumentar e melhorar o acompanhamento do fisioterapeuta dos seus pacientes no seu dia a dia.
- **Organização dos dados.** Uma vez que os dados referentes à postura do paciente são guardados pelo sistema, é possível disponibilizar ao fisioterapeuta um meio que o auxilie na organização da informação e seguimento dos seus pacientes. No sistema o fisioterapeuta deverá poder gerir e registar notas dos pacientes e dos dados recolhidos pelos mesmos.

3.2 Componentes do Sistema

Tendo por base os requisitos mencionados na secção 3.1 foi desenhado o sistema SAPI, composto por várias componentes: a sensorial, a aplicação do paciente, o servidor e a aplicação do fisioterapeuta. Como é possível observar na figura 3.1, cada componente é responsável por diferentes tarefas, interligadas entre si. Vão interagir com o sistema dois tipos de utilizadores, os pacientes e os fisioterapeutas. Os pacientes interagem com a componente sensorial e com uma aplicação Android que lhes dá algum *feedback* relativamente aos valores das medições que estão a ser recolhidos. Os fisioterapeutas irão ter acesso a uma aplicação que lhes permite para além de analisar dos dados recolhidos, gerir a informação e interagir com os seus pacientes. O servidor será responsável pelo processamento e armazenamento dos dados e também pela gestão de acessos dos diferentes utilizadores.

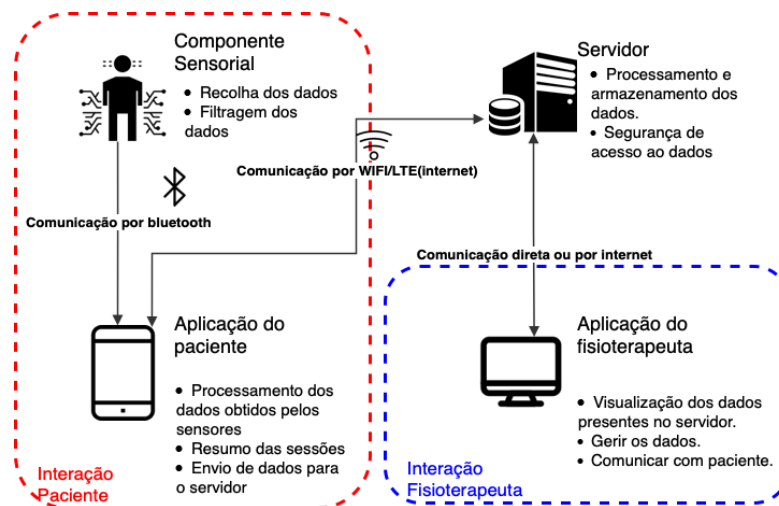


Figura 3.1: Ligação de componentes e suas responsabilidades

3.2.1 Componente Sensorial

A componente sensorial é responsável por recolher a informação necessária para obter dados sobre a postura, mais concretamente o ângulo ACV. Esta componente do sistema é essencial, uma vez que é esta que é responsável pela aquisição dos dados biométricos para posterior análise. Para esta componente foram estudadas várias possibilidades de implementação, sendo esta uma componente muito importante do sistema uma vez que, qualquer falhas nesta componente se traduzem numa má medição e consequentemente uma avaliação incorreta.

Como referido no capítulo anterior, de todas as tecnologias que poderiam ser utilizadas para medir a postura, a utilização de sensores IMU foi o tipo de solução que se revelou a mais adequados dados os requisitos. Os IMU são dispositivos de baixo custo e com boa precisão. No mercado existem vários IMU com diferentes características, mas

escolhemos o MPU-9250, uma vez que é um sensor fácil de adquirir, com custo reduzido e com boa precisão para os dados que pretendemos obter. O MPU-9250 contém todos os elementos de um IMU: um giroscópio, um acelerômetro e um magnetômetro.

Tal como foi concluído no capítulo anterior, para processar a informação adquirida pelos IMU será necessário um microcontrolador. A escolha do microcontrolador recaiu no ESP32, por ser a solução mais adequada para a nossa implementação dadas as suas características, documentação existente e custo. Este microcontrolador tem já integrado suporte de comunicação (Wi-fi e Bluetooth) necessário para interagir com a componente “aplicação do paciente”, que corre num dispositivo móvel (smartphone).

Ao colocarmos um sensor IMU no pescoço é possível obter a inclinação do pescoço. Essa inclinação que obtemos é em relação com o referencial da terra. A inclinação obtida só é o ACV quando o nosso corpo está perpendicular com a terra. Como é possível ver na figura 3.2, se uma pessoa estiver sentada numa cadeira em que as costas estão inclinadas o resultado obtido não vai ser o desejado. Em A e B na figura a inclinação que obtínhamos era a mesma, mas em B o ACV é maior que A. Assim para obter o ACV em todas as situações será necessário mais um sensor para medir a inclinação das costas/corpo.

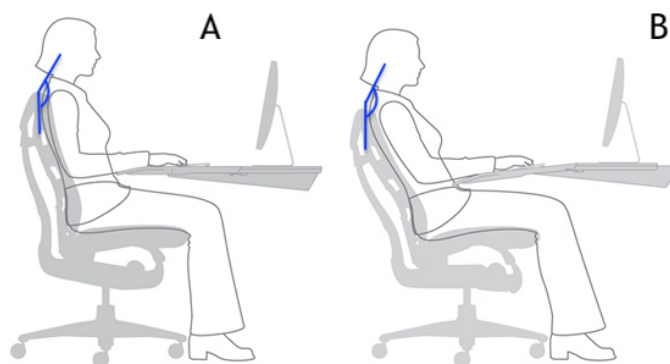


Figura 3.2: Exemplos de diferentes inclinações sentado adaptado de [33]

Para o posicionamento dos sensores existem várias possibilidades, embora as duas que parecem ser mais fiáveis são: (1) colocar um sensor no pescoço e outro nas costas ou (2) colocar um sensor no pescoço e outro na cabeça

Ou seja, um dos sensores tem que estar no pescoço e o outro, uma vez que é utilizado para obter a inclinação do corpo, poderá estar na cabeça ou nas costas, como é possível ver observar na figura 3.3 (a azul estão indicadas as duas possíveis posições do segundo sensor).

Tendo dois sensores existe outra decisão a ser tomada: (1) ter cada sensor IMU ligado a um ESP32, ou (2) um ESP32 ligado com mais sensores. A escolha da melhor implementação dependeu de vários fatores, sendo que cada uma apresentava as suas vantagens e desvantagens. A posição em que os sensores vão ser colocados foi um dos fatores de decisão para a forma como foi implementada esta componente, uma vez que se os sensores

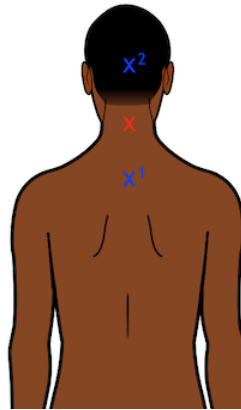


Figura 3.3: Posição dos sensores adaptado de [14]

estiverem muito distantes, torna-se menos prático usar só um ESP32. Neste caso os cabos de ligação teriam de ser compridos, aumentando a probabilidade de falha por desgaste, para além de que poderia ser desconfortável para o paciente. O uso de dois ESP32 combate o problema da distância, mas introduz o problema do aumento do custo do sistema e sincronização dos dados provenientes dos dois sensores. Mas como já foi dito acima, para obtermos os dados com melhores resultados quanto mais juntos os sensores tiverem melhor é a qualidade de dados que recolhemos. Concluimos então que a implementação usa apenas um ESP32 para vários sensores.

Para a comunicação entre esta componente e o resto do sistema existia a possibilidade de fazer a comunicação por Bluetooth ou por Wi-fi. Ambas as implementações são fiáveis, mas uma vez que se trata de um dispositivo que usa bateria como fonte de alimentação decidimos usar o Bluetooth uma vez que comparativamente é a tecnologia que consome menos energia.

3.2.2 Aplicação do Paciente

A aplicação do paciente é uma aplicação Android, esta é responsável por fazer a aquisição, armazenamento e pré-tratamento dos dados recolhidos pela componente sensorial, antes dos enviar para o servidor. Esta aplicação também disponibiliza ao paciente uma interface simples em que este poderá visualizar os dados recolhidos, embora a função principal desta componente seja a recolha dos dados enviados pela componente sensorial e envio destes para o servidor. A aplicação móvel pode ser desenvolvida em React Native ou Código Nativo, mas como foi decidido na secção 2.3.2 escolhemos desenvolver a nossa aplicação em código nativo, mais concretamente Android.

Tendo em conta as necessidades referidas anteriormente, foi desenhada a interface da aplicação do paciente. Usando *mockups* são salientadas as principais funcionalidades da aplicação. No desenho da interface da aplicação paciente foram tidos em conta todos os requisitos identificados na secção 3.1.

A aplicação tem uma página de autenticação para garantir que o acesso é efetuado somente por pacientes autorizados (Figura 3.4), sendo esta autorização da responsabilidade do fisioterapeuta, ou seja a aplicação do fisioterapeuta deve “criar” e autorizar pacientes para que estes tenham acesso.



Figura 3.4: *Mockups* da Página de autenticação da Aplicação

Após o *login* o paciente irá para a página principal (Figura 3.5), sendo que a partir desta página tem acesso às restantes funcionalidades da aplicação, através da barra de navegação. É nesta página que o paciente visualiza a informação sobre o estado da componente sensorial e o último valor instantâneo medido, este valor poderá ser guardado se clicar no botão instantâneo (Figura 3.6) sendo possível também adicionar informação extra referente à situação em que foi obtido o valor. No caso do paciente selecionar a

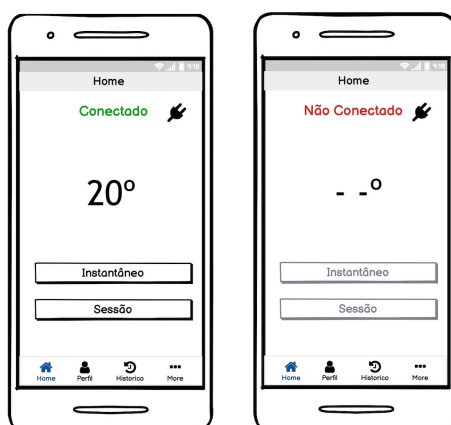


Figura 3.5: *Mockups* da página principal da Aplicação

opção sessão será redirecionado para as páginas de sessão (Figura 3.7).

No primeiro página de sessão (Figura 3.7(a)) o paciente pode indicar qual a situação em que vai decorrer a sessão, por exemplo “sentado sofá”, informação que é possível de ser consultada pelo fisioterapeuta. Nesta página o paciente pode também indicar qual o



Figura 3.6: *Mockups* da interação de recolher valor instantâneo

valor de ACV a partir do qual será gerado um aviso. Esta funcionalidade foi desenhada com o objetivo de auxiliar o paciente a manter uma postura correta.

Após dar início à sessão o paciente tem acesso a um conjunto de valores que lhe permitem ter a noção de como está a decorrer a sessão (Figura 3.7(b)).

Ao terminar a sessão o paciente poderá adicionar algumas notas sobre a sessão que considere relevantes (Figura 3.7(c) e 3.7(d)) e que deem mais alguma informação adicional ao fisioterapeuta quando este for analisar os dados da sessão.

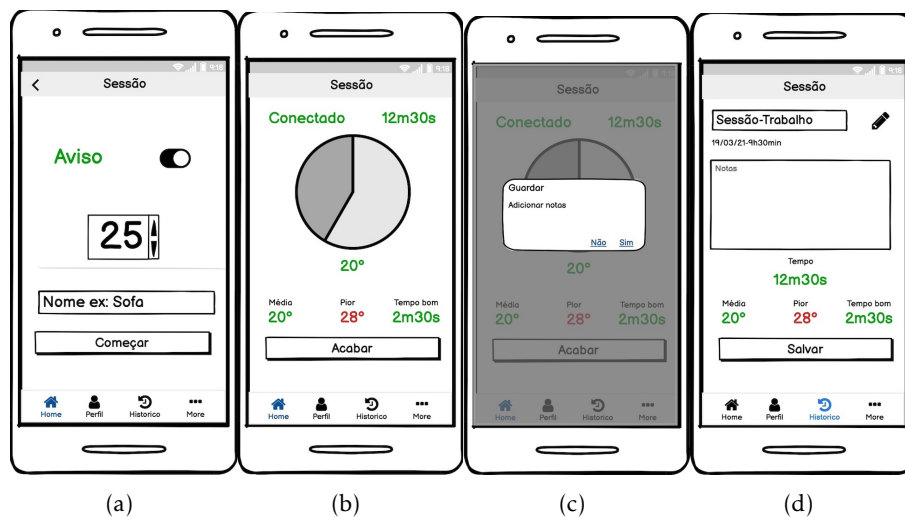


Figura 3.7: *Mockups* da sessão na aplicação

A barra de navegação, presente em todas as páginas, permite ao paciente ter acesso às páginas de perfil, histórico e mensagens. Na página de perfil (Figura 3.8) o paciente tem acesso a informação que pode ser útil como, o contacto do seu médico, nessa mesma página pode alterar a password e desativar a sua conta. Na página do histórico (Figura 3.9) o paciente tem a possibilidade de observar todas as sessões e medições instantâneas que

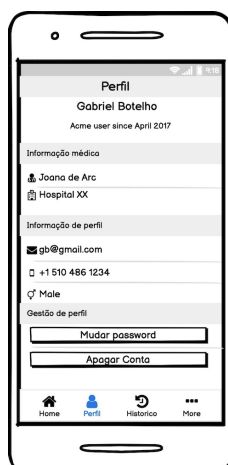


Figura 3.8: *Mockups* do perfil na aplicação

foram guardadas no servidor. Nas sessões guardadas pode consultar as estatísticas sobre as mesmas.



Figura 3.9: *Mockups* do histórico dos dados recolhidos na aplicação

3.2.3 Servidor

A componente servidor irá processar e armazenar os dados transmitidos pela aplicação do paciente bem como qualquer alteração que o fisioterapeuta pretenda realizar. As interações entre o servidor e os outros componentes são realizados através de uma API. A API foi desenhada tendo em consideração todos os requisitos do sistema. Essas interações podem ser: *upload* de dados no caso dos dados da aplicação do paciente, pedidos de informação, ou criação de um novo paciente no caso da aplicação do fisioterapeuta.

Tendo em conta os dados que pretendemos guardar desenhámos a estrutura da nossa

API, esta vai estar dividida em 3 Caminhos: `/fisioterapeuta`, `/paciente` e `/medição` representados na Figura 3.10. No caminho `/fisioterapeuta` vamos poder criar, alterar, apagar e pedir fisioterapeutas. No mesmo caminho também devemos poder pedir todos os pacientes de um fisioterapeuta. No caminho `/paciente` devemos poder criar, alterar, apagar e pedir pacientes. Também neste caminho é possível pedir todas as medições de um paciente. No caminho `/medição` é possível criar, alterar, apagar e pedir medições.

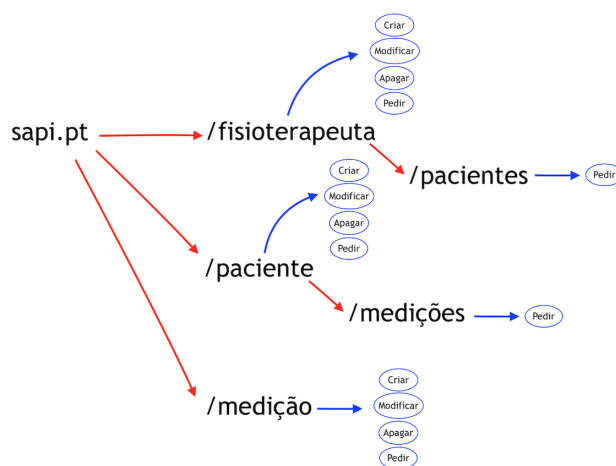


Figura 3.10: Estrutura da API

O servidor vai também gerir os pacientes e fisioterapeutas garantindo que só é possível obter dados específicos por utilizadores autorizados. Por exemplo quando for feito um pedido à API para criar pacientes o servidor tem de garantir que só os fisioterapeutas o conseguem fazer.

Para armazenar toda a informação do nosso sistema de uma forma persistente e organizada é necessário uma base de dados. Como é possível ver pela estrutura da API na base de dados vamos querer guardar a informação dos pacientes, fisioterapeutas e medições. A estrutura da base de dados vai ser explicada na secção 4.3.

3.2.4 Aplicação do Fisioterapeuta

A componente aplicação do fisioterapeuta é a única componente em que o fisioterapeuta vai interagir, esta foi também desenhada de modo a satisfazer os requisitos do sistema. Uma vez que a interface do fisioterapeuta é independente da do paciente e que na maioria dos consultórios existe um computador, foi decidido que a interface do fisioterapeuta iria ser desenvolvida sob a forma de um website.

Para o desenvolvimento desta aplicação foi tomada a opção de utilizar a *framework* React, uma vez que esta é das mais utilizadas atualmente, existindo por isso bastante documentação o que permite um desenvolvimento mais rápido.

Tendo em conta todas as funcionalidades e requisitos que foram identificadas para esta componente, procedeu-se ao desenho de *Mockups*.

Ao iniciar a aplicação é pedido ao fisioterapeuta que introduza as suas credenciais (Figura 3.11), de forma a garantir que é um utilizador válido do sistema.

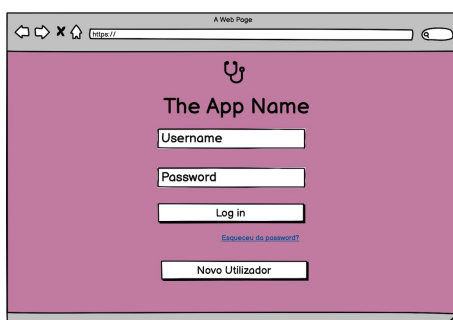


Figura 3.11: *Mockups* da página de autenticação

Após esta validação o fisioterapeuta tem acesso a uma página onde pode gerir os seus pacientes (Figura 3.12). Nesta página, pode registar novos pacientes e consultar a lista dos já registados. Os pacientes presentes na lista podem ser pesquisados pelo nome. Cada registo da lista equivale a um paciente, no registo temos: o nome do paciente, o número de treinos/sessões e o número de medições que estão presentes no sistema. Em cada registo temos também a possibilidade de arquivar toda a informação associada a um paciente. Ao

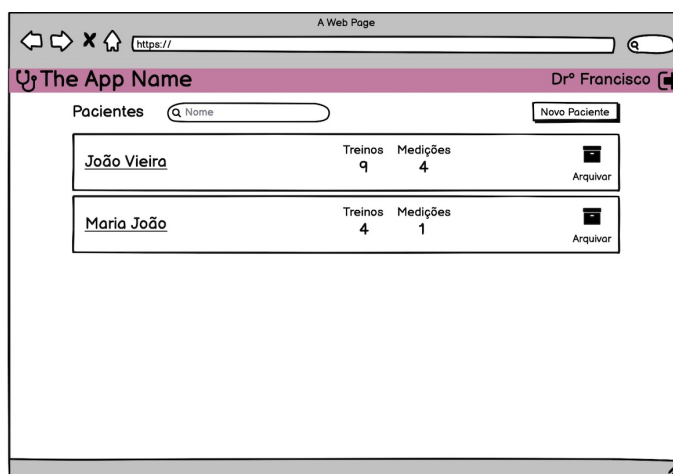


Figura 3.12: *Mockups* da página com a lista de pacientes de um fisioterapeuta

clicar no nome de um paciente é dado o acesso a uma lista com os dados das suas sessões e medições instantâneas (Figura 3.13). Nesta lista o fisioterapeuta pode optar por visionar só as sessões ou as medições. Os registos das medições contêm a data em que foram feitos, o ângulo que foi obtido e um botão para apagar o mesmo. Os registos das sessões têm: a situação em que a sessão foi feita, a data, a média, o pior ângulo obtido, o ângulo objetivo, o tempo em que o paciente teve com uma boa postura, a duração da sessão e um botão para apagar o registo do sistema. Através desta página pode aceder à informação mais detalhada de cada sessão. Na página de sessão (Figura 3.14) o fisioterapeuta tem acesso a alguns valores estatísticos da sessão e a um gráfico que mostra de uma forma simples os

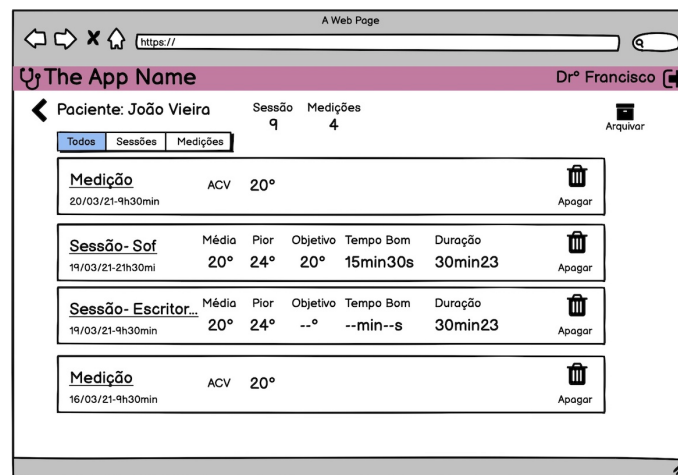


Figura 3.13: Mockups da página com a lista de medições de um paciente

valores de ACV recolhidos durante a sessão. Em todas as páginas exceto a de autenticação,

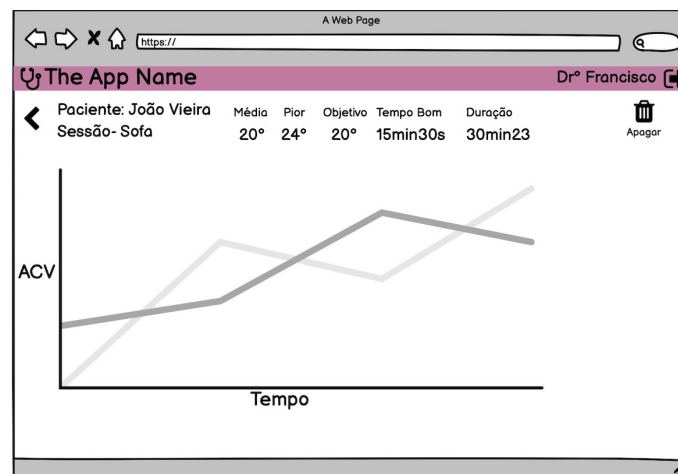


Figura 3.14: Mockups da página de uma sessão de um paciente

temos no topo da página o nome da aplicação que ao clicar abre a página inicial e um botão para sair da aplicação.

Para o desenho das funcionalidades desta componente tivemos em conta todos os requisitos listados anteriormente.

3.3 Sumário

O sistema SAPI é constituído por 4 componentes: a componente sensorial, a aplicação do paciente, o servidor e aplicação do fisioterapeuta. Com o sistema pretendemos que um paciente autonomamente consiga medir a sua postura de uma forma continua. Com os dados das medições pretendemos que o sistema ajude os fisioterapeutas as fazer uma melhor avaliação dos pacientes.

DESENVOLVIMENTO DO SAPI

Neste capítulo explicamos como desenvolvemos e implementamos o Sistema de Avaliação de Postura Ininterrupta. Este sistema é constituído por 4 componentes: a componente sensorial, a aplicação do paciente, o servidor e a aplicação do fisioterapeuta. Neste capítulo vamos discutir as decisões tomadas bem como todo o processo de desenvolvimento e implementação dos diferentes componentes.

4.1 Componente sensorial

A componente sensorial é composta por um microcontrolador ESP32 e dois IMU MPU-9250. Esta componente tem como objetivo obter o ângulo ACV em diferentes momentos, e posteriormente enviar as diferentes medições do ângulo para a componente da aplicação do paciente. Esta componente foi desenvolvida em duas etapas: (1) usando um só sensor; e (2) usando dois sensores.

4.1.1 Componente sensorial com um sensor

Na primeira etapa do desenvolvimento da componente usamos um só sensor ligado ao microcontrolador, através de portos específicos, utilizando o protocolo de comunicação I2C. Assim com esta ligação podemos recolher os dados que o sensor nos disponibiliza: os 3 eixos do giroscópio, do acelerómetro e do magnetómetro.

4.1.1.1 Tratamento dos dados

Os dados recolhidos necessitam ser tratados, já que não indicam a orientação do sensor. Para tratar esses dados usa-se a biblioteca de funções de **hideakitai** [51] que utiliza os dados recolhidos e os transforma em 3 eixos: o *roll*, o *pitch* e *yaw* que são respetivamente o eixo longitudinal, o eixo transversal e o eixo vertical, como ilustrado na figura 4.1.

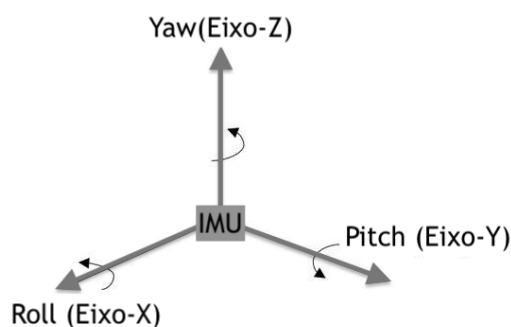


Figura 4.1: Representação dos 3 eixos obtidos

Durante o processo de tratamento de dados, a biblioteca utiliza o filtro de *Madgwick* [48]. Este filtro usa um algoritmo que permite reduzir o ruído nos dados obtidos, isto é, estabiliza os valores resultantes para que não haja “picos” no resultado final.

4.1.1.2 Calibração do sensor

Quando se utiliza a componente sensorial é, necessário calibrar o sensor da componente, isto é indicar qual é o ângulo zero. A biblioteca de funções **hideakitai** tem dois métodos de calibração: (1) calibração do giroscópio e do acelerômetro e (2) calibração do magnetômetro. Na primeira calibração, deve-se simplesmente deixar o sensor em repouso durante 5 segundos numa superfície horizontal. Na segunda calibração deve-se fazer o movimento em forma de 8 ao sensor. A movimentação em 8 do dispositivo, não é muito conveniente para o paciente, pelo que se tratou de analisar se era mesmo necessária. Posteriormente testamos com e sem a calibração em 8 e concluímos que não existe nenhuma diferença significativa. Face aos resultados obtidos nesta experimentação optamos pela primeira calibração.

4.1.1.3 Análise da posição do sensor

Para saber a inclinação de uma parte do corpo (exemplo costas, pescoço, cabeça) só é preciso um dos eixos e para isso analisamos qual seria o mais adequado. O eixo *yaw*, representado na figura 4.2 é inconveniente, já que ao ser este eixo perpendicular à superfície, faria com que o sensor teria de estar paralelo à superfície. Esta posição do sensor não seria adequada para um dispositivo a usar em qualquer zona do corpo.

Os eixos *roll* e *pitch*, ambos ficam paralelos à superfície, pelo que o dispositivo com o sensor ficaria na posição vertical (perpendicular à superfície) em relação ao pescoço/corpo, como é possível ver na figura 4.3. Desta forma o dispositivo seria mais adequado para a utilização em pacientes.

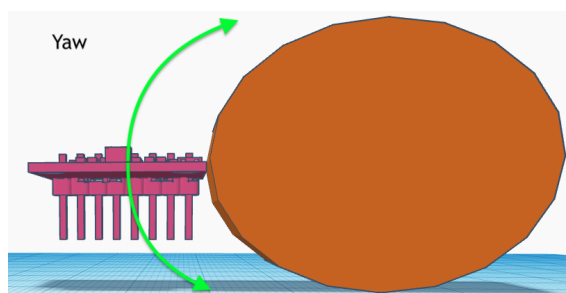


Figura 4.2: Representação da posição do sensor para obter inclinação a partir do eixo *yaw*

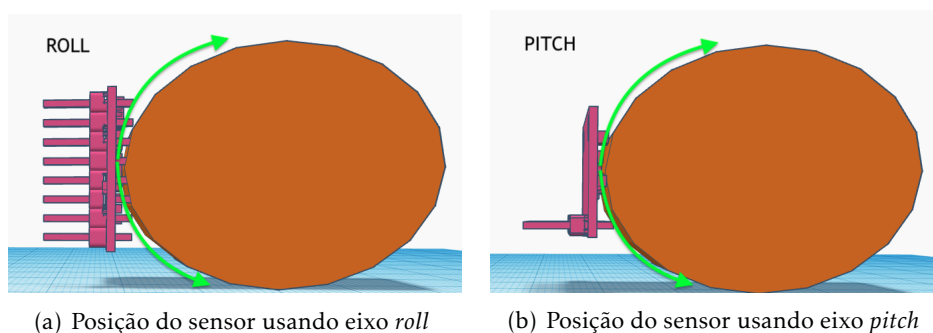


Figura 4.3: Representação da posição do sensor para obter inclinação a partir dos eixos *roll* e *pitch*

4.1.1.4 Experimentação do dispositivo com um sensor

Para analisar os dados recolhidos pelo sensor, colocamos o sensor numa régua e esta encostada a uma cartolina, na qual havia indicações de vários ângulos (ver figura 4.4). Obtivemos vários valores, os quais comparamos aos valores da escala feita na cartolina, e concluímos que os valores obtidos não eram exatos, mas havia alguma relação entre eles. Por exemplo, quando o sensor estava pousado nos 10 graus este indicava 80 graus no sensor, e quando este estava pousado 20 graus indicava 70 graus.

Nesta experimentação da componente com um sensor concluímos que não existe nenhuma diferença significativa entre utilizar os dados obtidos pelo eixo *roll* ou *pitch*. Pelo que vamos usar o eixo *roll*.

Também podemos concluir que a calibração seria essencial ser realizada com o sensor paralelo ao chão, uma vez que queremos que ao calibrar 0 graus seja quando o sensor esteja na horizontal. Assim garantimos que quando temos o dispositivo na vertical (na posição que queremos medir o paciente), os valores sejam sempre positivos.

4.1.1.5 Transmissão e recolha de dados

Para facilitar a análise dos dados foi desenvolvida uma aplicação para Android. Esta aplicação tem como objetivo principal receber e enviar informação por Bluetooth de um telemóvel para componente sensorial. O microcontrolador **ESP32** já tem incorporado um



Figura 4.4: Teste do sensor comparando com um transferidor

módulo de comunicação, logo foi possível emparelhar o **ESP32** com um telemóvel, através da utilização da biblioteca fornecida pelo seu fabricante [8].

Nesta experimentação detetamos que o microcontrolador estava a enviar muitas mensagens por segundo, algumas das quais eram desnecessárias, já que eram valores muito semelhantes. Para além disso, era um gasto desnecessário de energia.

Face a estes resultados, decidimos: (1) implementar um método que verifica se o ESP32 está ligado a algum dispositivo, caso não esteja este fica em *standby*; e (2) calcular uma média de x medições e mandar só essa para o telemóvel diminuindo assim a quantidade de informação enviada. Testamos com vários valores e decidimos que 20 era um número bom de medições, porque com esse valor não sentimos que a precisão seja afetada nem que sejam enviadas muitas mensagens por segundo. Desta forma, em média são enviadas entre 2 a 4 mensagens por segundo.

4.1.2 Componente com dois sensores

No novo componente sensorial existem 2 sensores **MPU-9250** e um microprocessador **ESP32**. O protocolo de comunicação entre o microcontrolador e os sensores é o I2C, usado anteriormente. No início tentamos implementar dois canais independentes de comunicação I2C uma vez que assim tínhamos um canal para cada sensor deixando que os sensores tivessem o mesmo endereço. Mas não tivemos sucesso nesta abordagem, porque a biblioteca usada só deixa inicializar um canal o que fazia com que o último canal

aberto seria o usado. Desta forma, os dois sensores foram colocados em paralelo no mesmo bus I2C. Esta forma de ligação dos sensores funciona uma vez que este protocolo é um protocolo de master-slave onde o *master* é o microcontrolador e o *slave* os sensores. Cada *slave* tem um identificador único. No caso do IMU o seu endereço predefinido é 0x68, mas ativando uma das entradas do sensor o endereço do mesmo passa a ser 0x69. Assim colocando um dos sensores no endereço *default* e o outro no novo endereço é possível comunicar com os dois sensores em paralelo, como é ilustrado no esquema da figura 4.5.

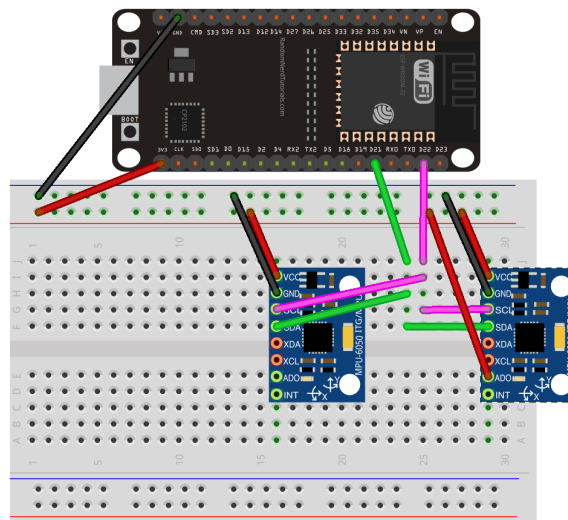


Figura 4.5: Esquema da componente Sensorial (Sensores não ligado à BreadBoard)

Neste dispositivo, obtém-se o valor do eixo *roll* de cada sensor, e calculamos a sua diferença. O resultado é um ângulo que é independente do eixo de referência. O valor obtido é então enviado para o telemóvel por Bluetooth.

4.1.2.1 Posicionamento dos 2 sensores

De forma a obter os melhores valores para o angulo AVC, tínhamos que estudar o posicionamento dos dois sensores. Em estudo estavam duas situações: (1) seria colocar um sensor nas costas e outro no pescoço; e (2) colocar um sensor no pescoço e outro na cabeça.

Tendo em conta estas posições dos sensores fizemos um primeiro protótipo em que optámos por colocar um dos sensores na cabeça e o outro no pescoço. Para a fixar o sensor do pescoço usámos uma espécie de coleira com velcro, e para afixar na cabeça usamos uma bracelete com velcro, como é possível observar na figura 4.6. Num segundo protótipo optámos por colocar um sensor no pescoço e outro nas costas, na parte das costas usamos um cinto com velcro, como se observa na figura 4.7(b). Nestes protótipos não conseguimos obter bons resultados. Os dados recolhidos tinham problemas porque os sensores não estavam devidamente afixados. O uso de velcro e a tensão dos cabos, juntamente com os pesos dos sensores, comprometia o posicionamento dos sensores (paralelos à parte do

corpo). Apesar desta falha, podemos observar que quando o paciente inclinava o pescoço a variação dos resultados fazia sentido, isto é, era consistente com o movimento/inclinação.

Observamos também que a solução de usar um sensor na cabeça implica que o utilizador tenha sempre a cabeça estável. Numa situação natural isso não acontece, por essa razão esta solução foi posta de parte.

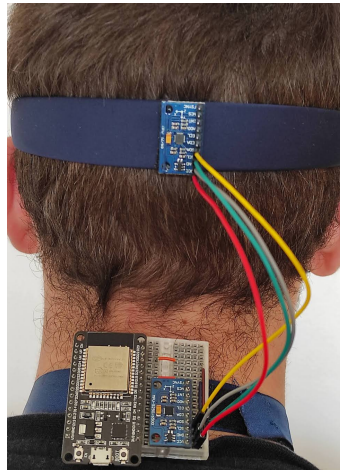
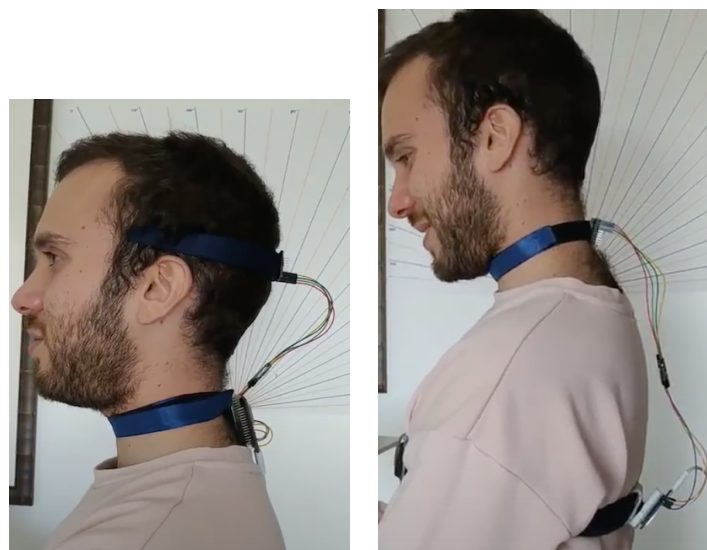


Figura 4.6: Posição do sensor no teste de pescoço e cabeça.



(a) Execução do teste de pescoço e cabeça.

(b) Execução do teste de costas e pescoço.

Figura 4.7: Primeiros teste feitos com a componente sensor

Com base no observado no protótipo anterior, a componente sensorial evoluiu para uma a utilização de suportes mais rígidos para os sensores, e que se acoplavam melhor à anatomia humana.

Um dos requisitos do sistema é a mobilidade do sistema como a componente sensorial

estava a ser alimentada através de uma fonte externa, fomos averiguar qual seriam a solução que tínhamos disponível, para tornamos o dispositivo energeticamente independente. Ao investigar as diferentes hipóteses decidimos usar uma bateria, mas isso implicou que tivémos de usar outra placa de desenvolvimento uma vez que a “ESP32 Devkit v1” não suporta ser alimentada diretamente por uma bateria. A placa de desenvolvimento que decidimos usar é “TTGO T7 V1.3 MINI” uma vez que tem todas as funcionalidades da placa anteriormente usada, mais a capacidade de ser alimentada por uma bateria.

Desenhámos umas caixas para conter todos os componentes da componente sensorial, estas caixas foram feitas usando impressão 3D. Como é possível observar na figura 4.8 a componente está distribuída por duas caixas uma com o microcontrolador, um sensor e uma bateria a outra caixa tem o outro sensor que está ligado por um cabo.

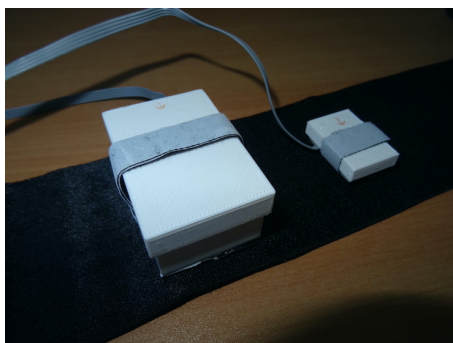


Figura 4.8: Componente sensorial na caixas.

Para afixar as caixas ao corpo decidimos usar umas faixas elásticas, as caixas ficam fixas através de velcro. Como é possível ver na figura 4.9 a caixa pequena fica afixada no pescoço e a caixa grande fica afixada na zona das costas.

4.1.2.2 Notificação ao paciente

De forma a notificar o paciente que a sua postura não está correta, foi adicionado um pequeno motor de vibração que pode ser ativado pelo telemóvel através de Bluetooth. O microcontrolador é programado com um valor limite do ângulo, a partir do qual a vibração deve ser ativada. Desta forma a vibração é ativada durante 3 segundo quando o ângulo for maior que o pretendido. Quando este é ativado fica posteriormente desativado durante 1 minuto para não haver uma saturação do utilizador e para poupar bateria.

4.2 Aplicação do paciente

A aplicação do paciente foi implementada em código nativo mais concretamente Android. Esta decisão foi tomada porque deste modo temos melhor controlo do hardware e o sistema operativo pode otimizar o nosso programa. Para programar em Android foi usado o software, disponibilizado para Google e JetBrains, Android Studio [21]. Foram usadas 2



Figura 4.9: Componente sensorial posição no corpo.

versões deste software na elaboração da tese: versão 4.1 no início e Arctic Fox (2020.3.1) no final. Como o emulador do software Android Studio não suporta a comunicação via Bluetooth, tivemos que usar um telemóvel com a versão 11 do Android.

Tendo como base os requisitos funcionais desta aplicação (definidos na secção 3.1), começamos por desenvolver a interface, através dos Mockups (presentes na secção 3.2.2). Esta implementação inicialmente foi feita de uma forma *offline*, uma vez que não tínhamos implementado a parte do servidor.

No início utilizávamos uma atividade para cada página. Quando se inicia uma aplicação é aberta uma atividade principal. Normalmente cada vez que mudamos de página, na aplicação, a atividade principal cria uma nova atividade com a página pretendida. De forma a otimizar a aplicação foi usado o novo conceito “fragmento” do android, que permite, de forma modular, alterar páginas. Os fragmentos são partes de uma atividade que pode ser mudada dinamicamente. Por exemplo se tivermos uma página inicial com uma barra de navegação estática e escolhermos um dado botão, o fragmento da página principal passa o perfil, sem que seja necessário a alocar novo recurso para a nova atividade.

A atividade principal representada na figura 4.10, apresenta uma barra de navegação com 4 botões de navegação para: a página principal, o perfil, o histórico de secções e as mensagens.

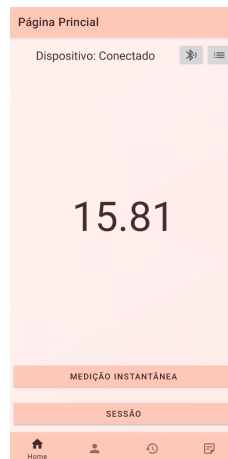


Figura 4.10: Página principal.

4.2.1 Interface página principal

A página principal (Figura 4.10) da aplicação do paciente tem vários elementos/botões para: (1) emparelhar dispositivos, (2) conectar dispositivo, (3) visualizar último valor registado, (4) realizar medição instantânea e (5) realizar diferentes medições em sessão. No botão que contém a lista de dispositivos disponíveis para conectar por *Bluetooth* é possível escolher qual o dispositivo que pretendemos emparelhar. Sendo que só é necessário fazer essa escolha uma vez, porque a aplicação guarda o endereço MAC do último dispositivo emparelhado. O botão de conectar dispositivo é usado para estabelecer a conexão entre o telemóvel e o sensor. No centro da interface é apresentado o último valor do sensor recebido pelo telemóvel. Caso o valor da última medição não esteja num valor aceitável (menor que 0 e maior que 90), é mostrado um aviso (Figura 4.11).

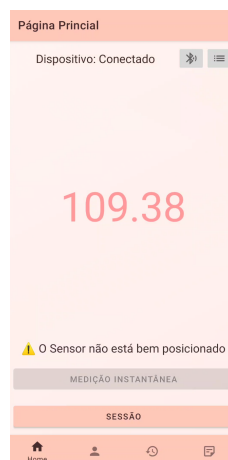


Figura 4.11: Página principal com valores não validos.

4.2.2 Medição instantânea

O botão de medição instantânea existente na interface faz o registo dum medição instantânea do AVC, e mostrar o valor no ecrã. Nesse momento é mostrado uma janela popup (Figura 4.12) para o paciente preencher, em que é pedido a situação em que esta medição foi efetuada.



Figura 4.12: Popup de uma medição instantânea.

4.2.3 Medições numa sessão

Nesta interface existe também um botão para registo de medições de uma sessão. Para estas medições foi necessário um maior desenvolvimento uma vez que vai ser necessário receber a informação e processá-la ao longo de um período de tempo. Ao carregar no botão de sessão na página inicial é aberta uma página de configuração (Figura 4.13), na qual é mostrado o valor ACV objetivo que está associado ao paciente, dando a possibilidade de ser alterado para a sessão. Nesta atividade é perguntado ao paciente se quer ativar a notificação/vibração caso em algum momento o ângulo obtido pelo sensor seja superior ao objetivo. Se a notificação for ativada, a aplicação envia para o microcontrolador uma mensagem, por Bluetooth, para ativar a vibração a partir do valor decidido. No momento de configuração da sessão, o paciente deve registar a situação em que a sessão vai ser realizada.

Quando a sessão está a decorrer, a aplicação mostra ao utilizador uma página (Figura 4.14) onde é possível ver os dados em tempo real bem como estatísticas que estão a ser calculadas em tempo real. As estatísticas apresentadas são médias, pior valor, tempo

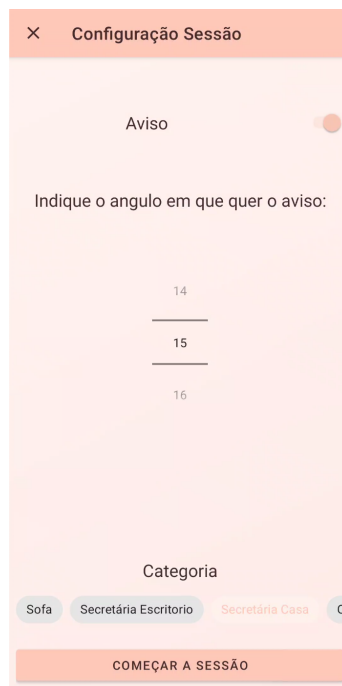


Figura 4.13: Página de configuração de uma sessão

“bom”, tempo “mau” e tempo total. O paciente pode acabar a sessão quando quiser (Figura 4.15).

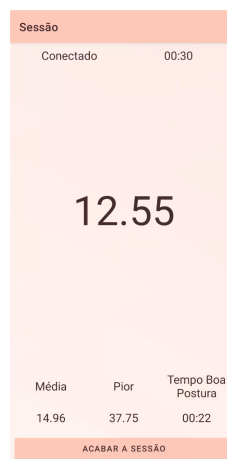


Figura 4.14: Página da sessão

As informações de estatísticas não são dados suficiente para um fisioterapeuta poder realizar uma avaliação com confiança, uma vez que não dá para observar uma progressão da postura do paciente ao longo do tempo. Assim decidimos que o ideal seria guardar os valores de uma sessão completa. Desta forma, foi necessário analisar que dados e como os íamos guardar. Como primeira opção pensamos em arranjar uma estrutura que guarda o valor e o *timestamp* em que foi recebido, para todas as medições na sessão. De forma a

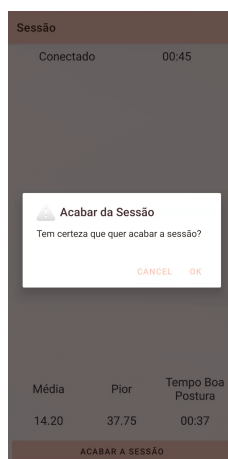


Figura 4.15: Página fim da sessão

não guardar o *timestamp* decidimos guardar os valores num intervalo constante de tempo, neste caso 1 segundo. O valor registado cada segundo é a média de todos os valores recebidos durante esse segundo. No caso de os valores não estarem na escala aceitável de valores (maior de 90 e menor 0), é guardado um valor de controlo (no nosso caso -1) para indicar que naquele segundo o valor transmitido pelo componente sensor não está correto. Este valor de controlo ajuda o fisioterapeuta a detetar interrupções durante a sessão.

Dado a quantidade de dados registados numa sessão, foi realizada uma pequena análise ao tamanho destes dados para analisar se seria necessário encontrar uma forma de comprimir a informação. Concluimos que não seriam muitos valores (3600 valores por hora). Foi testado a realização de uma durante 24 horas inteiro e concluimos, que não houve problemas com o armazenamento de dados.

4.2.4 Histórico de medições

Cada vez que o paciente quer consultar o histórico das medições, a aplicação efetua um pedido ao servidor que lhe devolve a lista de todas as medições feitas pelo paciente. Nesta página (Figura 4.16) estão presentes as medições imediatas e as sessões.

Para consultar as medições realizadas numa sessão, o paciente carregar numa sessão, após o que lhe é disponibilizada uma página (Figura 4.17) com as estatísticas guardadas sobre a sessão e também um gráfico circular. Este gráfico mostra de uma forma intuitiva que percentagem de tempo o paciente esteve com uma postura correta durante a sessão. A verde a percentagem de tempo em que o paciente esteve com uma postura correta, e a amarelo a percentagem de tempo com postura menos correta.

Caso exista momentos em que o sensor obteve valores inválidos, essa percentagem de tempo é ilustrado com a cor cinzenta. Para implementar estes gráficos na aplicação, foi utilizada uma biblioteca feita para Android [28] onde é possível gerar diferentes tipos de gráficos a partir de dados.

Histórico	
Sessões	Medições
34	15
Sessão-Secretária Casa 11-21-2021 15:43	AVG 17.17
Sessão-Outra situação Sentado 11-21-2021 15:32	AVG 13.02
Medição-Sofa 11-21-2021 15:29	ACV 26.15
Sessão-Secretária Casa 11-20-2021 20:02	AVG 47.77
Sessão-Outra situação Sentado 11-20-2021 19:57	AVG 20.86
Medição-Sofa 11-20-2021 19:55	ACV 48.52
Sessão-Secretária Casa 11-20-2021 19:50	AVG 45.04
Sessão-Outra situação Sentado 11-20-2021 19:37	AVG 4.02
Medição-Sofa 11-20-2021 19:34	ACV 23.74
Sessão-Secretária Casa 11-20-2021 19:21	AVG 16.87
Sessão-Outra situação Sentado 11-20-2021 19:12	AVG 8.89
Medição-Sofa 11-20-2021 19:10	ACV 9.31

Figura 4.16: Página com lista das medições feitas

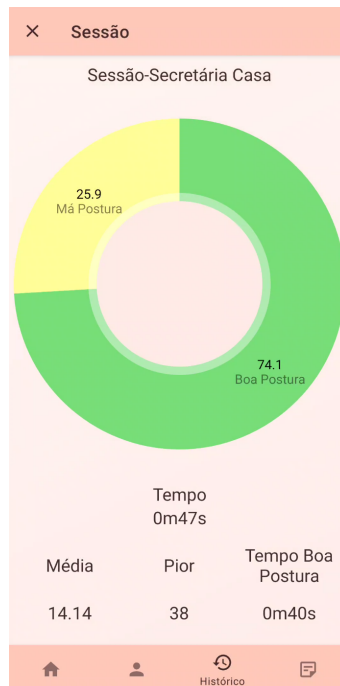


Figura 4.17: Página da sessão guardada

4.2.5 Perfil utilizador/paciente

O perfil do utilizador consta de uma simples página (Figura 4.18) onde é mostrado a informação do fisioterapeuta que está a tratar o paciente e a informação do paciente.

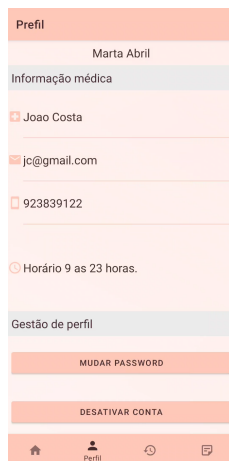


Figura 4.18: Página do perfil

Nesta página também é possível alterar a *password*. Quando o utilizador pedir para alterar a *i*, o sistema envia, por email (Figura 4.19), uma nova *password* temporária, e no momento, em que o utilizador volta a fazer autenticação é-lhe pedido uma nova *password*.



Figura 4.19: Email com a *password* temporária

4.2.6 Comunicação fisioterapeuta/paciente

Apesar de não estar inicialmente planeado, decidimos que havia uma necessidade de desenvolver uma forma do fisioterapeuta poder comunicar com o paciente. O fisioterapeuta pode enviar mensagens/notificações aos pacientes que as podem consultar na sua aplicação. Para tal na aplicação existe uma página (Figura 4.20) com uma lista de mensagens. estas mensagens podem estar ativas ou inativas. No caso de estarem ativas o utilizador pode abrir a mensagem (Figura 4.21).

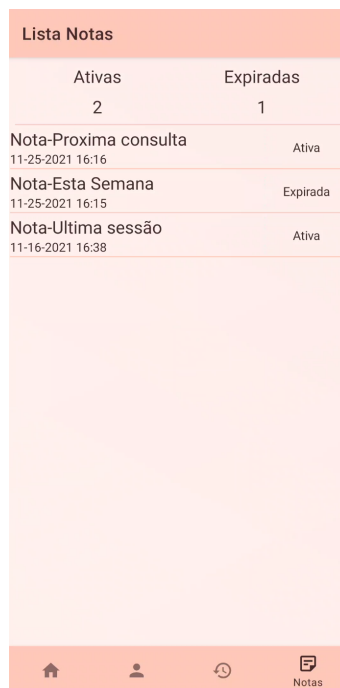


Figura 4.20: Página da lista de mensagens

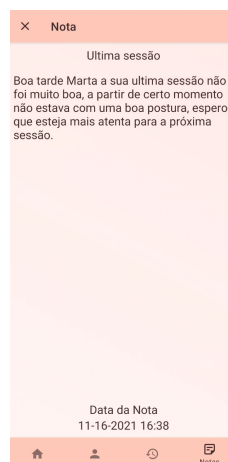


Figura 4.21: Página de uma mensagens

4.2.7 Entrar na aplicação

A página de autenticação (Figura 4.22) tem dois comportamentos: (1) no caso de ser usado uma *password* temporária ou (2) uma *password* normal.

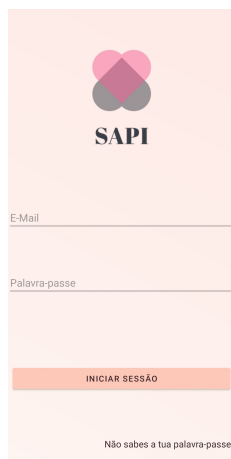


Figura 4.22: Página de autenticação

Caso seja a primeira vez que o paciente acede à aplicação, ou se quiser alterar a *password*, este recebe no seu email uma *password* temporária (ver figura 4.23). Quando o utilizador faz autenticação com essa *password* a aplicação identifica que é uma *password* temporária e abre uma nova página (Figura 4.24) onde é pedido ao utilizador que introduza uma nova *password*.

Caso de trate de um acesso normal e caso as credenciais estejam corretas, o utilizador tem acesso à aplicação e a mesma guarda o *token* com o identificador e validade da sessão. Neste momento o paciente fica com acesso às funcionalidades através da página principal da aplicação.


Se o utilizador se esquecer da *password* existe uma forma de recuperar a conta, através do método usado para a primeira vez que um utilizador entra na aplicação, sendo-lhe enviada uma *password* temporária para o email.

4.3 Servidor

No servidor era necessário manter alguns dados, já identificados na secção 3.2.3. Para tal foi desenhada uma base de dados que será mantida no servidor. O esquema desta base de dados está ilustrado na Figura 4.25. Nela existem 4 tabelas principais:

- Medição: Apesar de haver dois tipos de medições decidimos ter ambos na mesma tabela, para isso temos um atributo que identifica que tipo é a medição, *isTypeSession*. Em comum temos os atributos data de criação, categoria, avg/valor imediato, identificador do paciente e uma chave única. Os outros atributos são específicos da sessão que ficarão a *Null* quando for uma medição instantânea. Esses atributos são

Figura 4.23: Email de bem vindo com a *password* temporária



SAPI

Bem vindo
Gabriel Botelho
Adicione uma nova password

Palavra-passe

Repetir Palavra-passe

GUARDAR

Figura 4.24: Página de autenticação de um utilizador novo ao sistema

os dados sessão, o tempo em que o paciente esteve bem posicionado, o tempo em que este esteve mal posicionado e o pior ângulo.

- Medico: Nesta tabela é guardado a informação do email, o telefone, o nome e *password* do médico.
- Paciente: Nesta tabela é guardado a informação do email, o telefone, o nome, *password* e o ângulo objetivo do paciente. Também existem campos como as observações e identificador do médico responsável pelo paciente.
- Mensagem: Nesta tabela é guardada a mensagem, a data de criação, o identificador do autor da mensagem e do recetor e o estado da mensagem.

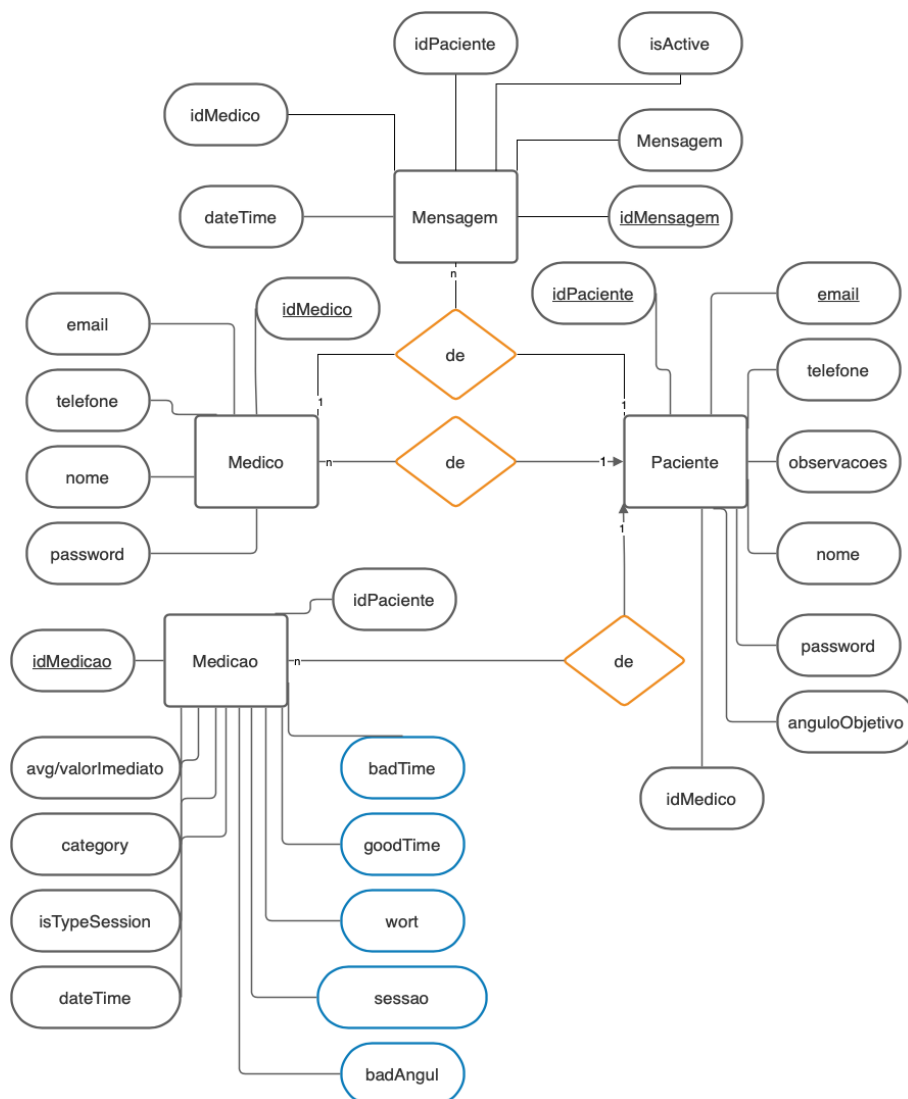


Figura 4.25: Diagrama do modelo entidade relacionamento usado para desenvolver a base de dados

O servidor foi desenvolvido usando uma Framework, neste caso foi usando a Spring [50] e o software Swagger [20], que é uma linguagem de definição, que serve para descrever APIs REST usando JSON.

O servidor tem uma API, que foi desenvolvida a partir da estrutura definida na secção 3.2.3. Com API desenvolvida começamos a implementar a estrutura da base de dados. Ao implementamos a base de dado, decidimos juntar a tabela paciente e a tabela médico uma vez eram muito parecidas, criamos uma tabela de utilizadores com a informação em comum entre os dois. As tabelas originais ficam assim com uma chave da tabela utilizadores e a informação específica de cada um, esta técnica é chamada hierarquia de dados. Para guardar os valores das medições realizadas em uma sessão averiguamos qual seria a melhor a melhor forma de guardar a informação uma vez que o campo sessão é especial porque tem tamanho variado. Com esta restrição decidimos guardar a sessão (o array de inteiros) num ficheiro. Para guardar um ficheiro numa base de dados é preciso guardá-los sob a forma de Blob [54]. Uma Blob é objeto grande binário, para a base de dados isso implica que em vez da memória do deste campo ser alocada pelo tamanho da coluna é alocada para cada entrada (ficheiro). Inicialmente a framework gerava uma base de dados em **h2**, este é uma base de dados que guarda a informação em memória assim cada vez que desligamos o servidor a informação era apagada. Para manter os dados de forma persistente no sistema alteramos a nossa base de dados para o **mysql**, uma vez que é uma base de dados fácil de implementar e *opensource*. Uma vez que estamos a usar o Spring a transição foi fácil. A estrutura final da base de dados pode ser vista no seguinte diagrama ER na Figura 4.26, que foi gerado com programa **SQLWorkbench**. Nesta podemos observar que a nossa base de dados está dividida em 6 tabelas: nota, paciente, medico, user, medição e file.

A comunicação entre o servidor e as aplicações é feita através de pedidos REST nos endereços definidos na API assim tivemos de implementar a comunicação na parte das aplicações. Na aplicação do paciente usamos a biblioteca para Android, Volley [19]. A biblioteca Volley facilita a criação de pedidos HTML bem como ao processamento das repostas do servidor. No desenvolvimento da aplicação do fisioterapeuta geramos umas funções em Typescript usando o Swagger e a ferramenta online do Swagger [20]. As funções geradas fazem servem pedidos HTML à base de dados.

A maior parte da segurança do sistema é feita pelo servidor uma vez que é aqui que podemos certificar que só interage com os dados do sistema quem tem autoridade para o fazer. Para os utilizadores terem acesso ao serviço é necessário fazer autenticação, isto é fazer uma chamada ao servidor com as credenciais de utilizador do sistema. No sistema as credenciais são o email e um *password*. Caso esta informação correta é devolvido pelo servidor um token que deve ser usado pelas aplicações para poder ter acesso ao resto do conteúdo presente na base de dados. Este token é um conjunto de caracteres que está codificado, este tem o identificador do utilizador bem como uma validade para o próprio token. A cada pedido é devolvido ao utilizador um novo token com a validade atualizada. Com este token podemos garantir que os utilizadores só acedem à informação se tiverem

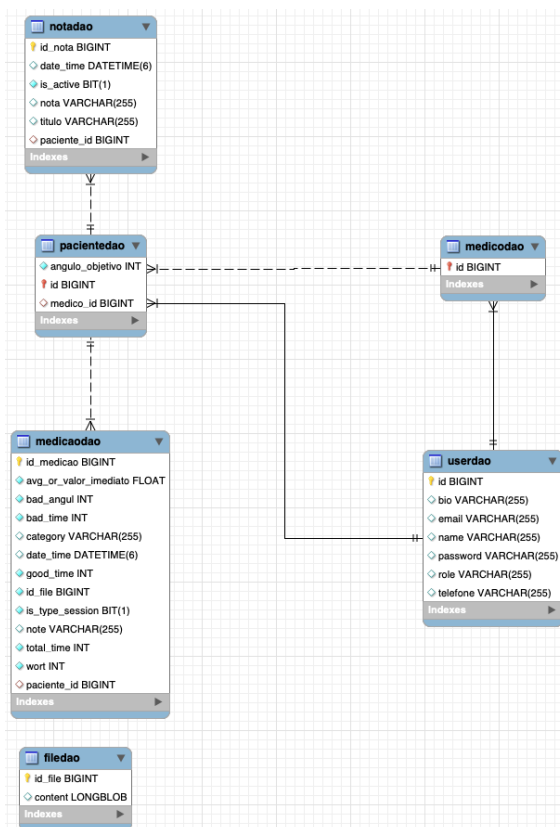


Figura 4.26: Diagrama do modelo entidade relação obtido do MySQL

autorização de ver ou modificar. Por exemplo um paciente só pode ver as suas medições caso faça um pedido às medições de outro paciente o acesso é negado. Em conjugação com o token utilizamos cookies que garantem que quem usa o token é a mesma pessoa que fez autenticação.

4.4 Aplicação do fisioterapeuta

A aplicação do fisioterapeuta é a componente que vai ser utilizada pelo fisioterapeuta para registar pacientes, e poder consultar e analisar as medições realizadas pelos seus pacientes. Esta aplicação é uma aplicação web. Essa decisão foi feita porque tivemos em mente que na maioria dos consultórios existe um computador que tem acesso à Internet. Esta aplicação web foi implementada usando a Framework React [11] desenvolvida pelo Facebook.

A página de autenticação (Figura 4.27) da aplicação, só aceita credenciais de médicos antes registadas. Caso as credenciais estejam corretas é devolvido o token que é guardado no navegador e é aberta a página inicial.

A página inicial (Figura 4.28) é uma página dividida em duas componentes: (1) uma com os pacientes e (2) outra com a parte do perfil do médico. Na primeira é possível ver a lista dos pacientes e ter acesso a uma página para criar um novo paciente. Os pacientes

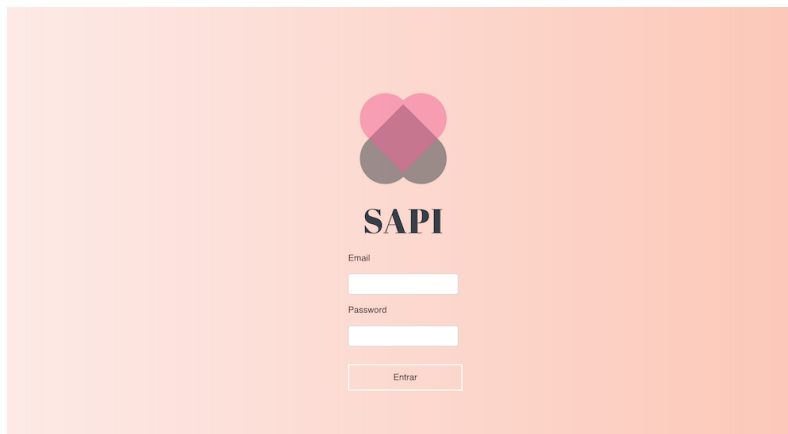


Figura 4.27: Página de autenticação.

podem ser pesquisados na lista pelo nome. Na segunda é possível visualizar o email, o telefone, os dados úteis e alterar alguns destes campos.



Figura 4.28: Página principal.

Ao seleccionar um paciente, é mostrada a página deste (Figura 4.29) onde temos acesso à lista com suas medições. Cada registo da lista tem a informação das medições como: o nome, a data de realização e no caso de ser uma sessão a média da mesma e no caso de ser uma medição instantânea o ACV obtido. Na lista pode ser escolhido só para aparecer sessões ou medições instantâneas, os elementos da lista podem ser pesquisados por nome e é possível apagá-las. Nesta mesma página da interface temos um botão que nos dá acesso ao sistema de mensagens. Na página do paciente é possível gerir o perfil do paciente, adicionar informação e alterar o seu ACV objetivo. As medições instantâneas não têm nenhuma ligação com outra página uma vez que toda a informação útil está visível na lista. Por outro lado cada sessão terá uma página (Figura 4.30) associada.

Na página de cada sessão é possível visualizar todas as medições registadas, as quais estão guardadas num array de ângulos que é armazenado na base de dados. Nesta página são apresentados dados estatísticos e também é mostrado um gráfico interativo, para



Figura 4.29: Página do paciente.

gerar este gráfico usamos uma biblioteca chamada React-vis [49]. Neste gráfico é possível visualizar a sessão ao longo do tempo, ou seja, a medição do ângulo em cada segundo. Neste gráfico é visualizada uma linha que indica o limite objetivo definido para a mesma sessão. É de notar que, nos momentos em que a os dados não são válidos, os pontos da linha ficam posicionada no valor -1. Caso a sessão tenha uma duração extensa, é possível alterar o intervalo de tempo. Por exemplo em vez de segundo em segundo pode ser de minuto em minuto (60 segundos). Quando se muda o intervalo de tempo, a aplicação apresenta como valor de medição num dado instante/intervalo, uma média de todos os segundos dentro do intervalo definido, retirando os com valores inválidos. Nesta página é dada ao fisioterapeuta a possibilidade de registar um comentário sobre a sessão.



Figura 4.30: Página da sessão.

Na aplicação do fisioterapeuta existe uma página que permite ao fisioterapeuta mandar mensagens aos seus pacientes (Figura 4.31). Nesta página é possível visualizar as

mensagens já enviada e caso seja pretendido desativá-las para que o paciente não as veja.



Figura 4.31: Página das mensagens.

Por último, na aplicação web existe uma página de administração (Figura 4.32) onde é possível adicionar um médico ao sistema, esta página é acedida através de autenticação usando umas credenciais especiais.

Figura 4.32: Página do administrador.

4.5 Sumário

O desenvolvimento do SAPI em geral foi desenvolvida por fases: (1) desenvolveu-se a componente sensorial; (2) a aplicação do paciente; (3) o servidor com a API e base de dados e (4) a aplicação do fisioterapeuta.

Em cada componente foram usadas diferentes tecnologias como se pode observar na Figura 4.33. É de salientar que a comunicação entre o servidor é feito com pedidos REST.

A API a base de dados e aplicação do fisioterapeuta foram alojados num computador pessoal, a aplicação do paciente foi compilada para ser instalada num telemóvel Android.

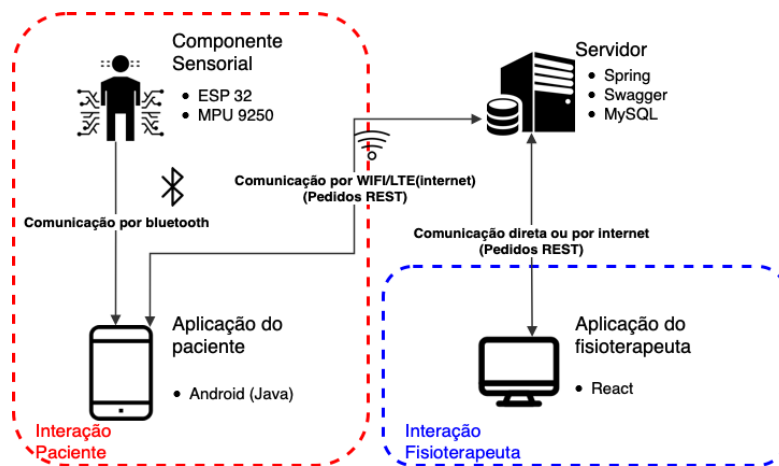


Figura 4.33: Tecnologias usadas em cada componente.

AVALIAÇÃO DO SISTEMA

Neste capítulo vamos descrever a avaliação realizada ao sistema SAPI, bem como os seus resultados e *feedback* obtido dos participantes. A avaliação do sistema foi realizada nas três componentes do sistema: sensorial, aplicação móvel do paciente e aplicação web do fisioterapeuta.

5.1 Avaliação da componente sensorial

A componente sensorial foi testada em 3 características diferentes: dados obtidos, conforto e usabilidade.

5.1.1 Avaliação dos dados obtidos

Os primeiros testes foram feitos para averiguar qual é a precisão e exatidão dos dados obtidos pelo sistema em relação à realidade.

O primeiro teste consistia na realização e registo de medições do ACV de pacientes na posição sentada numa sessão com a duração de 5 minutos. Estas medições foram realizadas com o dispositivo, ao mesmo tempo que uma camera filmava a postura dos pacientes. Para saber os valores do ângulo, que é medido a partir das filmagens, utilizamos o software Tracker [41]. No software indicamos quais são os pontos que tem de seguir e usando a ferramenta transferidor obtemos um gráfico com o ângulo medido ao longo do tempo (um exemplo desse gráfico pode ser visto na Figura 5.1). Um exemplo dum gráfico gerado pela nossa aplicação para o mesmo exemplo apresentado na Figura 5.1 pode ser visto na Figura 5.2. Através da comparação dos dois gráficos gerados (software Tracker e o nosso dispositivo), podemos avaliar os valores obtidos pelo nosso sistema. Após a realização deste teste, podemos concluir que: (1) a componente sensorial é muito boa a averiguar diferenças de ângulos; (2) os dados obtidos têm um desvio nos resultados em

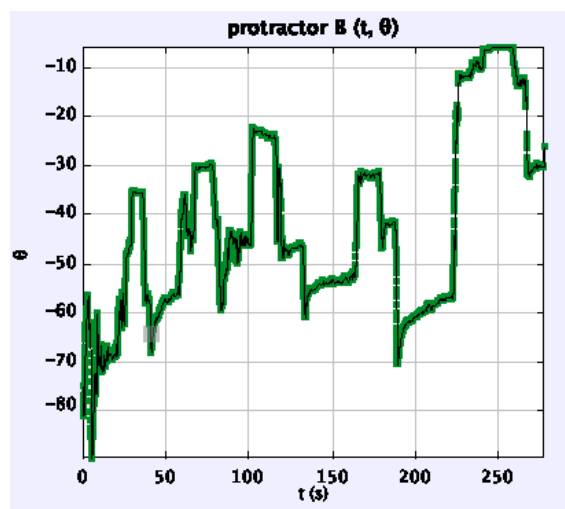


Figura 5.1: Gráfico gerado pelo Tracker com ângulo ao longo do tempo

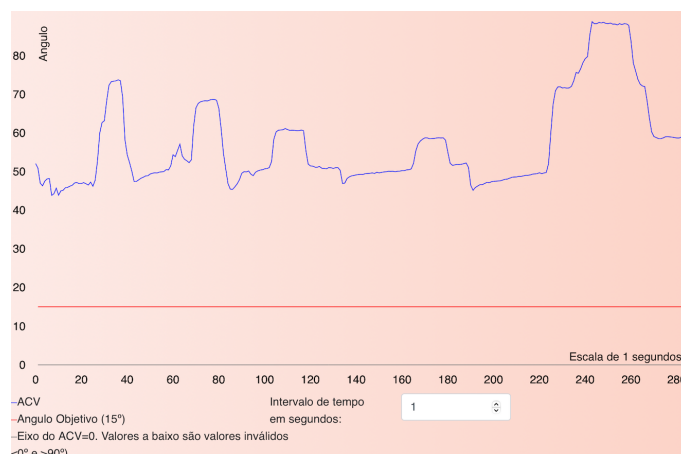


Figura 5.2: Gráfico gerado pelo sistema com ângulo ao longo do tempo

relação com a medida do ACV. Esta última conclusão é um problema, no entanto existem duas razões para esse desvio:

- O ângulo que estamos a obter não é exatamente o ACV, mas sim uma derivada do AVC (ângulo denotado por “a”) na figura 5.3). No entanto, a partir deste ângulo obtido “a”, pode-se obter o ângulo denotado por “b”) na figura 5.3, o qual é o complementar do ângulo a, ou seja $b=90-a$. Na figura 5.3, o ACV é identificado por “c)”, e o que sabemos é que a diferença entre o ângulo “b)”) e o “c)”) (ACV) é constante, ou seja $b-c=k$. Note-se que k é constante que depende de pessoa para pessoa. Concluímos assim que “a)”) na figura 5.3 é uma derivada do ângulo ACV, $a=-(ACV+k)+90$.
- A posição em que o paciente coloca o sensor. Uma vez que as costas não são totalmente lisas a inclinação da caixa grande vai variar dependendo do sítio em que

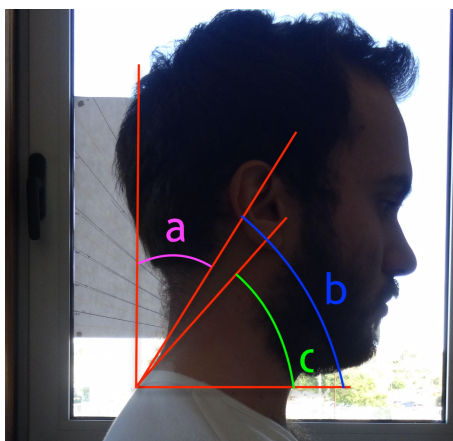


Figura 5.3: Comparação do ângulo obtido com o ACV

participantes colocam a mesma.

5.1.2 Avaliação da usabilidade e conforto

Ao mesmo tempo que realizamos os testes da aplicação do paciente com utilizadores (secção 5.2), executamos também os testes de usabilidade e conforto da componente sensorial.

Esta avaliação consta de três tarefas principais: (1) Ligar e calibrar o sensor, (2) colocar os dispositivos nas costas e pescoço e (3) realizar uma sessão de 5 minutos.

Esta avaliação foi realizada por 14 utilizadores, 5 do sexo feminino e 9 do sexo masculino (Figura 5.4), com idades compreendidas entre 20 e 60 anos (Figura 5.5).

Dispersão de géneros no estudo.

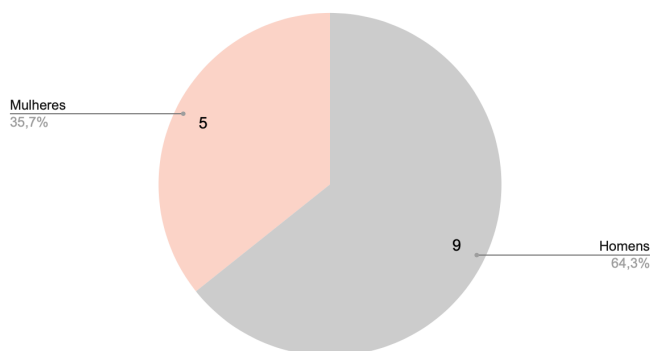


Figura 5.4: Dispersão de género no estudo.

Na tarefa de ligar e calibrar o dispositivo, foi perguntado a cada utilizador se o processo de ligação e calibração era fácil e intuitivo. A maioria dos utilizadores (13 em 14 utilizadores) acharam o processo intuitivo e fácil. No entanto, um utilizador comentou que deveria haver *feedback* do sensor quando acabasse de calibrar. A ausência de *feedback*

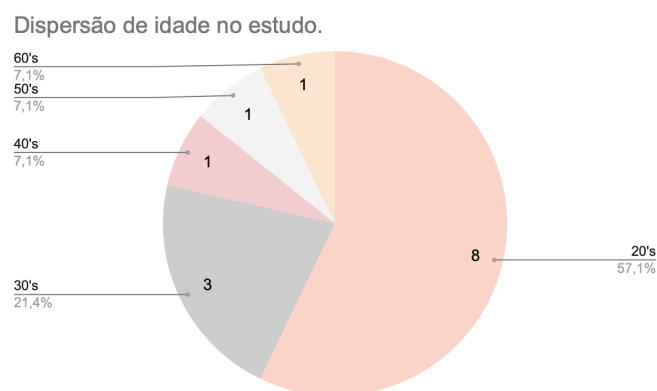


Figura 5.5: Dispersão da idade no estudo.

na realização da calibração pode ser visto como um problema. No entanto seria muito fácil de resolver, usando por exemplo o motor vibratório.

Na tarefa de colocação dos sensores foram colocadas questões aos utilizadores, relativamente à colocação do dispositivo nas costas e no pescoço. Os utilizadores deveriam responder numa escala de 1 a 5 (difícil a fácil) dependendo do grau de facilidade na colocação. Como se pode observar no gráfico da figura 5.6, 4 utilizadores acharam fácil a colocação do dispositivo nas costas, enquanto que 10 acharam menos fácil. É de notar que nenhum utilizador considerou grandes dificuldades na colocação do dispositivo nas costas. Quanto à colocação do dispositivo no pescoço, a maioria acharam que esta colocação era fácil, no entanto como se pode observar no gráfico da figura 5.7, alguns utilizadores apresentaram dificuldades. Isto aconteceu porque a roupa que usavam não era a mais adequada, nomeadamente roupa mais larga ou com capuz como uma sweatshirt. Em geral, nesta atividade os utilizadores questionaram a ligação entre do cabo de ligação entre o sensor das costas e o do pescoço que atrapalhava a colocação dos mesmos.

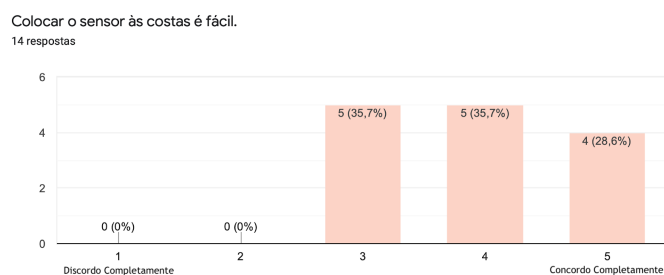


Figura 5.6: Resultado do teste colocar sensor nas costas.

Durante a realização dos testes os utilizadores foram questionados se a sessão de recolha de valores foi intuitiva, relativamente a esta questão todos responderam que sim. Também foi perguntado aos utilizadores se a utilização do dispositivo era confortável,

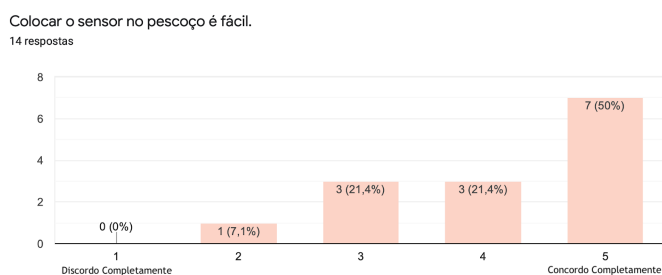


Figura 5.7: Resultado do teste colocar sensor no pescoço.

relativamente a esta questão 8 dos 14 utilizadores (ver gráfico na figura 5.8) indicaram que o dispositivo não foi muito confortável de usar. A principal razão de desconforto era o sensor das costas uma vez que este fica entre o utilizador e a cadeira.

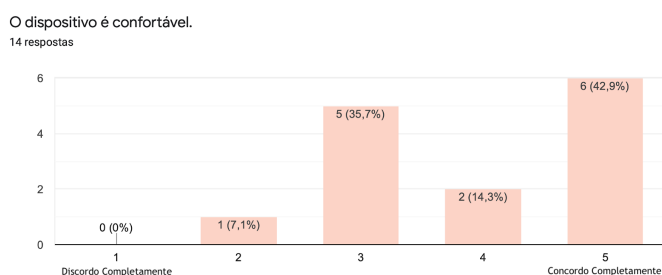


Figura 5.8: Resultado do conforto do sensor durante o teste.

5.1.3 Proposta de solução aos problemas encontrados

Apesar de todo o desenvolvimento feito para a afixação das duas caixas que fazem a composição da componente sensorial, continuamos a ter alguns problemas de conforto e colocação. Estes problemas acontecem principalmente por causa da caixa posicionada nas costas, esta é difícil de colocar e ser colocada de forma correta o que influencia os resultados obtidos como referido na subsecção 5.1.1 e esta interfere com as cadeiras quando os pacientes estão sentado. Para evitar este problema idealizamos um sistema dividido em 3 caixa: duas caixas pequenas com os sensores e uma caixa maior com a unidade de processamento. As caixas pequenas ficariam, uma no pescoço e outra na parte superior das costas e a maior (com o microcontrolador e bateria) ficaria num sítio confortável como por exemplo na cintura.

5.2 Avaliação da aplicação do paciente

A aplicação do paciente foi desenvolvida para ser usada pelo paciente. Nesta o paciente pode registar a informação obtida pelo sensor, obter o histórico das suas medições e receber mensagens do fisioterapeuta.

Para avaliar a aplicação do paciente foram desenhados 4 cenários que testam as principais funções da aplicação. Estes cenários foram testados com os mesmos 14 utilizadores descritos da secção 5.1.2.

Durante a realização dos cenários, foram retiradas notas das dificuldades que os utilizadores tiveram bem como as suas sugestões. Para cada cenário, o utilizador indicava numa escala de 1 a 5 se foi fácil e intuitiva a utilização da aplicação.

5.2.1 Cenário 1

O utilizador é um novo utilizador do sistema este já foi criado e inserido pelo fisioterapeuta no sistema. Por isso já recebeu no seu email “marta@teste.com” a senha temporária “1234GABI”. O utilizador pretende aceder à aplicação, fazendo *login* e mudar a *password* temporária para “password”. Depois de fazer *login* este pretende ligar o seu sensor à aplicação.

5.2.2 Cenário 2

O utilizador pretende fazer *login* no sistema com as suas credenciais “marta@teste.com” como email e “password” como *password*. Ao aceder a aplicação uma vez que tem o sensor ligado este conecta automaticamente. Tendo os dados do sensor a serem recebidos na aplicação o utilizador, sentado no sofá, pretende fazer uma medição instantânea.

5.2.3 Cenário 3

O utilizador já fez *login* e tem o sensor ligado à aplicação. O utilizador sentado no chão pretende iniciar uma sessão, mas não pretende ativar o *feedback*. Passado alguns minutos deve terminar a sessão.

5.2.4 Cenário 4

O utilizador já fez *login* e não tem o sensor conectado com a aplicação. O utilizador pretende ver a última nota enviada pelo seu fisioterapeuta. Depois de ler essa nota vai aceder aos dados da sua última sessão.

5.2.5 Resultados

Dos testes realizados com 14 utilizadores observamos que em geral os cenários foram executados sem dificuldades. Os problemas encontrados, dizem respeito à utilização dos ícones da aplicação. Por exemplo no cenário 1, quando se pede ao utilizador para conectar

sensor à aplicação só 7 dos utilizadores acharam intuitivo (ver gráfico na figura 5.9). A principal razão para os utilizadores não acharem fácil foi que o símbolo não era óbvio que fosse um sensor.

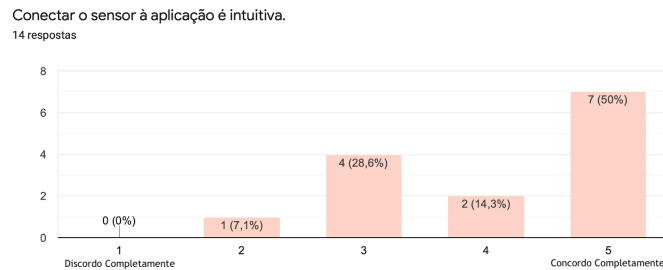


Figura 5.9: Resultado do procedimento de ligar sensor à aplicação.

Outro problema observado aconteceu no cenário 3, quando se pedia para aceder às notas enviadas pelo fisioterapeuta. Nesta ação só 6 do 14 acharam fácil o procedimento (Figura 5.10). Apesar de estar um ícone de uma nota nos botões de navegação alguns utilizadores tiveram dificuldade em relacionar este ícone com notas principalmente os utilizadores mais velhos. Uma forma de solucionar esta dificuldade com os ícones, poderá passar por dar alguma formação aos utilizadores, ou mesmo legendar os ícones.

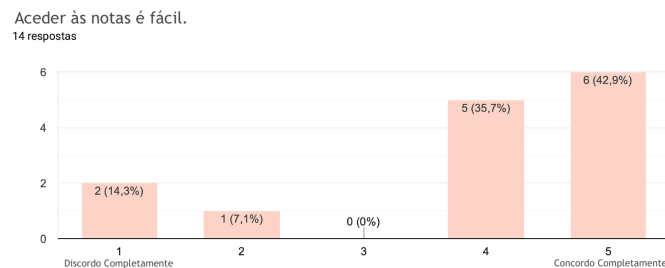


Figura 5.10: Resultado do procedimento de aceder às notas.

No final da realização da avaliação da aplicação do paciente e a componente sensorial foi pedido aos utilizadores para responder à versão portuguesa de um System Usability Scale (SUS) [35]. O SUS é um questionário que permite de uma forma estandardizada averiguar o nível de usabilidade de um sistema. A média de pontuação no SUS é de 68%, a pontuação da SAPI foi de 85% que na escala equivale a um excelente.

A aplicação do paciente também foi avaliada por uma fisioterapeuta, a qual gostou das funcionalidades desta aplicação, assim como do desenho da mesma. Para além disso, salientou a grande vantagem que existe na capacidade de ativar e desativar o aviso vibratório durante as sessões.

5.3 Avaliação da aplicação do fisioterapeuta

A aplicação do fisioterapeuta é uma aplicação web, que foi desenvolvida para ser usada pelo fisioterapeuta. Nesta é possível adicionar ao sistema pacientes e modificar a informação do seu perfil. Também é possível visualizar e avaliar as medições realizadas pelos seus pacientes. Por último é possível criar e desativar as notas do fisioterapeuta.

Para avaliar a aplicação do fisioterapeuta foram desenhados 3 diferentes cenários que testam as diferentes funcionalidades desta aplicação web. Estes cenários foram testados com ajuda de uma fisioterapeuta. Durante a realização dos cenários foram registadas todas as dificuldades e recomendações para posteriormente serem utilizadas para melhorar a experiência de utilização do sistema.

5.3.1 Cenário 1

O utilizador/fisioterapeuta com email “ana@teste.pt” e *password* “password”, faz *login* no sistema. No sistema adiciona um novo utilizador, que é o seu paciente “Luís Garcia” que tem como email “lg@teste.pt” e número de telefone é “938132421”. Na consulta o fisioterapeuta decide que o ângulo objetivo é de 18 graus, o qual deve ser registado na ficha do paciente. Na consulta o fisioterapeuta altera o seu telefone para “99999999”.

5.3.2 Cenário 2

O utilizador/fisioterapeuta consulta no sistema a última sessão do seu paciente “Gabriel Botelho”. Como a sessão é longa, altera o intervalo para 30 segundos. O fisioterapeuta regista que o paciente teve uma boa postura no início da sessão, mas no final houve posturas incorretas.

5.3.3 Cenário 3

O utilizador/fisioterapeuta regista no sistema na ficha do paciente “Gabriel Botelho” que o novo objetivo é 17 grau. Uma vez que mudou o ângulo, o fisioterapeuta manda uma nota ao paciente que a partir de hoje tem um novo objetivo. Depois de enviar a nota desativa a nota a dizer que o paciente estava a trabalhar pouco.

5.3.4 Resultados

A fisioterapeuta executou os cenários sem intervenção do examinador. Na opinião da fisioterapeuta a utilização da aplicação é intuitiva, fácil e agradável. A crítica mais recorrente foi o tamanho de alguns campos. No que diz respeito à visualização dos dados recolhidos pela componente sensorial, a fisioterapeuta considerou os dados muito úteis, e a sua apresentação muito intuitiva, tornando esta aplicação uma mais-valia para prevenção, diagnóstico e acompanhamento de utentes/doentes com anteriorização da cabeça.

Material	custo
1 Microcontrolador TTGO T7 v1.3	6,13€
2 IMU mpu-9250	10,00€
Bateria 1100mAh 3.7V	3,93€
1m Fios de ligação	0,22€
2 Caixas Impressão 3D	3,00€
0.25 m ² Tecido elástico	1,75€

Tabela 5.1: Tabela de preços (aproximados) do material usado na componente sensorial

5.4 Avaliação do custo do sistema

Um dos requisitos do nosso sistema é poder ter um dispositivo de baixo custo. Tendo em conta os componentes que estamos a usar, calculamos qual é o custo de uma componente sensorial e o custo de ter o serviço a funcionar.

5.4.1 Custo da componente sensorial

A componente sensorial é composta por: 1 microcontrolador, 2 IMU, 1 bateria, 1m de Fios de ligação, 2 caixas, 0,25 m² tecido elástico. Na tabela 5.1 é possível ver o preço associado ao material. O preço total de produzir uma componente sensorial é cerca de 25€.

5.4.2 Custo de manter o sistema ativo

A parte de software do sistema está dividido 3 componentes: a aplicação do paciente, o servidor e a aplicação do fisioterapeuta.

5.4.2.1 Aplicação do paciente

A aplicação do paciente foi desenvolvida para ser executado no hardware dos pacientes, assim não existe nenhum custo para nós de correr a nossa aplicação nesses dispositivos. O único custo é o de distribuição do software. Para distribuir o software temos 2 opções: (1) distribuir através do nosso serviço ou (2) usar os serviços da Google. A primeira opção, obrigaria que o paciente tivesse capacidade de instalar aplicações de fontes externas, o que não é de esperar. Por essa razão o segundo método é o escolhido uma vez que é fácil para o paciente instalar através da loja da Google. O custo de publicar uma aplicação nas plataformas da Google é de 25€.

5.4.2.2 Servidor

O nosso servidor é responsável por alojar 3 componentes: a API, a Base de Dados e a aplicação do fisioterapeuta. Como foi discutido na secção 2.3.2.2 existem duas hipóteses

de alojar o servidor: localmente e num serviço Cloud. Todo o software foi desenvolvido de forma a funcionar em qualquer uma das situações, assim avaliamos o custo de cada solução.

Cloud Existe muitas empresas que disponibilizam serviços Cloud: Google, Azure, AWS, etc... Escolhemos obter um orçamento para o nosso sistema na Azure. Uma máquina virtual para correr a nossa API em Spring e hospeda a aplicação do fisioterapeuta, custa no mínimo 7,55€ por mês na Azure. As características dessa máquina são: 1 core virtual, 1 *gigabyte* de memória RAM e 4 *gigabyte* de memória interna. Para alojar base de dados é necessário criar uma instância de MySQL que na Azure com mínimo de 10 Gb de capacidade que custa 1,68€ por mês. Dando assim um total de 9,27€.

Localmente Para correr localmente existe várias soluções diferentes uma vez que a maioria dos computadores consegue alojar os 3 componentes. Mas um servidor com 4 cores, 8 Gb RAM e 600Gb de memória tem um custo de 100€¹, com o custo energético 45W isso representaria mensalmente 6,60 €.

Cloud vs Localmente Apesar que o custo inicial de alojar um servidor localmente ser maior, uma vez que é necessário adquirir o hardware, e de ser necessário fazer a sua manutenção, ao longo do tempo esse investimento pode vir a compensar, relativamente à solução cloud.

5.5 Sumário

Após a avaliação do sistema, concluímos que o sistema SAPI tem alguns problemas, principalmente na componente sensorial. As restantes componentes em geral são fáceis e intuitivas de usar e muitos dos problemas encontrados durante os testes já foram corrigidos. A fisioterapeuta achou o sistema fácil de usar e útil para o diagnóstico e acompanhamento dos seus pacientes. O sistema SAPI tem um custo por paciente de 25€, e para a fisioterapeuta, o custo inicial é de 125 € com custo de manutenção do servidor é de 80€ por ano.

¹O custo do servidor foi obtido a partir de uma média de preços de uma plataforma de venda de computadores em segunda mão.

CONCLUSÃO

Neste capítulo serão descritas as principais conclusões do trabalho realizado, assim como serão enumeradas algumas recomendações futuras que poderão melhorar/corrigir o sistema SAPI implementado nesta dissertação.

6.1 Conclusões

Hoje em dia cada vez mais temos formas de melhorar o nosso trabalho através das tecnologias. O protótipo, devolvido nesta dissertação, é uma demonstração do impacto da tecnologia no dia a dia de um fisioterapeuta. O protótipo foi criado com o objetivo de ajudar os fisioterapeutas a conseguirem fazer uma melhor avaliação de postura dos seus pacientes.

Em comparações com as soluções existentes no mercado e que foram analisadas nesta dissertação, a SAPI é uma das que tem o foco de ser usado num contexto médico. Sendo assim esta plataforma permite que um fisioterapeuta possa avaliar e acompanhar os seus pacientes em atividades fora do consultório.

Durante o desenvolvimento tivemos a intenção de criar um sistema que tivesse um custo reduzido para que esta fosse facilmente utilizado numa clínica pequena ou mesmo por um fisioterapeuta individual.

O sistema desenvolvido, como foi evidenciado na sua avaliação, é capaz de obter resultados com uma precisão suficientes para ajudar um fisioterapeuta a executar uma boa avaliação. No entanto o sistema apresenta alguns problemas quando o dispositivo/componente sensorial não é colocado de uma forma correta fazendo que haja um desvio de resultados e também problemas a nível de conforto no paciente.

De uma forma geral, pode-se dizer que o objetivo geral do sistema e desta dissertação foram cumpridos.

6.2 Trabalho Futuro

Apesar de todo o desenvolvimento feito durante a elaboração da tese, nem todos os aspectos ficaram como o pretendido.

6.2.1 Componente sensorial

Como referido anteriormente, a componente sensorial não está muito confortável, apesar de já existir uma solução idealizada essa não foi executada o que poderia ser feita numa segunda versão do sistema. Com a alteração da componente sensorial também abordávamos o problema offset dos dados, garantindo que os sensores eram postos nas costas na mesma posição todas as vezes. Durante as avaliações não testamos a funcionalidade de notificação (vibração) da componente uma vez que existia o problema do offset. Numa segunda fase de avaliação deveria ser averiguado o impacto dessa notificação na postura do utilizador.

6.2.2 Servidor

Durante o decorrer da tese um computador pessoal foi usado para alojar o serviço de API a base de dados e a aplicação do fisioterapeuta. Um trabalho futuro seria migrar estas partes para um servidor. Para as aplicações efetuarem as comunicações com o servidor temos usado o IP que o computador pessoal está a usar em qualquer momento, quando migrássemos os serviços ficaríamos com o IP estático e assim poderíamos obter um domínio.

6.2.3 Aplicação do paciente

- Um dos desenvolvimentos que poderíamos ter feito e que não foi executado, é ter a aplicação a correr em *background*, sem estar aberta. Por exemplo quando o paciente tiver a fazer uma sessão, simplesmente mostrar uma notificação.
- O utilizador não tem disponível a capacidade de editar a informação do seu perfil o que seria uma funcionalidade que deveria ser implementado futuramente.
- Uma funcionalidade interessante para ver as sessões e medições seria apresentar um calendário interativo em vez de apresentar uma simples lista.
- Para incentivar o paciente a usar o dispositivo poderíamos ter notificações a avisar à quantos dias este não faz uma sessão. Pela mesma razão poderíamos gamificar as sessões para que o utilizador use mais vezes a aplicação.
- Apesar de termos decidido desenvolver a aplicação em Android seria interessante fazer uma versão para iOS para aumentar o número de dispositivos que os pacientes podem usar.

6.2.4 Aplicação do fisioterapeuta

- Na aplicação do fisioterapeuta falta dar a possibilidade de o fisioterapeuta alterar a sua password, bem como uma forma segura de adicionar novos fisioterapeutas.
- A funcionalidade de arquivar os pacientes não foi implementada.
- Nas sessões dos paciente poderíamos disponibilizar outros tipos gráficos de resumo da sessão, como por exemplo o gráfico de queijo que existe na aplicação do paciente.
- Na lista de medições de um paciente em vez de apresentar sobre forma de uma lista poderíamos mostrar as medições num calendário interativo, também poderíamos indicar quais as medições que já foram abertas.
- Na aplicação do fisioterapeuta poderíamos implementar um algoritmo que fizesse uma avaliação das sessões de um paciente automaticamente. Mostrando assim ao fisioterapeuta uma espécie de resumo da progressão da postura dos seus pacientes.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Accelerometer and Tilt Sensor Differences*. Nov. de 2020. URL: <https://www.frederickscompany.com/whats-the-difference-between-an-accelerometer-and-a-tilt-sensor/>. (acedido em: 07.01.2021) (ver pp. 16, 17).
- [2] *Arduino Introduction*. URL: <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>. (acedido em: 07.01.2021) (ver p. 18).
- [3] I. Bagheri, S. Alizadeh e E. Irankhah. “Design and Implementation of Wireless IMU-based Posture Correcting Biofeedback System”. Em: mai. de 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/342145524_Design_and_Implementation_of_Wireless_IMU-based_Posture_Correcting_Biofeedback_System (ver pp. 13, 14).
- [4] H. M. Cheung Lau, T. T. Wing Chiu e T.-H. Lam. “Clinical measurement of crani-overtebral angle by electronic head posture instrument: A test of reliability and validity”. Em: *Manual Therapy* 14.4 (2009), pp. 363–368. ISSN: 1356-689X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.math.2008.05.004>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1356689X08001069> (ver pp. 9, 10).
- [5] *Computer Workstations eTool - Good Working Positions*. URL: <https://www.osha.gov/SLTC/etools/computerworkstations/positions.html>. (acedido em: 20.01.2021) (ver p. 2).
- [6] C. ECP, L. FS e B. A. “Plausible impact of forward head posture on upper cervical spine stability.” Em: *J Family Med Prim Care* 9.5 (mai. de 2020). ISSN: 2517-2520. DOI: [10.4103/jfmpc.jfmpc_95_20](https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_95_20) (ver p. 3).
- [7] S. Electronics. *Flex Sensor*. Ago. de 2012. URL: <https://www.flickr.com/photos/sparkfun/7902117124/>. (acedido em: 22.02.2021) (ver p. 17).
- [8] *ESP32*. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>. (acedido em: 07.01.2021) (ver pp. 19, 38).
- [9] *ESP8266*. URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>. (acedido em: 07.01.2021) (ver p. 19).
- [10] E. T. Eureka. *9-DOF SENSOR INSTEAD OF ABSOLUTE ENCODERS?* Out. de 2017. URL: <https://enigma2eureka.blogspot.com/2017/10/9-dof-sensor-instead-of-absolute.html>. (acedido em: 22.02.2021) (ver p. 17).

- [11] Facebook. *github of Facebook / React framwork*. URL: <https://github.com/facebook/react>. (acedido em: 25.10.2021) (ver p. 54).
- [12] *FCC ID 2AFW3-UR02(UPRIGHT GO internal)*. URL: <https://fccid.io/2AFW3-UR02>. (acedido em: 01.11.2020) (ver p. 10).
- [13] R. Fejer, K. Kyvik e J. Hartvigsen. “The prevalence of neck pain in the world population: A systematic critical review of the literature”. Em: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 15 (jul. de 2006), pp. 834–48. DOI: 10.1007/s00586-004-0864-4 (ver p. 2).
- [14] *File:Black man surface diagram from behind.svg*. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_man_surface_diagram_from_behind.svg. (acedido em: 26.10.2021) (ver p. 27).
- [15] *Flex Sensor Hookup Guid*. URL: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/flex-sensor-hookup-guide/all>. (acedido em: 07.01.2021) (ver p. 16).
- [16] *Flutter*. URL: <https://flutter.dev>. (acedido em: 24.11.2021) (ver p. 19).
- [17] *Gallup-Palmer College of Chiropractic Annual Report*, pp. 5–6. (acedido em: 02.02.2021) (ver pp. 2, 7).
- [18] *github of esp32/Arduino library*. URL: <https://github.com/espressif/arduino-esp32>. (acedido em: 07.01.2021) (ver p. 19).
- [19] Google. *github of google/ Volley android library*. URL: <https://github.com/google/volley>. (acedido em: 24.10.2021) (ver p. 53).
- [20] Google e JetBrains. *Swagger online editor*. URL: <https://editor.swagger.io>. (acedido em: 25.10.2021) (ver p. 53).
- [21] Google e JetBrains. *Website of Andoid Studio*. URL: <https://developer.android.com/studio>. (acedido em: 23.10.2021) (ver p. 41).
- [22] *Guide to Good Posture*. Dez. de 2020. URL: <https://medlineplus.gov/guidetogoodposture.html>. (acedido em: 20.01.2021) (ver pp. 1–3).
- [23] M. Hall. *NoSQL: what is it? (part 2)*. Fev. de 2017. URL: <https://medium.com/@meldenhall/nosql-what-is-it-part-2-d898d3e2b8c9>. (acedido em: 28.01.2021) (ver p. 21).
- [24] H. Han, H. Jang e S. W. Yoon. “Novel Wearable Monitoring System of Forward Head Posture Assisted by Magnet-Magnetometer Pair and Machine Learning”. Em: *IEEE Sensors Journal* 20.7 (abr. de 2020), pp. 3838–3848. ISSN: 1558-1748. DOI: 10.1109/JSEN.2019.2959817 (ver pp. 14, 15).
- [25] *Hipee-Smart Posture Device*. URL: <https://www.xiaomiyupin.com/detail?gid=136560>. (acedido em: 01.11.2020) (ver pp. 10–12).

- [26] S. Hogg-Johnson et al. “The Burden and Determinants of Neck Pain in the General Population”. Em: *European Spine Journal* 17 (abr. de 2008), pp. 39–51. DOI: 10.1007/s00586-008-0624-y (ver p. 2).
- [27] N. Hurst. *Visual Guide to NoSQL Systems*. URL: <https://blog.nahurst.com/visual-guide-to-nosql-systems>. (acedido em: 22.01.2021) (ver p. 21).
- [28] P. Jahoda. *github of MPAndroidChart/Android library*. URL: <https://github.com/PhilJay/MPAndroidChart>. (acedido em: 01.10.2021) (ver p. 46).
- [29] H. K. Jang, H. Han e S. W. Yoon. “Comprehensive Monitoring of Bad Head and Shoulder Postures by Wearable Magnetic Sensors and Deep Learning”. Em: *IEEE Sensors Journal* 20.22 (nov. de 2020), pp. 13768–13775. ISSN: 1558-1748. DOI: 10.1109/JSEN.2020.3004562 (ver p. 14).
- [30] S. Jeon, B. Ko e S. Son. “Prevention System of Forward Head Posture Using IMU and Infrared Distance Sensor”. Em: 2017. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Prevention-System-of-Forward-Head-Posture-Using-IMU-Jeon-Ko/4917fe3fd56a28f05cd6ff57b3371a9d4b8ae50e> (ver pp. 11, 13).
- [31] T. Kim, S. Chen e J. Lach. “Detecting and Preventing Forward Head Posture with Wireless Inertial Body Sensor Networks”. Em: *2011 International Conference on Body Sensor Networks*. Mai. de 2011, pp. 125–126. DOI: 10.1109/BSN.2011.41 (ver pp. 13, 14).
- [32] C. Kovach, M. Taani e C. Evans. “RESTRICTIVE VENTILATORY PATTERNS IN RESIDENTS OF CONTINUING CARE RETIREMENT COMMUNITIES”. Em: *Innovation in Aging* 2 (nov. de 2018), pp. 499–499. DOI: 10.1093/geroni/igy023.1858 (ver p. 3).
- [33] *Maintaining Concordance as Seated Postures Change*. URL: <https://www.workspaces.ro/en/maintaining-concordance-seated-postures-change>. (acedido em: 26.10.2021) (ver p. 26).
- [34] S. Mani et al. “Quantitative measurements of forward head posture in a clinical settings: a technical feasibility study”. Em: *European Journal of Physiotherapy* 19 (mar. de 2017), pp. 1–5. DOI: 10.1080/21679169.2017.1296888 (ver p. 4).
- [35] A. I. Martins et al. “European Portuguese Validation of the System Usability Scale (SUS)”. Em: *Procedia Computer Science* 67 (2015). Proceedings of the 6th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion, pp. 293–300. ISSN: 1877-0509. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.273>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050915031191>. (acedido em: 18.11.2021) (ver p. 65).

- [36] J. Matyunina. *React Native vs Native: How to Choose a Platform for Mobile App Development*. Nov. de 2020. URL: <https://codetibur.com/react-native-vs-native-choose-best-platform-mobile-app-development/>. (acedido em: 28.01.2021) (ver p. 20).
- [37] S. Melo. *Cloud storage vs local storage: What is the right for your business?* Mar. de 2020. URL: <https://mydatascope.com/blog/en/cloud-storage-vs-local-storage-what-is-the-right-for-your-business/>. (acedido em: 28.01.2021) (ver p. 21).
- [38] *Osteoporose*. URL: <https://www.cuf.pt/saude-a-z/osteoporose>. (acedido em: 28.12.2020) (ver p. 8).
- [39] N. Pentapati et al. "IoT Based Smart Posture Detector". Em: *Proceedings of the Global AI Congress 2019*. Vol. 1112. 2020, pp. 197–206. DOI: 10.1007/978-981-15-2188-1_16 (ver p. 13).
- [40] M. Perakash. "3 Ways Your Employees' Posture is Hurting Your Bottom Line". Em: (2015). URL: <https://www.inc.com/monisha-perkash/3-ways-your-employees-posture-is-hurting-your-bottom-line.html>. (acedido em: 14.10.2020) (ver p. 2).
- [41] O. S. Physics. *Tracker tool site*. URL: <https://physlets.org/tracker/>. (acedido em: 11.11.2021) (ver p. 59).
- [42] *Porto - Escoliose - Lordose - Cifose*. URL: <https://www.centrodacolunadalapa.pt/escoliose-lordose-e-cifose>. (acedido em: 28.12.2020) (ver p. 7).
- [43] *React Native*. URL: <https://reactnative.dev/>. (acedido em: 28.01.2021) (ver pp. 19, 20).
- [44] R. Reddy. "The influence of forward head posture on cervical proprioception in dentists". Em: *King Khalid University Journal of Health Sciences* 5.1 (2020), pp. 26–32. DOI: 10.4103/WKMP-0204.291956. URL: <https://www.kkujhs.org/article.asp?issn=1658-743X> (ver p. 8).
- [45] N. Rego e S. Sarkar. *Upright Go 2 review*. Mai. de 2020. URL: <https://www.techradar.com/reviews/upright-go-2-review>. (acedido em: 28.12.2020) (ver p. 11).
- [46] *Reinforcement and Punishment*. URL: <https://courses.lumenlearning.com/waymaker-psychology/chapter/operant-conditioning/>. (acedido em: 22.01.2021) (ver p. 5).
- [47] M. Rocabado. "Biomechanical Relationship of the Cranial, Cervical, and Hyoid Regions". Em: *The Journal of cranio-mandibular practice* 1 (jun. de 1983), pp. 61–6. DOI: 10.1080/07345410.1983.11677834 (ver p. 3).
- [48] N. J. Sanket. *Madgwick Filter*. URL: <https://nitinjsanket.github.io/tutorials/attitudeest/madgwick>. (acedido em: 28.11.2021) (ver p. 36).
- [49] U. O. Source. *github of React-vis/React visualization library*. URL: <https://github.com/uber/react-vis>. (acedido em: 15.10.2021) (ver p. 56).

-
- [50] Spring. *github of Spring / Spring framework*. URL: <https://github.com/spring-projects/spring-framework>. (acedido em: 25.10.2021) (ver p. 53).
- [51] H. Tai. *github of MPU9250/Arduino library*. URL: <https://github.com/hideakitai/MPU9250>. (acedido em: 01.10.2021) (ver p. 35).
- [52] *TE Connectivity Sensors*. Set. de 2020. URL: <https://www.te.com/global-en/industries/sensor-solutions/insights/tilt-sensors-white-paper.html>. (acedido em: 07.01.2021) (ver p. 16).
- [53] *The Best Ways to Fix Forward Head Posture (Nerd Neck)*. Jul. de 2020. URL: <https://www.benevidawellness.com/how-to-fix-forward-head-posture/>. (acedido em: 28.12.2020) (ver p. 7).
- [54] *The BLOB and TEXT Types in MySQL Manual*. URL: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/blob.html>. (acedido em: 28.11.2021) (ver p. 53).
- [55] *Types of Distance Sensor and How to select one?* Jan. de 2021. URL: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/12/23/distance-sensors-types-and-selection-guide/>. (acedido em: 07.01.2021) (ver p. 18).
- [56] *UPRIGHT -Everyday Posture Coaching*. URL: <https://www.uprightpose.com/>. (acedido em: 01.11.2020) (ver pp. 10–12).
- [57] *What is IMU? Inertial Measurement Unit Working*. Jan. de 2020. URL: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/imu-principles-and-applications>. (acedido em: 28.12.2020) (ver pp. 16, 17).
- [58] C. H. Willford et al. “The Interaction of Wearing Multifocal Lenses With Head Posture and Pain”. Em: *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 23.3 (1996). PMID: 8919398, pp. 194–199. DOI: 10.2519/jospt.1996.23.3.194. eprint: <https://doi.org/10.2519/jospt.1996.23.3.194>. URL: <https://doi.org/10.2519/jospt.1996.23.3.194> (ver p. 9).
- [59] C. H. T. Yip, T. T. W. Chiu e A. T. K. Poon. “The relationship between head posture and severity and disability of patients with neck pain”. Em: *Manual Therapy* 13.2 (2008), pp. 148–154. ISSN: 1356-689X. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.math.2006.11.002>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1356689X06001779> (ver pp. 8, 10).

