



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Diogo Francisco Araújo Leite da Costa

Geração de Índices de Saúde em Tempo Real



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Diogo Francisco Araújo Leite da Costa

Geração de Índices de Saúde em Tempo Real

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Informática

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Orlando Manuel de Oliveira Belo

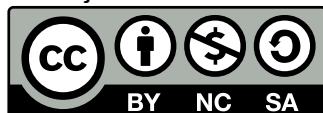
DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositoriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

CC BY-NC-SA 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.en>

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a todas as pessoas durante este período acadêmico me acompanharam, que compartilharam comigo momentos inesquecíveis e memórias que perduraram pela minha vida.

Para a minha família tenho que agradecer porque nos momentos mais difíceis que passámos, sempre me apoiaram a finalizar este curso acadêmico, movendo fundos e mundos para a minha formação.

Ao meu orientador e professor Orlando Belo, que me acompanhou durante estes dois anos de dissertação, com várias correspondências, vídeo-chamadas, reuniões e serões noturnos para o melhor trabalho possível sair como fruto. Esteve sempre presente e com o pensamento positivo, mesmo durante o período que parecia que por vezes tudo desabava.

Aos meus amigos, e em especial ao Diogo Nogueira, que estiveram comigo e que nunca me deixaram abandonar a ideia da dissertação, lutando para que a luz estivesse sempre no caminho e assim eu ter conseguido percorrer esta fase final do mestrado.

A todos que de alguma forma me mostraram uma solução num momento decisivo, agradeço-vos do fundo do coração. Sem as vossas palavras, gestos e ações não teria conseguido.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Braga, 30 de junho de 2022
(Local) (Data)

Diogo Francisco A. L. Costa
(Diogo Francisco Araújo Leite da Costa)

«Who belonged to no one, who belonged to everyone. Who had nothing, who wanted everything.» (Elizabeth Grant)

Resumo

Geração de Índices de Saúde em Tempo Real

Neste milénio, a sociedade global tem não só criado tecnologias que revolucionaram o mundo e a perceção do mesmo como tem existido uma facilidade muito maior de obter dispositivos que contêm uma imensidão de funcionalidades e sensores a um preço cada vez mais baixo. Dessa forma, a monitorização e recolha de indicadores de saúde e médicos em tempo real é algo possível e a sua recolha através dum *smartwatch*, *smartphone* ou dispositivo semelhante para posterior informação sobre o estado de saúde atual do utilizador e dessa forma calcular um índice de saúde de bem-estar geral. Como consequência natural, também é importante funcionar como uma ajuda pessoal para alertar em tempo real irregularidades no estado de saúde do utilizador. Toda esta informação utilizada de forma inteligente pode criar uma comunidade de saúde e bem-estar essenciais para os atuais utilizadores e também futuros. Neste trabalho de dissertação idealizámos e implementámos um sistema de índices de bem-estar e saúde capaz de fornecer informação em tempo real sobre uma variedade de métricas de bem-estar sobre o utilizador, em que essa informação é extraída dos sensores do *smartwatch* do mesmo, fornecendo assim um sistema de notificações para alertar uma variação elevada no bem-estar do indivíduo mas também um histórico do seu índice de bem-estar ao longo do tempo.

Palavras-chave: Sistemas de Ajuda Inteligentes, Saúde no *Smartwatch*, Índices de Bem-Estar, Indicadores de Saúde, Análise de Dados, Mineração de Dados, *Reporting*, *Dashboarding*

Abstract

Generation of Health Indexes in Real-Time

In this millennium, the global society not only has created technologies that revolutionized the world and the perception of it, but also has been creating an easiness to obtain those devices that contain a vast array of functionalities and sensors at a low price. In that way, monitoring and collecting of health, medical and wellness indicators in real time is now possible to collect through a smartwatch, smartphone, or similar device to then give insightful information about the current health of the user and therefore create a health index of well-being. As a natural consequence, this is important also to serve as a personal help to alert in real time and intelligently irregularities found in the health state of the user. In that way, all this information and data can create a community of health and well-being essential to the current and future users. In this Masters' Dissertation we idealized and implemented a Health and Wellness Index System capable of providing real-time information about a variety of wellness metrics about the user, in which that information is extracted of the *smartwatch's* sensors, giving therefore a notification system to alert a high variation of those metrics and the wellness of the individual, but also providing a timeline of that Health and Wellness Index over time.

Keywords: Smart Help Systems, Smartwatch Health, Wellness Indexes, Health Indicators, Data Analysis, Data Mining, *Reporting, Dashboarding*

Índice

Índice de Figuras	x
Índice de Tabelas	xi
Siglas e Acrónimos	xiii
1 Introdução	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Motivação e Objetivos	2
1.3 Trabalho Realizado	3
1.4 Estrutura da Dissertação	4
2 Índices de Saúde e Bem-Estar	5
2.1 Contextualização	5
2.2 Utilização de Tecnologia <i>Wearable</i> na Saúde	8
2.3 Funções e aplicações	14
3 Um Índice de Bem-Estar	18
3.1 Fundamentação do Índice	18
3.2 Caracterização do Sistema de Índices	21
3.3 Levantamento e Análise de Requisitos	24
3.3.1 Requisitos Funcionais	24
3.3.2 Requisitos Não Funcionais	25
3.4 Modelação do Sistema	26
3.5 O Sistema de Interface	31

4	Implementação do Sistema de Índices	35
4.1	Arquitetura Geral	35
4.2	Angariação dos Dados	38
4.3	Processamento e Armazenamento do Índice	44
4.4	Análise de Dados	47
5	Conclusão e Trabalho Futuro	50
5.1	Conclusões	50
5.2	Trabalho Futuro	52
	Bibliografia	53

Índice de Figuras

1	Fatores que influenciam o bem-estar duma pessoa	8
2	Demografia de <i>wearables</i> nos EUA em 2014	9
3	Dispositivos com sensores por localização corporal - Imagem extraída de [20]	10
4	Dados cardíacos mostrando várias atividades diárias	11
5	Receita da Apple por produto	12
6	Sensores cardíacos presentes no <i>Apple Watch</i> - Imagem retirada de [3]	16
7	Imagem Geral do Projeto com Logótipo	19
8	Maquete Geral do Sistema	23
9	Diagrama Geral de Casos de Uso	26
10	Diagrama Lógico de Base de Dados	28
11	Logótipos da aplicação	31
12	<i>Mockups</i> das notificações e da vista principal do <i>smartwatch</i>	32
13	<i>Mockups</i> do Gráfico Temporal e do menu da aplicação do <i>smartwatch</i>	33
14	<i>Mockups</i> da aplicação <i>iOS</i>	34
15	Arquitetura <i>Three-Tier</i> da implementação	36
16	Modelo físico da base de dados privada	38
17	Interface final da aplicação	47
18	Gráfico interativo e temporal dos índices gerados	48

Índice de Tabelas

1	Prós e Contras para Índices Agregados	6
2	Vendas por unidade do <i>iPhone</i> e <i>Apple Watch</i> [47]	13
3	Sistema de Categorização dos passos diários	15
4	Ficha do projeto de <i>software</i>	19

Índice de Funções

1	Função exemplo de <i>Core Data</i> e <i>Swift</i>	39
2	Requerimento de autorização para os sensores em <i>Swift</i>	40
3	Angariação de dados do acelerómetro em <i>Swift</i>	42
4	Exemplo da concorrência do sistema de índices em <i>Swift</i>	45
5	Exemplo do processamento do índice em <i>Swift</i>	46
6	Exemplo da sintaxe declarativa de <i>SwiftUI</i>	48

Siglas e Acrónimos

API *Application Programming Interfaces* (pp. 3, 21–25, 30, 36, 49)

BPM Ritmo cardíaco por minuto (pp. 15, 16, 20)

CRISP-DM *Cross Industry Standard Process for Data Mining* (p. 22)

GPS *Global Positioning System* (p. 51)

MEMS Sistemas micro-electro-mecânicos (p. 14)

ML *Machine Learning* (pp. 11, 22, 25, 26, 40, 41, 51)

ORM Mapeamento Objeto-Relacional (p. 36)

SQL *Structured Query Language* (pp. 22, 39)

UI *User Interface* (p. 47)

UML *Unified Modeling Language* (p. 4)

UX *User Experience* (pp. 31, 33, 37, 49, 52)

Introdução

1.1 Contextualização

Numa era informatizada como a de hoje existe um acesso maior a tecnologias que seriam bastante dispendiosas há menos de uma década atrás, porém, agora são atingíveis para uma comunidade geral, estas tornando-se uma ferramenta com possibilidades abundantes, em especial no ramo médico e da saúde pessoal e interpessoal. Em 2013, num estudo efetuado na população americana, 69% dos adultos indicaram que mediam indicadores de saúde e 21% desses utilizavam dispositivos e/ou aplicações para o fazer [17].

Com tantos comportamentos de saúde modificáveis, como a atividade física ou comportamentos sedentários, que podem ter um impacto em vários aspetos da saúde e bem-estar do utilizador, desde saúde mental a situações cardiovasculares. Com a introdução de tecnologia de corpo acessível, tornou-se acessível funcionalidades e ferramentas para estudar estes comportamentos e correlacioná-los a uma escala de massa, de forma a encontrar padrões num vasto conjunto de utilizadores, por forma a os ajudar pessoalmente e, também, partilhar essas descobertas com a comunidade médica em geral [22].

Para aglomerar esses dados, muitas aplicações têm funcionalidades como redes sociais, desafios e competições para motivarem o comportamento saudável do utilizador, mas, também, para acontecer uma utilização da aplicação ou do dispositivo mais frequente de forma a fornecer mais dados sobre o bem-estar do utilizador. Segundo um estudo [40] utilizando um *dataset* da aplicação Argus, esses incentivos para competições aumentavam a atividade física até 23% durante o tempo da mesma, tornando-se assim um sucesso tanto para a parte do utilizador como nas informações extra trazidas.

Analisar os dados dos sensores de *smartwatches* e outros dispositivos torna possível caracterizar

indicadores de saúde e construir e, a partir deles, fazer uma análise de dados para responder e fornecer índices de bem-estar e saúde do utilizador. Essa análise pode ser feita de inúmeras maneiras, introduzindo também técnicas de Inteligência Artificial ou de *Deep Learning* no processo de decifrar as codificações digitais dos sensores dos dispositivos para informação concreta sobre saúde, correlacionando, assim, as duas e melhorando ainda mais a rede neuronal de aprendizagem para futuros *inputs* [35].

Com algumas dificuldades sobre dados em falha, dado que os utilizadores podem não estar sempre a utilizar o seu dispositivo, ou também devido a casos de preconceito de seleção, dado que, por vezes, a seleção dos utilizadores pode não ser a que represente o género, idade, localização da população geral em interesse, tornando-se informação que podia induzir em erro a Inteligência Artificial [16].

1.2 Motivação e Objetivos

Para este trabalho de dissertação houve um intuito fundamental sob o estudo, análise e conceção de algo que fosse de encontro a uma área de crescimento exponencial com uma área de saúde emergente e sempre necessária. Com isto em mente, concebemos e implementámos um índice de bem-estar e de saúde, que fosse calculado sempre em tempo real, de forma a ter a aptidão de suportar um sistema de ajuda e diagnóstico, para avisar o utilizador sobre possíveis situações de saúde irregulares, possibilitando a prevenção de ocorrências médicas mais graves.

Os objetivos para esta conceção e implementação seriam, primeiro, a identificação e caracterização dum conjunto de indicadores médicos importantes para rastrear e analisar em tempo real na saúde do utilizador e , depois, a conceção e implementação dum sistema que efetuasse a recolha desses indicadores médicos a partir de dispositivos móveis e pessoais, como os smartwatches. Tendo isso implementado, pretendia-se fazer a criação de um sistema multidimensional, que albergasse os dados recolhidos de toda a informação dos rastreios para, por fim, ter um sistema de diagnóstico em tempo real que atuasse de acordo as informações que estão a ser analisadas e indicar o índice de saúde do utilizador.

1.3 Trabalho Realizado

Nesta dissertação de mestrado realizou-se um conjunto de trabalhos essenciais para a sua conclusão. Para a aquisição de conhecimento houve um processo extenso de leitura científica e literária para perceber com exatidão como lidar com o problema em mãos. Com uma contextualização, motivação e objetivos delineados, juntando com a base literária e científica revista, conseguiu-se demonstrar a importância que um índice de bem-estar e saúde tem no paradigma atual, e como esse mesmo índice, caso seja fornecido regularmente a um indivíduo, consegue fornecer uma informação de saúde útil e importante.

Fundamentando com vários artigos, análises e comparações pudemos delinear as funções e aplicações que um índice composto teria, caso fosse gerado em tempo real num *smartwatch* que estivesse no pulso de um utilizador. Assim, com estas comparações decidiu-se utilizar os sistemas da *Apple*, tanto o *iPhone* como o *Apple Watch* para realizar a implementação nativa do sistema de índices de bem-estar e saúde. Com a bagagem científica já revista, houve um detalhamento de como o nosso índice de bem-estar se iria comportar, quais os conjuntos de informação seriam agregados e como seria mostrado ao utilizador na fase final. Levantando os requisitos do sistema, pudemos separar quais os casos de uso mais importantes e quais as restrições ou nuances que o sistema teve de obedecer e priorizar. Com a parte técnica e lógica finalizadas, existiu a fase de desenhar toda a *interface* e design que o sistema iria suportar para a sua comunicação com o utilizador.

Assim, com as várias *mockups* detalhadas, o sistema ficou completamente modelado e pronto a ser implementado seguidamente. Na implementação do sistema, realizámos um trabalho paralelo para a criação das duas aplicações nativas para os dois *hardwares* escolhidos. Utilizando as tecnologias e [*Application Programming Interfaces \(API\)*](#) oficiais da *Apple*, criámos um sistema agnóstico de três fases que angariava os dados dos sensores do *hardware*, que processava esses mesmos dados em informação útil para a criação do índice composto e final e, por fim, a demonstração desses resultados utilizando *interfaces* interativas para o utilizador visualizar tanto no seu *smartphone* como no seu *smartwatch*.

1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação de mestrado aborda os tópicos fundamentais da criação dum sistema de índices de bem-estar e saúde em tempo real.

Para além do primeiro capítulo, no qual fizemos uma breve introdução, esclarecemos os objetivos e as finalidades do projeto, revelámos todos os motivos que levaram à escolha deste tema de estudo, esta dissertação encontra-se organizada da seguinte maneira:

- **Capítulo 2** - *Índice de Bem-Estar e Saúde* -, que apresenta um "estado de arte", ou seja, numa pesquisa mais aprofundada sobre os índices de bem-estar e saúde, desde a sua contextualização no sistema em si, a sua importância na saúde e bem-estar das pessoas, mas também explicar toda a pesquisa associada à utilização de tecnologia *wearable* para preencher as finalidades discutidas. Por fim, este capítulo, em conjunto com as informações pesquisadas conclui também o porquê de se escolher os sistemas operativos da *Apple* e, por consequência, que o *hardware* escolhido para o *smartwatch* seja o *Apple Watch*.
- **Capítulo 3** - *Um Índice de Bem-Estar* -, que apresenta uma fundamentação geral do índice de bem-estar escolhido, a caracterização técnica que o sistema de índices tem e quais os micro-serviços e *softwares* necessários para a sua implementação, um levantamento essencial sobre os requisitos funcionais e não funcionais do sistema, uma modelação formal com *Unified Modeling Language (UML)* de algumas partes essenciais ao sistema de índices e, por fim, uma formalização do sistema de interface a ser apresentado ao utilizador, com *mockups* das interfaces que preenchem todos os requisitos que o sistema toma.
- **Capítulo 4** - *Um Índice de Bem-Estar* -, que apresenta a implementação e o desenvolvimento do sistema de índices, agora modelado e fundamentado. Neste foi abordado com afinco toda a arquitetura do sistema, dos seus micro-serviços e das decisões para as tecnologias a usar e como usar. Por conseguinte, explicou-se detalhadamente cada um desses micro-serviços nas secções deste capítulo, criando assim um caminho sobre todo o processo de implementação deste complexo sistema de índices de bem-estar.
- **Capítulo 5** - *Conclusão* -, este último capítulo demonstra as conclusões e considerações finais, bem como possíveis trabalhos futuros para dar continuidade ao projeto de dissertação de tese desenvolvido.

Índices de Saúde e Bem-Estar

2.1 Contextualização

A definição de índices é algo que necessita de um pouco de percepção sobre os estudos sociais e estatísticos. É algo que pode ser visto como a junção e aglomeração de vários indicadores estatísticos de forma a conseguir medir e representar uma ideia concreta advinda dum grupo de pontos de dados e de indicadores externos. Dessa forma, é importante na sumarização desses indicadores em índices compostos para depois serem mais facilmente avaliados, superintendidos e confrontados ao longo do tempo ou até mesmo em tempo real. Os índices atualmente têm atualmente uma importância cada vez maior na análise e comparação de crescimento de países, de análise na saúde e bem-estar, em discussões e artigos sobre género e em qualquer outro ramo na ciência que necessite de comparar fenómenos complexos juntando vários indicadores pequenos num só índice composto [21].

Estes índices então têm de ser pensados e feitos como modelos matemáticos e/ou computacionais, porque necessitam desse nível de precisão para que se possa fazer uma modelação cuidada e correta de forma a não induzir em erro a informação que transmite. Assim a sua função pode ser confirmada como benéfica ao invés de existir os vários indicadores anteriores [34].

Em suma um índice irá agrupar um punhado de indicadores num único indicador e a sua evolução pode ser crescente ou decrescente para que possa exercer a sua função de ser algo simples e rápido de entender sobre uma evolução ou regressão no tema em causa. Como tal, poderemos, depois, analisar a sua variação, consoante o tempo e período, de forma a chegar a conclusões e conjeturas sobre o conteúdo em causa [24].

Numa situação na qual seja necessário um cálculo e análise dum certo comportamento ou padrão,

existe por vezes a carência de obter um sintetizador de todos os estudos e sondagens que se efetua aos vários indicadores e públicos dessas mesmas sondagens. Nesta equação entram os índices, que podem tomar um papel de destaque em várias discussões, desde comparação de crescimento de países, como a assuntos mais macro, como a melhoria ou pioria de um paciente com problemas de saúde.

Assim, os índices irão sumarizar, numa simples escala numérica, uma complexidade de dados e de indicadores mais pequenos, tornando assim um painel de indicadores complicado de se ler numa leitura simples, integrada e sem compartimentações, proporcionando um entendimento mais facilitado para os utilizadores que irão ler de forma natural sem precisarem de necessidades mais ou menos exigentes quanto ao entendimento do conteúdo que criou o índice composto. Assim, os índices compostos com maior ou menos nível de sintetização, vão sempre dar resposta a várias questões que se podem colocar, valorizando assim a informação estatística que está por detrás como suporte e incitando, caso aconteça uma variação significativa, um estudo e análise aprofundada [24]. Na Tabela 1 apresentamos uma pequena lista de prós e contras relativos à criação e utilização de índices compostos.

Tabela 1: Prós e Contras para Índices Agregados

Prós e Contras para Índices Agregados	
Pros:	Contras:
Sumarizar indicadores e realidades complexas e multidimensionais para uma visão simples de fazer decisões;	Pode dar informações erradas se tiver mal construído e quando for mal-interpretado;
Mais fáceis de interpretar do que uma panóplia de vários indicadores separados;	Pode convidar a acontecer conclusão simplistas;
Dá para verificar mais facilmente a evolução ou regressão;	Pode ser mal-usado, para suportar uma decisão errada se o seu processo de construção não for transparente ou faltar princípios estatísticos;
Reduz o tamanho visível do conjunto de indicadores, sem retirar a informação útil por detrás;	A seleção dos pesos dos indicadores pode causar disputa.
Possibilita os utilizadores comparar dimensões complexas de maneira eficaz.	

Para os trabalhos desta dissertação, precisamos de criar um índice que seja agregado por forma a

poder fornecer aos futuros utilizadores um sistema de índices que lhes meça corretamente o seu bem-estar. Esse índice não pode ser algo complicado de se compreender. Daí a necessidade de ser um índice composto, que agregue as informações num simples número e numa escala de cores, para facilitar a sua avaliação e leitura da informação útil.

Seguindo a importância e utilidade que os índices têm na vida das pessoas, nas empresas e, também, alguns governos, podemos nos focar num índice que coloque toda a complexidade direcionada à saúde e ao bem-estar dum indivíduo, num simples índice composto que interligue bem toda a informação sobre tal.

O *bem-estar*, este fenómeno ainda um pouco conceptual tem sido alvo de vários estudos dada a sua dimensão variada e multifacetada, uma vez que está ligada inerentemente ao ser-humano. Os mesmos podem ser proactivos e interagir, ou alternativamente, serem distantes, sem isso afetar categoricamente o seu estado de bem-estar de forma proporcional. Daí os domínios de saúde, educação, trabalho, desporto, religião e psicoterapia serem tão importantes para uma fusão e entendimento do que pode ser o bem-estar geral do indivíduo [38].

Seguindo as ideias do Instituto Nacional de Estatística (Figura 1), este fenómeno de bem-estar é multidimensional, daí um índice de bem-estar proporcionar uma visualização unidimensional, com alguma perda na informação, mas tornando-se muito mais fácil de compreender a evolução ou regressão do indivíduo nesse ramo.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
D01	100	101,4	102,8	104,9	105,1	108,4	108,3	106	103,2	103,8	105,8	107,7	109,8
D02	100	100,1	99,3	92,2	90,9	90,3	93,5	85,8	80	76	77,1	83,3	89,9
D03	100	94,7	94,9	93,2	91,6	89,4	82,8	75,5	71,1	70	71,2	73,7	75,1
P01	100	98,7	99	96,8	95,9	96,1	94,9	89,1	84,8	83,3	84,7	88,3	91,6
D04	100	107,3	111,6	113,7	118	118,7	127,6	124,7	125,2	128,4	122,5	122,9	125,5
D05	100	102,5	106,1	109,4	109,2	110	110,8	112,4	111,7	111,5	111,5	113,7	114,6
D06	100	100,4	111,2	114,9	128,1	138,8	138,4	159,5	163,4	177,5	187,5	203,3	213,5
D07	100	99,7	99,3	96,4	93,5	96,1	98,5	98,2	97,7	98	97,4	97,4	97,6
D08	100	109,8	105,6	102,2	100	96,1	91,3	93,6	96,2	116,1	134,9	136,3	148,2
D09	100	108,3	104	109,2	101,4	103,3	102,7	107,4	102,4	105,6	113,6	112,3	130,8
D10	100	102,5	106,9	103,3	112	113,2	119,5	122,8	126,3	126,8	131,7	128,8	131,5
P02	100	104,4	106,4	107	108,9	110,9	112,7	116,9	117,6	123,4	128,4	130,6	137,4
IBE	100	102,7	104,2	103,9	105	106,4	107,3	108,6	107,7	111,4	115,3	117,9	123,7

Legenda

D01	Bem-estar económico	D07	Relações sociais e bem-estar subjetivo
D02	Vulnerabilidade económica	D08	Participação cívica e governação
D03	Trabalho e Remuneração	D09	Segurança pessoal
P01	Condições materiais de vida	D10	Ambiente
D04	Saúde	P02	Qualidade de vida
D05	Balanco vida-trabalho	IBE	Índice de Bem-Estar
D06	Educação, conhecimento e competências		

Imagem extraída de [23]

Figura 1: Fatores que influenciam o bem-estar duma pessoa

2.2 Utilização de Tecnologia *Wearable* na Saúde

Os índices na saúde sempre foram tratados e analisados com algum cuidado e suscetibilidade porque representam sempre informação ligada a uma vida humana e a sua saúde. O perigo inerente ao analisar e categorizar essas informações tem de ser com precaução para não induzir a um diagnóstico errado. Um modelo preditivo útil para prever casos de ataque cardíaco em situações de ritmos cardíacos anormais, como é o caso do da Fibrilação auricular [52], pode ser também derivado de mais de 20 índices positivos por forma a indicar a sua predição correta [43].

Um algoritmo como estes [27], mesmo sendo apoiado por diversos estudos mundialmente, tem sempre a dificuldade inerente de não poderem ser analisados em ambiente não-hospitalar, criando assim pequena falha na análise e veracidade do algoritmo em situações normais [43, 44].

Do outro lado, a tecnologia *wearable* trouxe-nos a sua peça mais utilizada, o *smartwatch*. Para além de mostrarem o tempo, estes pequenos computadores para o nosso pulso têm-se desenvolvido para

máquinas imensamente eficientes, cada vez mais com um número de sensores cada vez maior.

Estes dispositivos, com as suas funcionalidades cada vez mais apelativas, criaram uma cultura para o consumidor querer saber sobre a sua saúde e bem-estar duma forma mais constante, criando um mercado demográfico cada vez maior. A *Apple*, o maior fabricante de *smartwatches* atualmente, vendeu mais de trinta e uma milhões de unidades do seu *smartwatch* em 2019, o que correspondeu a mais de 50% de toda a indústria de relógios suíços e a um aumento de 36% em vendas da própria marca comparado com o ano fiscal anterior [47].

“The Apple Watch will play with your attention, increasing it in some cases and reducing it in others” [25]

Os *smartwatches* são pequenos centros de informação, que trazem ao utilizador notificações de *emails*, mensagens e mais uma enorme panóplia de aplicações. Aliás, o *Apple Watch* (e o seu sistema operativo associado *WatchOS*) já conta com mais de 10000 aplicações feitas especificamente para o mesmo [15] num mercado que não tem previsão de descer as suas vendas. Por serem acessíveis à maioria das pessoas, tanto na sua *interface*, como no preço e disponibilidade, fornecem uma possibilidade de monitorizar atividade física e de saúde do utilizador, quase em tempo real [36].

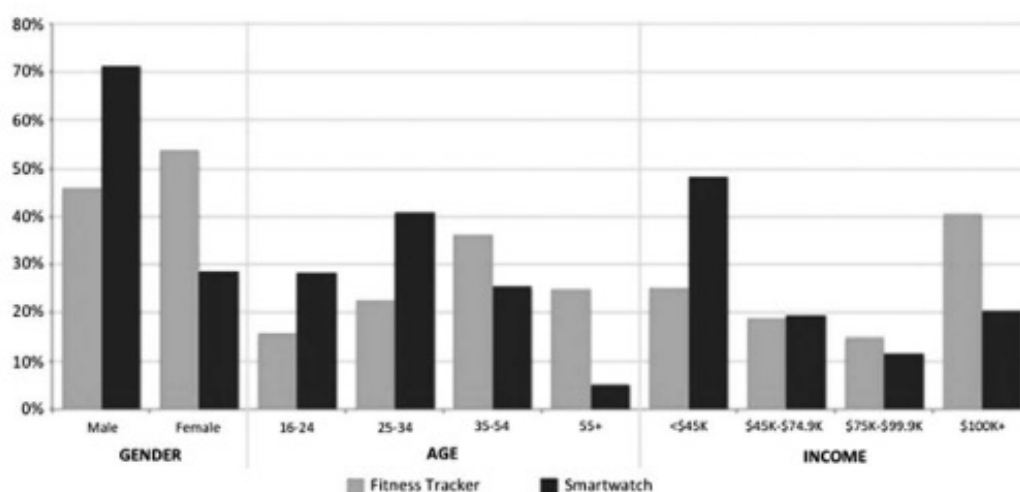


Figura 2: Demografia de *wearables* nos EUA em 2014

Como podemos observar na Figura 2 [33], existe independentemente das demografias aqui mostradas, um interesse cada vez maior em pelo menos algum tipo de *wearable*. Vemos, claramente que existe uma preferência maior para os *smartwatches* em indivíduos do género masculino, enquanto pessoas do

gênero feminino preferem um simples *tracker* ou *smartband*. O que é importante reter também neste gráfico é que pessoas com maior idade tendem a não querer *smartwatches*, talvez com uma ilação de que é mais complicado ler o conteúdo que o pequeno ecrã demonstra durante o dia. Também temos que reter uma informação importante desta análise demográfica que é que o mercado de *smartwatches* na população mais rica, é utilizado menos, em troca de relógios de luxo, uma peça de moda ainda muito enraizada como uma definição de estatuto financeiro [13, 32].

É claro que o mercado evoluiu de uma maneira bastante considerável desde há alguns anos. Uma variedade de métricas de saúde tornaram-se disponíveis para atletas de alta competição, os quais usam sensores que coletam uma gama considerável de informações como o ritmo cardíaco, temperatura corporal, o ritmo respiratório, a posição do corpo e o seu movimento. Com isso, é possível verificarem-se várias derivações como o consumo máximo de oxigénio ou a variabilidade do ritmo cardíaco ao longo do dia.

O que vemos agora é que as tecnologias que facilmente analisavam essas métricas num nicho de população eram, não só mais caras, como também raras para serem adquiridas pelo público em geral.

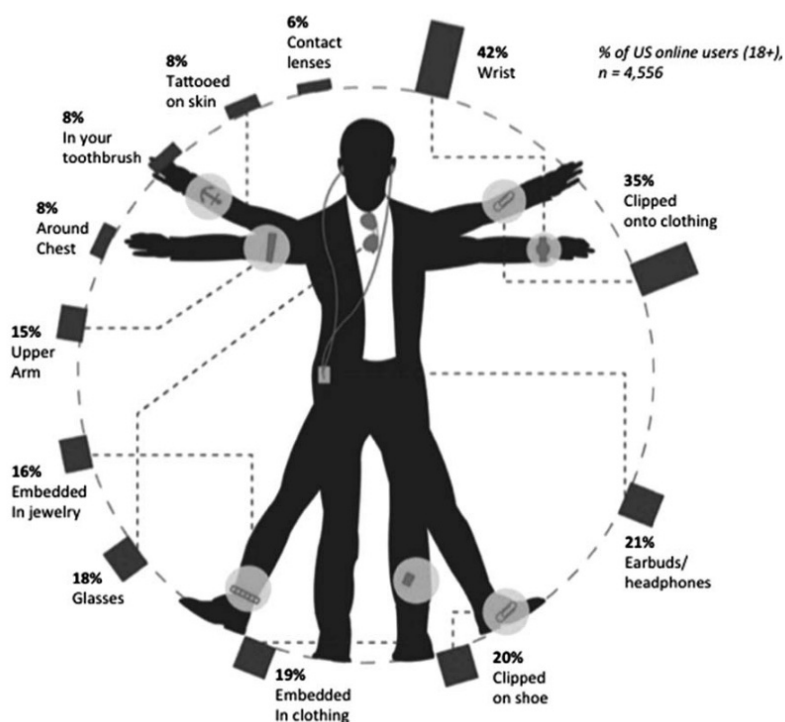


Figura 3: Dispositivos com sensores por localização corporal - Imagem extraída de [20]

Assim estas tecnologias estão a ser colocadas um pouco por cada região do corpo (Figura 3 [20]),

por forma a ver qual é a melhor forma de obter dados fiáveis para posterior análise dos mesmos.

A principal diferença é que é no pulso que a maioria das pessoas, como demonstra a figura, utiliza o seu acessório que provavelmente permanecerá o mais tempo durante o dia. Isso faz com que as grandes empresas tecnológicas estejam a financiar um maior estudo de desenvolvimento para melhores iterações dos seus *smartwatches* para que possam fornecer a maior e melhor quantidade de informação ao utilizador comum, por um preço cada vez mais apelativo.

Estes *smartwatches* conseguem produzir uma quantidade infindável de dados sensitivos e brutos dos seus mais diversos sensores, dos quais é possível fazer a extração de informação útil desde cardiogramas, postura, pulsação cardíaca, nos diversos pontos temporais do dia e muito mais.



Imagem extraída de [45]

Figura 4: Dados cardíacos mostrando várias atividades diárias

Esta informação que é aglomerada numa situação em que o utente está em ambulatorio, nas suas diversas atividades diárias, pode induzir algum erro no processamento de *Machine Learning (ML)* como se pode ver através da Figura 4 [45].

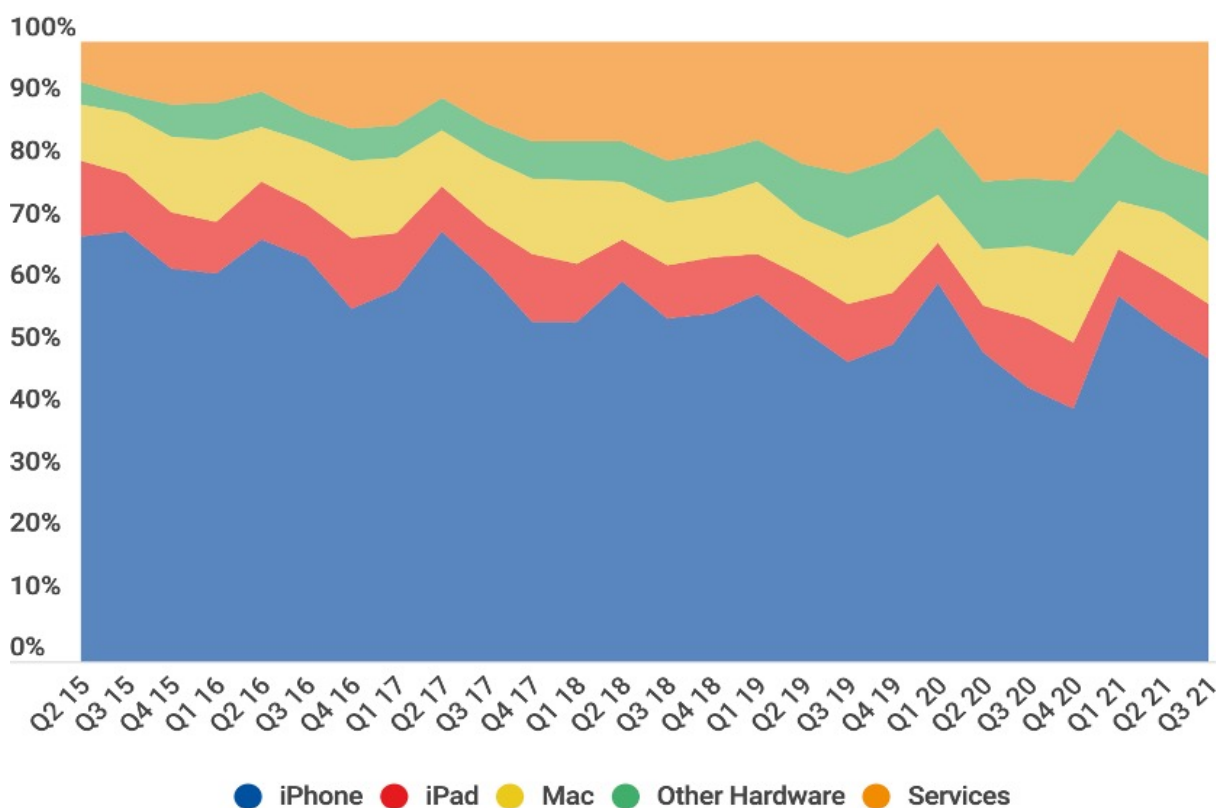
Estes dados retirados de utilizadores do *Apple Watch*, demonstram-nos que a análise passiva e contínua de dados cardíacos é essencial e aliciente, mesmo entendendo que tem de existir um processamento maior sobre o que pode ser considerado um risco ou um alerta para a saúde da pessoa ou apenas casos

esporádicos que se analisados podiam desviar os resultados do estudo outrora corretos.

Esta indústria recente trouxe-nos uma evolução tecnológica que o mercado financeiro e a economia de toda a população ainda não conseguiu acompanhar para os níveis que se podiam tornar aceitáveis ao ponto de ser não só um acessório a pensar adquirir, como uma extensão essencial para o normal utilizador [29].

Apesar do aumento exponencial do mercado de *smartphones*, existindo soluções cada vez menos dispendiosas para todo o tipo de carteiras, o mercado dos *smartwatches* ainda é um pouco mais exclusivo dado que as tecnologias são ainda mais emergentes e recentes e tiveram um processo de R&D mais dispendioso, que inflacionou os preços atuais, os quais ainda não são confortáveis para a maioria das carteiras das pessoas.

Se pensarmos num dos maiores fabricantes de *smartwatches* e *smartphones*, a *Apple* sempre teve um mercado considerável com o seu maior produto, o *iPhone* (Figura 5).



Source: Apple

Imagem extraída de [14]

Figura 5: Receita da Apple por produto

Com a introdução mais tardia do *Apple Watch*, a *Apple* não só facilmente se tornou a maior fabricante de *smartwatches*, como também trouxe para esse mercado uma integração que apelou a um público-alvo maior, juntando facilmente a moda de ter um relógio, a inteligência de ter um acessório complementar ao *smartphone* e, por fim, um aumento pelo interesse no bem-estar e pela saúde dos seus utilizadores [14].

Esta "bola de neve" fez com que, desde o seu lançamento em 2015, o seu *smartwatch* liderasse o mercado, com uma quota de mais de 50% de liderança até 2020. Essa ligação inerente entre os dois sistemas criou uma ideia de este ser o melhor acessório para um *smartphone*, trazendo sempre inovações a todos os níveis, tendo um foco maior no bem-estar e saúde da pessoa.

Tabela 2: Vendas por unidade do *iPhone* e *Apple Watch* [47]

Ano	Vendas (unidades)	
	iPhone	Apple Watch
2010	39,9 milhões	—
2011	72,3 milhões	—
2012	125 milhões	—
2013	150,2 milhões	—
2014	169,2 milhões	—
2015	231,2 milhões	8,3 milhões
2016	211,8 milhões	11,9 milhões
2017	216,7 milhões	12,8 milhões
2018	217,7 milhões	22,5 milhões
2019	187,2 milhões	30,7 milhões
2020	196,9 milhões	43,1 milhões

Com estas informações torna-se um pouco mais fácil fazer a decisão sobre esta plataforma, não só com um mercado de vendas cada vez maior mundialmente (Tabela 2) como também com uma documentação atual do *software* e apoio por parte da comunidade de programadores pelo mundo. O *Apple Watch*, como *hardware*, traz-nos uma variada quantidade de sensores, disponíveis para podermos usar como agregadores primários de dados para este projeto.

2.3 Funções e aplicações

Com todas estas informações, a criação dum índice de bem-estar com a capacidade cada vez mais crescente do Apple Watch, torna-se uma aplicação não só possível, como fazível e confiável. Com os benefícios duma atividade física presente e que possa informar com mais frequência no relógio [50], podemos assim criar uma aplicação que forneça um índice de bem-estar e saúde que seja interligado aos mais variados sensores do *hardware*, mas também aos variados artigos científicos que comprovam depois a sua veracidade na decisão final do índice composto.

Com o crescente número de artigos que nos informam sobre o crescimento exponencial do sedentarismo humano [31], dos empregos cada vez mais automatizados e também duma cultura em que o setor terciário se torna mais parado e sedentário, dado que a evolução tecnológica está a puxar toda a humanidade para uns padrões e comportamentos de inatividade física e com doenças crónicas [19].

Por consequência, enquanto a obesidade é apontada como a eminente futura epidemia [51], temos também um número cada vez mais significativo de pesquisas científicas sobre os benefícios de analisar mais pormenorizadamente o exercício para, não só o ter com mais quantidade, como também com mais qualidade, agora que é supervisionado e informado ao utilizador [18].

O *Apple Watch*, com a evolução dos [Sistemas micro-electro-mecânicos \(MEMS\)](#) e o valor de produção desses sensores mais acessíveis, é capaz de fornecer vária informação sobre o bem-estar e saúde do seu utilizador [37]. Com a inclusão dum acelerómetro, giroscópio e barómetro temos a informação no pulso do utilizador sobre os mais variados tipos de movimento, posições corporais e a contagem de passos e elevação do utilizador ao longo do dia e dos seus exercícios. Através destes sensores podemos aceder à distância percorrida a andar e/ou correr, aos minutos de pé invés de sentado, lanços subidos (escadas ou similares) e também dessa forma calcular a energia gasta em calorias a fazer atividade [26].

Assim, para efeitos da criação do índice composto de bem-estar e saúde utilizaram-se estes sensores podem ser utilizados para nos fornecer o tempo de exercício diário e quantos minutos a pessoa está de pé em vez de sentada durante o dia, como uma métrica de saúde e bem-estar.

Falando no fator para contagem de passos, houve uma análise extensa sobre como incluir essa métrica no índice composto de bem-estar e saúde. Os passos são uma unidade fundamental de locomoção humana e uma das métricas favoritas para quantificar atividade física, que têm as seguintes características:

- É uma unidade intuitiva de se perceber, facilmente medida com precisão;
- Consegue ser motivacional, ou seja, facilita a mudança de comportamento saudável;
- Tem potencial para traduzir resultados úteis na medição do bem-estar do utilizador.

Desde Leonardo da Vinci, creditado historicamente como o inventor do primeiro contador de passos mecânico, tivemos uma explosão de vários tipos desde sensores colocados na anca, nos bolsos, nos tornozelos e no caso mais recente e utilizado pelo *Apple Watch*, os três acelerómetros para cada eixo colocados no pulso do utilizador [10].

Para decisão final sobre como quantificar esta unidade em valores concretos para ser um influenciador do índice composto de bem-estar temos uma classificação usada internacionalmente [48, 49] como a base da categorização de adultos, crianças e adolescentes como visto na tabela 3.

Tabela 3: Sistema de Categorização dos passos diários

Passos por Dia	Classificação
<5000	Estilo de vida sedentário
5000-7499	Fisicamente inativo
7500-9999	Moderadamente ativo
≥10000	Fisicamente ativo
≥12500	Muito ativo

A segunda métrica essencial para o índice composto é a medição do ritmo cardíaco do utilizador [2]. O *Apple Watch* usa uma tecnologia conhecida como fotopletismografia que se baseia num simples facto médico e físico. O sangue é vermelho porque reflete luz vermelha e absorbe luz verde [42]. Dessa forma, o *Apple Watch* usa LEDs verdes e díodos sensíveis à luz para detetar o fluxo de sangue a passar pelo pulso do utilizador. Assim, quando o coração bate, existe mais fluxo, logo mais absorção de luz verde e, entre os batimentos, existe menos absorção dessa mesma luz. Com esta informação o sensor ótico pode iluminar centenas de vezes por segundo, fornecendo assim o *Ritmo cardíaco por minuto (BPM)* com uma escala de 30 a 210 BPMs [3].

Como sensor extra, eléctrodos presentes no botão principal e na parte traseira do *smartwatch*, podem medir os sinais eléctricos do coração quando se cria um circuito fechado sempre que se clica no botão

principal, dado que acontece uma ligação entre o coração e o braço, capturando assim os impulsos elétricos do peito criando um eletrocardiograma com precisão alta e capaz de fornecer notificações de fibrilação arterial [12, 39].

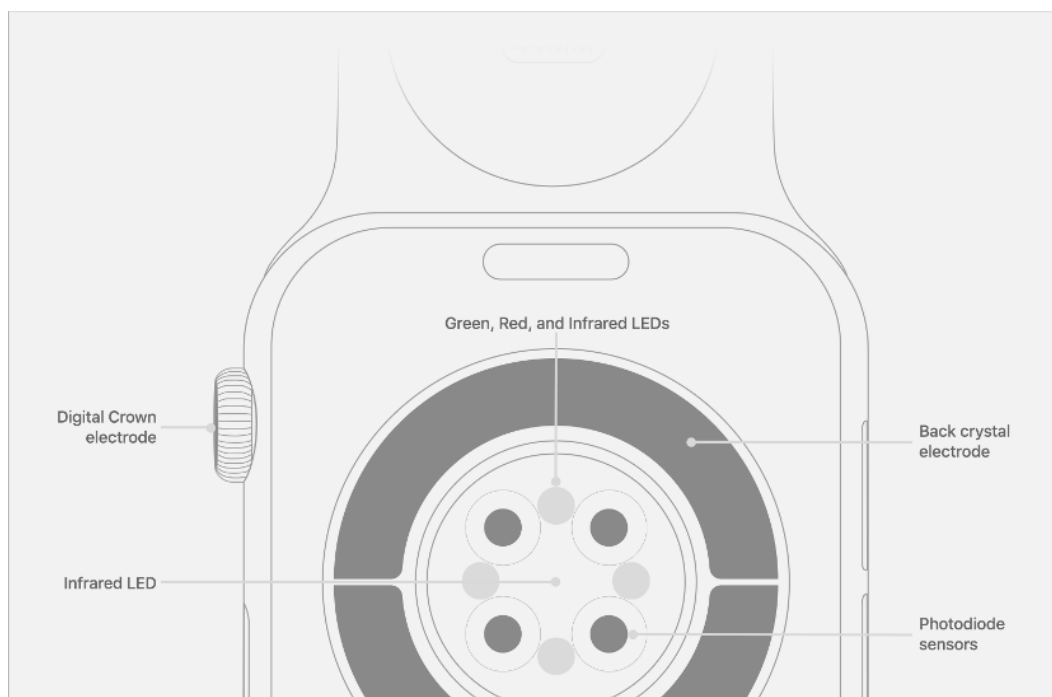


Figura 6: Sensores cardíacos presentes no *Apple Watch* - Imagem retirada de [3]

Para que fosse possível quantificar este fator no índice composto de bem-estar e saúde teve-se que se colocar um maior peso no mesmo e analisar apenas o ritmo cardíaco em repouso, dado que valores elevados que fossem fornecidos pelo relógio poderiam indicar em erro a composição do índice e induzir a informação final como falsa [1]. Dado que o *Apple Watch* consegue, dado os variados sensores explicados anteriormente, distinguir esses dois tipos de dados de ritmo cardíaco podemos então fornecer uma informação mais correta para a criação do índice final [28].

1. O ritmo cardíaco em repouso tem de ser superior a 60 BPM;
2. O ritmo cardíaco em repouso tem de ser inferior a 120 BPM.

Outra informação fornecida pelos mais variados sensores do *Apple Watch* é, na verdade, uma combinação de dados fornecidos que nos darão uma análise concreta ao sono do utilizador. Acedendo aos acelerómetros em três dimensões e também ao ritmo cardíaco nos momentos de sono do utilizador, podemos ter a confirmação de quando o mesmo está realmente na cama, mas também a informação

temporal de quando adormece. Com a ajuda do microfone incorporado no relógio, também é possível saber o ritmo respiratório durante o sono, como uma métrica de qualidade do mesmo [4].

Assim, esta métrica de sono pode ser utilizada no índice composto de bem-estar e saúde tal que, caso o número de horas de sono diárias seja inferior a seis horas [11], afeta negativamente o índice final.

Assim, com cinco fatores bem estudados e cientificamente comprovados o índice composto de bem-estar e saúde foi criado com estas 5 métricas:

1. Ritmo cardíaco em repouso;
2. Passos diários;
3. Minutos de exercício físico diário;
4. Horas em pé diárias (pelo menos 5 minutos de pé por hora);
5. Análise do sono;

Um Índice de Bem-Estar

3.1 Fundamentação do Índice

O sistema que foi desenvolvido para esta dissertação tem como base um serviço complexo e intrínseco duma aplicação nativa para o *smartphone* e *smartwatch* do utilizador, neste caso utilizando o sistema *iOS* e *WatchOS* da fabricante tecnológica *Apple*. Utilizando estas plataformas, teve-se acesso a um público-alvo bastante desenvolvido que apenas precisa de se inscrever no projeto, autenticando os seus dados de saúde captados pelos seus dispositivos pessoais. Desta forma, o sistema demonstra no *smartwatch*, o índice de saúde e bem-estar que o utilizador tem no próprio momento, baseando-se numa compilação de dados tanto atuais como passados.

Como forma a complementar à aplicação presente no *smartwatch*, foi criada uma aplicação *mobile* para ver as informações, estatísticas e gráficos sobre a saúde e bem-estar do utilizador, ao longo do tempo de utilização.

Através da Figura 7, mostrámos a imagem geral do projeto desenvolvido, com uma ideia clara sobre os vários ramos da sociedade e saúde que o mesmo está inserido. Mostrando então o logótipo que representa a solução produzida, criámos uma ficha do projeto (Tabela 4), essencial para descrever sucintamente o *software* a ser criado.

Tabela 4: Ficha do projeto de *software*

Ficha do Projeto	
Nome	<i>WatchHealth</i>
Categoria	Saúde Digital
Idioma	Português
Faixa Etária	Maiores de 18 anos
Descrição	Uma aplicação que proporciona uma informação em tempo real sobre a saúde e bem-estar do utilizador do <i>smartwatch</i> enquanto decorre as suas atividades normais e diárias. Fornece um índice colorido de forma a ser facilmente reconhecível o seu estado e as medidas que pode melhorar, caso seja o caso. Por fim, tem acesso a mais dados desta coleção contínua numa aplicação nativa para o seu <i>smartphone</i> , com a possibilidade de ver históricos e gráficos.
Criadores	Diogo Costa e Orlando Belo



Figura 7: Imagem Geral do Projeto com Logótipo

Como referido na secção 2.3, o índice tem de ter várias métricas associadas como forma a agregar no

índice composto e final. Dessa forma, com as informações científicas estudadas no capítulo 2 podemos inferir e fundamentar que o índice utilizado nesta aplicação terá cinco subfatores, em que esses têm diferentes pesos no algoritmo final da composição do índice de Bem-Estar e Saúde.

Assim, este projeto antes da sua conceptualização e modelação teve como base, um delineamento de como o índice composto devia ser realmente implementado. O índice final tem uma escala de números inteiros, variando entre zero e cinco valores - zero, indica que não satisfaz nenhuma métrica, e cinco, que significa que, no momento da análise para o algoritmo, todas as métricas foram satisfeitas.

O **algoritmo para a composição** do índice foi desenvolvido desta forma:

- Ritmo cardíaco em repouso mais recente necessita de se manter na faixa de sessenta BPM a cento e vinte BPM, para se considerar uma métrica saudável do utilizador adulto.

Assim, a primeira parte do índice tem de analisar os sensores do *smartwatch* com alguma regularidade, dado que esta métrica tem o maior peso no índice composto final, que é de dois pontos em cinco.

- A contagem de passos diários é a segunda métrica a ser lida, dado que é um indicador simples de sedentarismo diário, mas também uma medida de energia gasta ao longo do dia.

Dessa forma, caso os sensores do smartwatch calculem pelo menos cinco mil passos diários, é adicionado um peso de um ponto aos cinco totais do índice final.

- A terceira métrica a ter impacto neste índice são os minutos de exercício físico diário realizados pelo utilizador. Através da análise de vários sensores no relógio, por exemplo os acelerómetros, giroscópios e barómetros, podemos calcular os minutos exatos de exercício ativo tomado pelo utilizador e descartar pequenos movimentos que não o sejam.

Assim esta métrica, que é continuamente analisada ao longo do dia, tem de pesar meio ponto dos cinco valores finais.

- A quarta métrica é, talvez, a mais complicada de se entender, mas é essencial para uma contabilização correta do sedentarismo e também a mais fácil de se mudar, caso esteja a falhar no dia do utilizador.

Através duma análise contínua, o smartwatch calcula quantas horas do dia o utilizador teve, pelo menos, cinco minutos em pé. Esta métrica, não só é cientificamente comprovada como eficaz em

moldar o comportamento do utilizador para uma vida mais saudável, como também essencial no índice composto final.

Esta métrica terá um peso de meio valor dos cinco valores.

- Por fim, a métrica talvez mais exclusiva do *smartwatch* usada neste sistema, é a análise de sono extensiva do utilizador que nos fornece não só os períodos que a pessoa está na cama a descansar, mas também os períodos que está efetivamente a dormir.

Logo, segundo os estudos analisados anteriormente, deve existir pelo menos seis horas de sono efetivo. Esta métrica deve ter um peso de um valor no índice final.

3.2 Caracterização do Sistema de Índices

Para implementar e resolver este projeto de dissertação tem de se analisar quais os recursos informáticos que sejam necessários para a implementação do sistema de índices de bem-estar e saúde. Em termos de engenharia de *software*, os requisitos fundamentais para este projeto são:

- O ecossistema da *Apple*, que foi usado extensivamente neste projeto. Utilizando a sua linguagem de programação *Swift* e com uma base ampla de *API*. Em suma, neste projeto utilizou-se 4 *frameworks*, nomeadamente:
 - *SwiftUI* foi usado para a codificação da interface visual do utilizador, tanto para a aplicação principal do *smartphone*, como da aplicação complementar do *smartwatch*.
Esta *framework* tem uma sintaxe declarativa, transformando código em conteúdo visual instantaneamente, modulando mais facilmente a parte visual da parte lógica da aplicação [8].
 - *HealthKit* é a tecnologia essencial para aceder e alterar o repositório privado e secreto dos dados de saúde e *fitness* captados por todos os dispositivos *Apple*, incluindo o *smartwatch*.
Foi com esta *framework* que se criou a parte lógica para fazer a coleta e o armazenamento dos dados dos vários sensores do *smartwatch* e, por sua vez, analisar e visualizar a informação advinda desses dados [7].
 - *WatchKit* foi a tecnologia que criou todas as ligações entre o *hardware* e *software* necessárias para a aplicação ser nativa e natural nos pulsos dos utilizadores.

Com ela, pôde-se criar uma experiência não dependente duma aplicação de *smartphone*, tornando assim o projeto e aplicação capaz de funcionar apenas com o relógio e fornecer as mesmas capacidades e requisitos [9].

- Core *ML* é uma *API* que foi usada para fazer certos cálculos matemáticos por forma a entender os dados crus e transformar em informação útil, tal como a criação do índice de saúde e bem-estar [6].
- A ferramenta *XCode*, que se tornou essencial para facilitar a programação nativa do software, dada a sua integração *API* com a linguagem *Swift* e todas as *frameworks* da Apple a utilizar, incluindo os simuladores, tanto do *smartphone*, como do *smartwatch*.
- A ferramenta *Sketch*, um poderoso editor de gráficos vetoriais, que foi usado primariamente para o design dos protótipos da interface e experiência visual que o utilizador irá interagir [46]. Com um suporte de centenas de bibliotecas e *templates* da Apple, tornou-se um recurso essencial para desenhar e projetar as ideias visuais, *mockups* e protótipos deste projeto de dissertação.
- O sistema de base de dados relacional, *Core Data + SQLite*. Este sistema é automaticamente criado num projeto *XCode* sendo que cria a base de dados *Structured Query Language (SQL)* e também as classes lógicas para ligação à aplicação, salvaguardando assim os dados para posterior utilização e também uma possível migração para a *cloud* do utilizador [5].
- A ferramenta *Visual Paradigm*, que foi utilizada para ajudar na modelação e especificação lógica do projeto, por forma a ser mais fácil a explicação dos vários subsistemas, como, por exemplo, as bases de dados e os restantes componentes lógicos do sistema. Também foi importante para uma demonstração geral dos casos de uso e a sua melhor explicação visual.
- As ferramentas *RapidMiner Studio* e *Weka*, que foram essenciais para o design e para a manipulação dos variados *datasets* que usámos para treinar e testar o sistema *ML* seguindo as regras *Cross Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM)* [41].

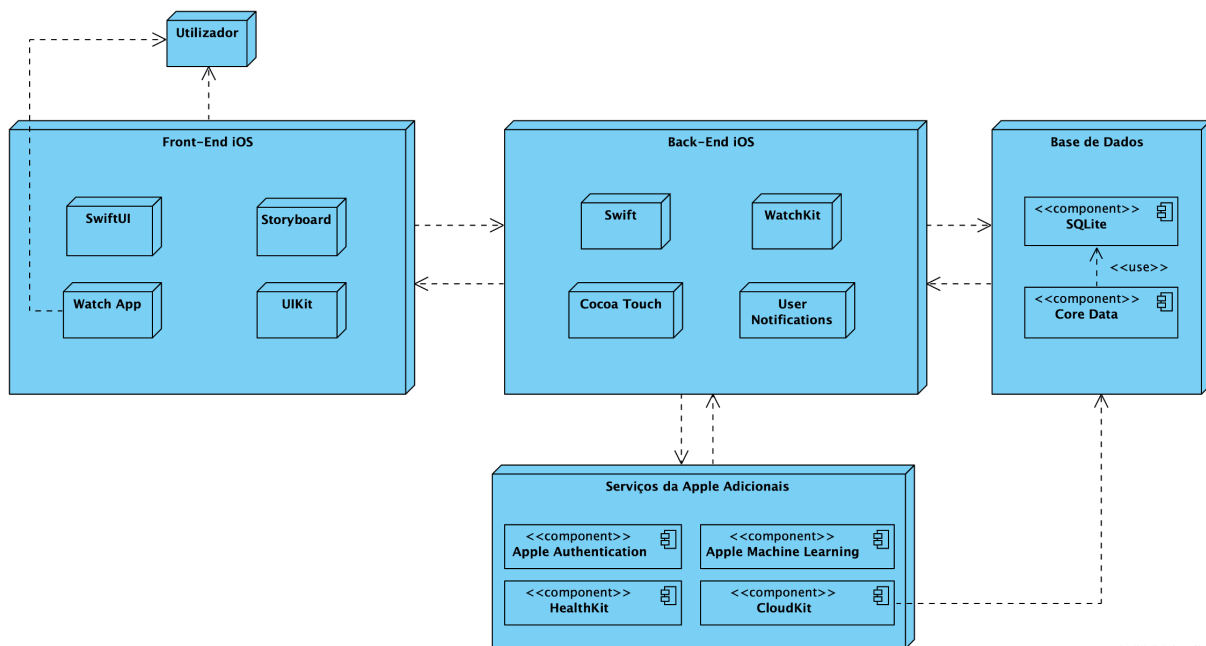


Figura 8: Maquete Geral do Sistema

Como demonstrado na Figura 8 a nossa modelação teve vários componentes comunicando entre si. Com as tecnologias já enumeradas supracitadamente, pudemos modelar e fundamentar quais estariam no *backend* e quais pertenceriam ao *frontend* do sistema total. Sendo que a aplicação apenas comunica com o utilizador na sua parte visual, todos estes módulos podem correr em paralelo ou até serem partilhados entre implementações reduzindo assim a quantidade de código em excesso ou repetido. Como visto também na Figura 8, foram necessários uns serviços da *Apple* adicionais que forneceram ao sistema possibilidades, tal como a autenticação e eliminação de possíveis *bots*, mas também *API* que fizeram a conexão entre o *hardware*, *software* e a *cloud*.

3.3 Levantamento e Análise de Requisitos

Um dos passos cruciais para o desenvolvimento duma aplicação nativa para dar suporte ao sistema de índices passa sempre pelo levantamento dos seus requisitos, de uma maneira detalhada e imparcial. Assim este procedimento passou por várias fases começando pela identificação do objetivo para a solução final proposta e toda a pesquisa científica para a angariação dos requisitos totais.

Sendo o propósito deste projeto a criação de um sistema transversal de índices de bem-estar e saúde, que execute no sistema operativo *iOS* e *watchOS*, esta aplicação tem de ser flexível para se poder concretizar todos os requisitos explicados nesta secção, mas também tem de ter, como requisito basilar, a criação de um índice. Para que este processo de levantamento de requisitos seja o mais simples e conciso possível, dividiu-se os requisitos em dois tipos: *funcionais* para os casos que sejam funcionalidades que o sistema de índices deve apresentar e *não funcionais* para alguns aspetos não interativos, como algumas restrições, propriedades ligadas à *interface* ou até mesmo *guidelines* impostos pela *Apple* na utilização dos seus [API](#).

3.3.1 Requisitos Funcionais

Estes requisitos foram a base do sistema e tiveram que ser completamente cobertos e imprescindíveis para o sistema de índices criado. Assim seguem-se os requisitos funcionais:

- **Geração do Índice de Bem-Estar e Saúde.** O sistema tem de permitir ao utilizador a geração do índice de bem-estar e saúde, a qualquer hora e momento do dia.
- **Visualização do Índice de Bem-Estar e Saúde.** O sistema deve possibilitar a visualização do índice gerado mais recente, como uma métrica numérica, mas também visual (com um gradiente de cores).
- **Visualização do Gráfico de Histórico de Índices de Bem-Estar.** O sistema deve permitir ao utilizador visualizar um gráfico interativo com os índices de bem-estar gerados recentemente, como uma forma de análise adicional.
- **Eliminar um Índice de Bem-Estar e Saúde.** O sistema deve permitir ao utilizador uma opção de não armazenamento do índice de bem-estar gerado recentemente.
- **Facultar as informações pessoais obtidas.** O sistema deve apresentar visualmente qual a informação pessoal obtida automaticamente através do sistema operativo.

- **Perguntar explicitamente sobre as autorizações aos sensores de dados.** O sistema, na primeira vez que inicia, deve perguntar detalhadamente quais os sensores irão ser utilizados e quais os dados que obterá com os mesmos.
- **Fornecer uma aglomeração mais precisa dos sensores.** O sistema tem de providenciar uma opção para a leitura de dados dos sensores seja mais precisa, a pedido do utilizador.

3.3.2 Requisitos Não Funcionais

Estes requisitos não funcionais foram aspetos que não colidiam com a interação do utilizador, mas que tinham de ser levados em conta, dada as suas restrições, propriedades da *interface* ou até mesmo *guidelines* impostos pela *Apple* aquando a utilização dos seus [API](#). Assim seguem-se os requisitos não funcionais:

- **Armazenar o Índice de Bem-Estar criado numa Base de Dados.** O sistema deve armazenar o valor numérico do índice de bem-estar sempre que o calcula, para posterior análise.
- **Executar a aprendizagem e algoritmia localmente.** O sistema deve efetuar todos os seus cálculos e algoritmos de [ML](#) localmente, nunca enviando os dados de saúde do utilizador para um servidor externo.
- **Limitar o Índice de Bem-Estar nos parâmetros.** O sistema deve descartar todos os índices gerados por [ML](#) que não estejam nos limites numéricos estipulados.
- **Ler todos os sensores do hardware do sistema.** O sistema tem de poder ler todos os sensores por forma a oferecer uma maior quantidade de dados úteis ao processamento do índice e das suas várias métricas.
- **Ser independente da parte mobile.** O sistema não deve necessitar da aplicação *iOS* para obter um índice de bem-estar e saúde.

Levantados estes requisitos pôde-se começar uma modelação do sistema de índices e, assim, a especificação do comportamento que a implementação final do *software*, e por consequência, de todo o sistema, deve demonstrar e cumprir.

3.4 Modelação do Sistema

Através da modelação do sistema ficamos com uma ideia geral, ainda que pouco detalhada a nível de código ou programação sobre a forma como o sistema de índices se comporta e como o seu funcionamento se correlaciona com os serviços nele inseridos. A ideia é que o sistema de índices, o *WatchHealth* seja um sistema com uma interação e aprendizagem simples, mas que nunca falhe aos seus requisitos levantados.

Uma vez instalada a aplicação, o sistema automaticamente pede as permissões necessárias para poder aceder aos dados pessoais do utilizador, que já se encontram fornecidos pelo sistema operativo que aglomerou esses dados presentes na conta do utilizador do *smartwatch*.

Assim, com esta informação, (e.g. idade e sexo biológico), pôde-se começar a deduzir alguns parâmetros do nosso sistema e métricas que podem ter de ser modificadas consoante a idade ou sexo biológico do utilizador, de forma a não induzir em erro o algoritmo de **ML**, que pode necessitar dessa informação para o seu *bias* nas camadas neuronais.

Depois, quando o utilizador abre pela primeira a aplicação no seu *smartwatch*, o sistema de índices constrói o seu primeiro índice composto, com um valor entre zero e cinco, e, de seguida, mostra o seu valor final numérico ao utilizador, juntamente com uma animação visual que associada a um gradiente de cores, possa tornar a compreensão da informação mais acessível.

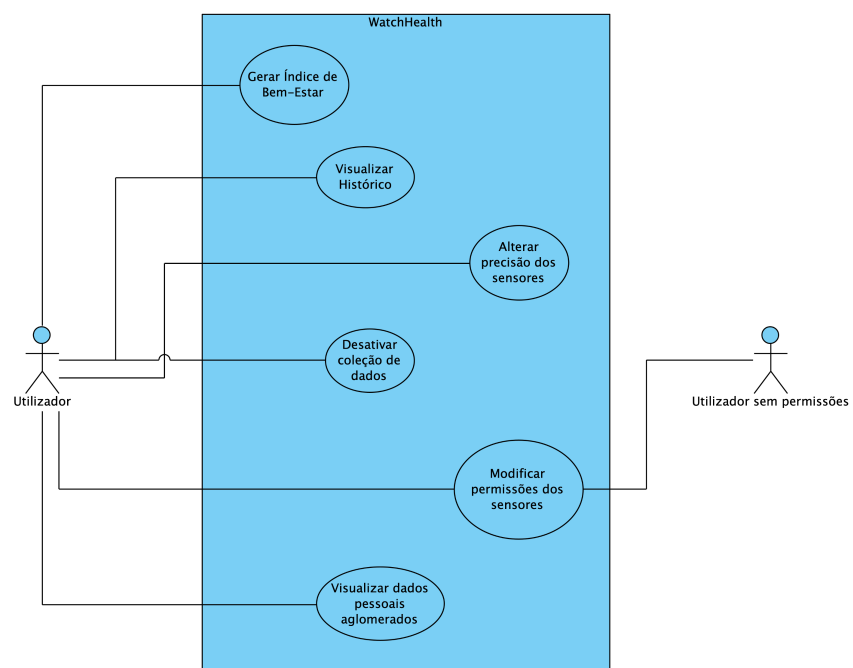


Figura 9: Diagrama Geral de Casos de Uso

Como forma de análise desta mesma modelação procedeu-se à criação dum diagrama geral de casos de uso da aplicação/sistema e assim, expressar com precisão toda a interação que o utilizador e o sistema produzido dispõem.

Como podemos ver na Figura 9, o sistema apenas opera entre dois possíveis “atores”, os dois tipos de utilizadores. Se o utilizador não der as suas permissões, de forma explícita, sobre a aplicação poder ou não aceder aos valores comunicados pelos sensores do *smartwatch*, ele apenas tem a opção de aceitar esses dados. Essa autorização funciona como se fosse um registo e a aceitação da coleção dos dados desses sensores para o funcionamento do sistema, e, por consequência, a geração a pedido dos índices de bem-estar e saúde de forma autónoma.

Quando o ator interveniente no sistema já é um utilizador, o sistema de índices *WatchHealth* pode ser modificado por vários casos de uso. O caso de uso mais recorrente e que corresponde também ao requisito funcional mais importante do sistema, é a geração de um índice de bem-estar e saúde. O utilizador pode então gerar um índice com as métricas mais recentes retiradas dos sensores do *smartwatch*. Dado que o sistema costuma fazer a geração automaticamente e em *background*, este caso de uso serve para a situação excecional aquando a geração do índice vem a pedido do utilizador, tocando num botão.

Um caso de uso também importante é aquele que está relacionado com a visualização do histórico de índices que foram gerados durante um determinado período de tempo. A partir desse histórico, o sistema oferece um gráfico de linhas que demonstra facilmente a tendência do bem-estar do utilizador ao longo do dia, semana ou mês.

Como discutido anteriormente, o sistema tem de ser capaz de poder alterar a frequência de leitura dos sensores. Logo um caso de uso essencial para o utilizador é aquele que possibilita alterar a precisão desses sensores, consoante as necessidades do utilizador e dessa forma fornecer um índice de bem-estar mais preciso.

Por fim, o sistema tem de estar equipado para que todos os dados que aglomera e modifica sejam facilmente identificados. Dessa forma, um dos casos de uso tem de tratar da desativação da coleção dos dados dos sensores, na circunstância de que o utilizador assim o requisiite.

Seguindo o mesmo ramo da visualização dos dados coletados, o sistema que vai buscar os dados pessoais do utilizador à base de dados da própria conta do sistema operativo, tem também de poder visualizar que esses dados estão a ser fornecidos e que estão a influenciar também a geração dos índices.

Assim, o caso de uso final é a visualização desses dados pessoais e a indicação de que eles são fornecidos automaticamente.

A outra parte que precisamos de especificar, para o funcionamento geral do sistema de índices, tem a ver com o armazenamento da informação relativa ao utilizador, aos índices gerados pelo sistema para o mesmo e aceder à informação dos sensores do *smartwatch*, para que a algoritmia do sistema de índices possa funcionar.

Com a ajuda dum diagrama lógico de dados (Figura 10), podemos assim verificar como a modelação das bases de dados se comporta.

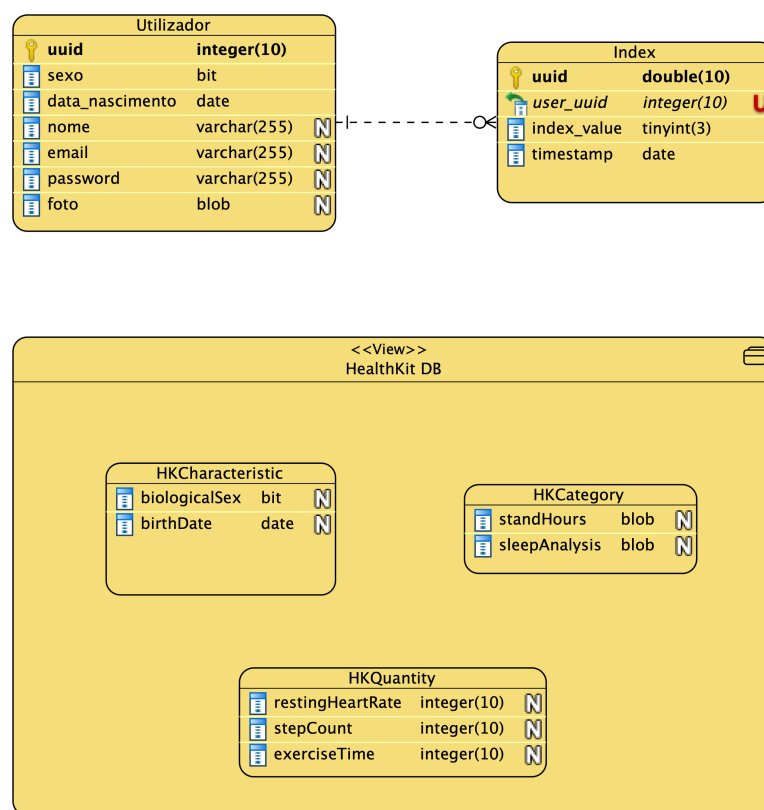


Figura 10: Diagrama Lógico de Base de Dados

O sistema de índices que foi concebido tem a sua camada de dados no *back-end* (Figura 10). A partir do momento em que o sistema de índices é executado são criadas duas entidades "Utilizador" e "Index", que são responsáveis pela aglomeração dos dados que o sistema irá gerar ao longo do seu ciclo de vida/instalação.

A entidade "Utilizador" integra os seguintes campos:

- **UUID**, esta é a chave primária desta entidade, que é responsável por criar um identificador universal e único para o utilizador atual do sistema de índices.
- **Sexo**, que representa o sexo do utilizador.
- **Data_Nascimento**, que representa a data de nascimento do utilizador atual; é um atributo de preenchimento obrigatório dado que o sistema de índices necessita da informação da idade do utilizador para delimitar decisões finais de algumas métricas da geração do índice de bem-estar e saúde.
- Os outros atributos da entidade "Utilizador" são todos opcionais, sendo apenas usados caso o utilizador utilize a aplicação complementar no *smartphone iOS*.

Esses atributos opcionais acolhem o **nome**, **email**, **password** e **fotografia** do utilizador caso ele decida criar uma conta para exportação final do seu histórico de índices de bem-estar.

Com o utilizador bem definido, é necessário ter uma entidade que aglomere todos os índices que vão sendo gerados pelo sistema, tanto em *background* como a pedido do utilizador, logo logicamente criou-se a entidade "Index" que apresenta os seguintes campos:

- **UUID**, é a chave primária desta entidade. Basicamente é, um identificador universal e único para cada geração criada pelo sistema de índices.
- **User_UUID**, que também é um identificador universal e único, é a chave estrangeira para a ligação com a tabela do utilizador associado. Com esta chave, podemos criar uma ligação de **1:N**, um para muitos, uma vez que cada utilizador terá obviamente vários índices associados a ele.
- **Index_Value**, que é um valor inteiro, com um limite pequeno dado que apenas albergará números inteiros de 0 a 5.
- **Timestamp**, este atributo é uma data limitada até ao milissegundo como forma de ser um índice alternativo para distinguir todas as medições feitas ao longo do tempo de utilização do sistema de índices de bem-estar e saúde.

Além da base de dados privada já apresentada temos também uma base de dados fornecida pela *Apple* para poder aceder aos vários tipos de dados que os sensores do sistema operativo *watchOS* podem fornecer.

Esta base de dados, apesar de ser abstrata para a implementação do sistema, pode ser gerida através de *queries* e da [API](#) apresentadas pela documentação oficial. Essa base de dados tem as seguintes entidades:

- **HKCharacteristic**, que é responsável por albergar todos os atributos relativos ao utilizador, tal como o sexo biológico, a altura, o tipo sanguíneo ou a idade.
- **HKCategory**, que acolhe dados com vários metadados associados para melhor compreensão da sua informação.

Dessa forma, nesta secção da base de dados podemos inferir o número de horas de pé e também a análise de sono para posterior implementação.

- **HKQuantity**, que contém dados que, normalmente, estão associados a *queries* que possam necessitar de cálculos estatísticos.

Aqui encontram-se os dados referentes ao ritmo cardíaco em repouso, à contagem de passos e ao tempo de exercício que o utilizador faz.

Com estes elementos, o sistema é capaz de acolher, com facilidade, todos os requisitos necessários para a implementação dos índices de bem-estar e saúde. A partir daqui, passou-se para o delineamento da interface visual, com que o utilizador irá interagir ao longo da sua utilização do sistema.

3.5 O Sistema de Interface

Um projeto de um sistema de índices de bem-estar e saúde, tem sempre que satisfazer um público-alvo de adolescentes e adultos, dado que tais tipos de utilizadores têm uma propensão maior para poderem utilizar a tecnologia *mobile* que é essencial no âmbito deste projeto.

Para isso, a interface visual a utilizar pelo utilizador tem de ser intuitiva, para que o utilizador, independentemente do seu perfil de utilização, usufrua da aplicação e das suas funcionalidades. Assim, a primeira parte do design do sistema envolveu a criação de um logótipo que fosse simples de entender, original e automaticamente identificativo, tanto na parte da aplicação *iOS*, como na aplicação do *watchOS*.

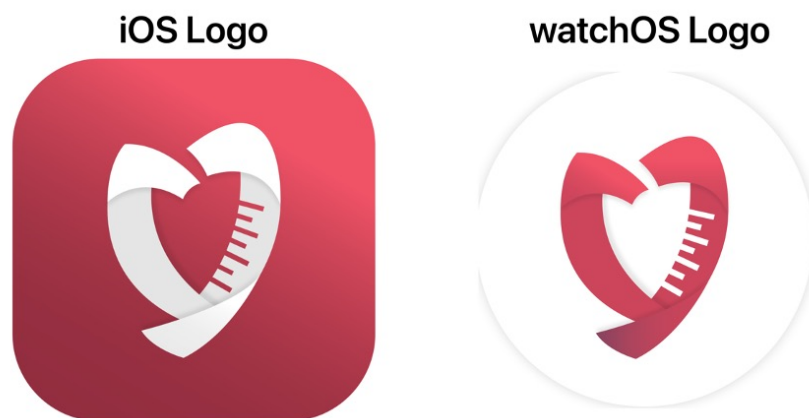


Figura 11: Logótipos da aplicação

Os logótipos desenvolvidos (Figura 11) foram feitos em modo vetorial utilizando a aplicação *Sketch*. Com essa aplicação conseguimos criar uma identidade simples para o projeto, bastante simples, mas facilmente reconhecida como uma aplicação de saúde e bem-estar. Usando um gradiente de vermelhos e brancos, a conexão entre o logótipo para *iOS* e para *watchOS* torna-se mais evidente, preferenciando a cor branca, na máscara circular para o *smartwatch*, que irá contrastar com o fundo negro/desligado do próprio sistema operativo. O símbolo está de acordo com as diretrizes fornecidas pela *Apple*, sendo que não tem transparência e faculta uma ideia com a forma do coração, nas linhas acentuadas, e também o bem-estar e *fitness*, nas linhas no formato de fita métrica.

De seguida, tratámos a aplicação nativa do *smartwatch*. Esta, serve de base a todo o projeto, dado que pode funcionar sem necessitar de um *smartphone*. No seu desenvolvimento, focámo-nos na [User Experience \(UX\)](#), seguindo todas as guias de design fornecidas pela *Apple* para o seu sistema operativo do *smartwatch*.

Com a máscara circular e as tonalidades claras, torna-se uma aplicação mais visível e fácil de encontrar, principalmente porque temos de ter em conta que além do público-alvo adolescente e adulto, teremos também a possibilidade de um público mais idoso usar a aplicação. Como tal, todos os componentes do sistema devem estar bem visíveis e com uma estrutura de cor facilmente reconhecida.

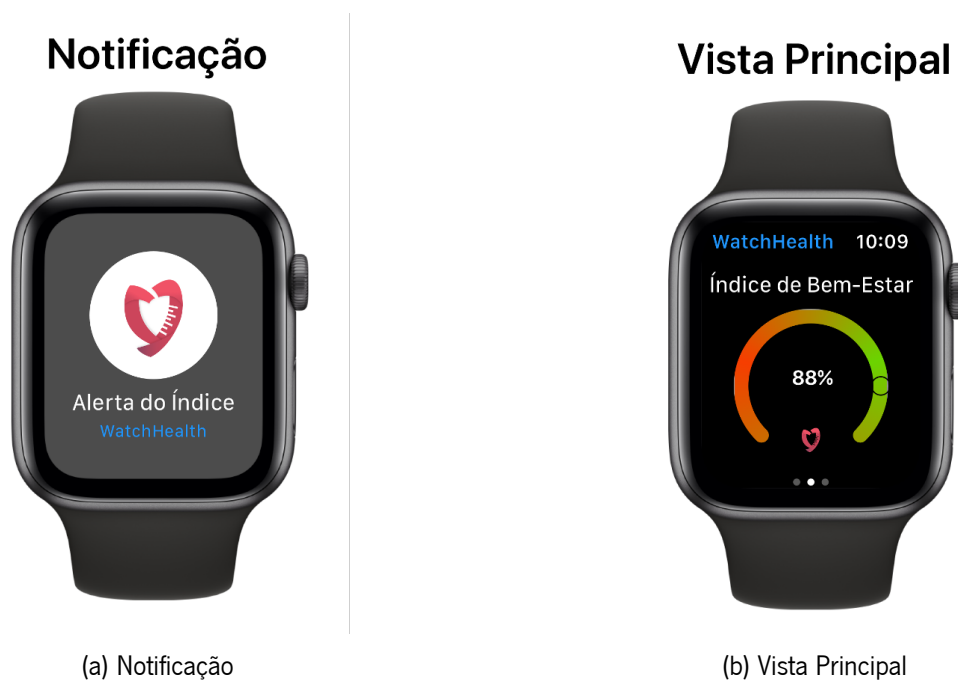


Figura 12: *Mockups* das notificações e da vista principal do *smartwatch*

Na Figura 12a, podemos ver uma *mockup* de como o utilizador será notificado caso exista alguma perturbação considerável no seu índice de bem-estar e saúde naquele momento.

Ao entrar na aplicação pelo relógio, os utilizadores podem usufruir de uma interface simples, de fácil compreensão, apesar da complexidade da aplicação que está a correr em segundo plano.

Na vista principal do sistema (Figura 12b), temos um medidor visual, bastante minimalista, para demonstrar o nível do índice de bem-estar do utilizador. Para que isso fosse possível, recorre a ajudas visuais como um gradiente de cor de vermelho (e até verde), e também, de um indicador de uma percentagem que possibilita uma análise mais quantitativa (em vez de qualitativa) do valor atual do índice.

Com uma interface paginada, o utilizador com um simples deslizar de dedo pode aceder ao gráfico temporal do índice ao longo do dia, podendo analisar com facilidade como a indexação correu durante as últimas 24 horas (Figura 13a).



Figura 13: *Mockups* do Gráfico Temporal e do menu da aplicação do *smartwatch*

Na mesma página de menu (Figura 13a), existe um aviso geral sobre as últimas leituras, o que fornece assim, de uma maneira coesa, informação sobre o momento, sobre o dia corrente e do passado recente.

A aplicação no *smartwatch* para ser autónoma tem de oferecer a possibilidade de alterar o seu funcionamento, incluindo a sua desativação temporária. O menu da aplicação (Figura 13b), disponibiliza um conjunto de funcionalidades essenciais para o utilizador, como, por exemplo, a paragem da indexação inteligente dos dados. Além disso, permite ajustar a precisão do sistema de indexação, para os casos esporádicos que possam usufruir dum maior input de dados, tal como treinos/exercícios de atividade física.

Para a aplicação do telemóvel fez-se a mesma abordagem, utilizando-se um design de UX que fosse minimalista, mas que, ao mesmo tempo, fornecesse a informação essencial, no momento crucial. Sempre com a ideia de nunca ser intrusiva foram pensadas as *mockups* para esses momentos, que estão apresentadas nas Figuras 14a, 14b, 14c.



Figura 14: Mockups da aplicação iOS

Na Figura 14a podemos ver uma notificação similar à da aplicação do relógio (Figura 12a), na qual podemos abrir a aplicação no telemóvel, visualizar o índice no momento exato ou ainda ver o gráfico associado. Para o restante design da aplicação tem-se uma visão limpa e, em concordância com o estilo *flat*, minimalista, e um simples texto, consoante o nível qualitativo do índice de bem-estar e saúde do utilizador (Figura 14c). Com o mesmo medidor usado na parte do *watchOS* podemos verificar a mesma informação que o relógio fornece ao utilizador. Porém, agora, essa informação é apresentada numa interface que oferece mais espaço para a informação útil a mostrar. Por fim, na Figura 14b podemos ver o *mockup* essencial do ícone da aplicação, que foi idealizado em concordância com as diretrizes do sistema operativo *mobile*, isto é, uma *interface* simples, mas que se identifica com o propósito e funcionalidade da aplicação.

Implementação do Sistema de Índices

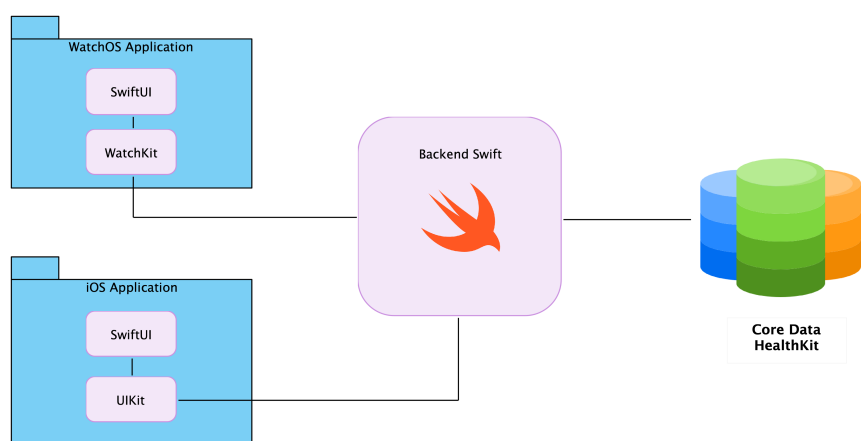
4.1 Arquitetura Geral

Nesta secção iremos analisar as decisões que foram tomadas acerca do processo de implementação do sistema de índices de bem-estar e saúde.

A primeira decisão envolveu a linguagem de programação e o ambiente no qual que o sistema iria ser implementado, tendo em consideração que se pretendia uma linguagem poderosa, simples e atual, capaz de permitir a integração de novas ideias no processo e também que fornecesse uma *framework* diversificada que ajudasse a garantir a segurança dos dados do sistema e uma imagem de *interface* apelativa.

Tendo em consideração que o sistema de índices seria implementado nativamente nos sistemas operativos da *Apple iOS* e *watchOS*, respetivamente para *smartphone* e *smartwatch*, seleccionámos a linguagem *Swift*. Esta linguagem de programação foi construída com o propósito de fornecer aos programadores uma construção moderna, adotando os mais variados sistemas de segurança, performance e design, e realizada em código aberto.

Através dessa linguagem, o sistema de índices poderá ser escalado facilmente das aplicações nativas implementadas para serviços na *cloud*, aplicações na *web*, ou até mesmo ser para outros sistemas operativos concorrentes.

Figura 15: Arquitetura *Three-Tier* da implementação

Como podemos ver na figura 15, o projeto de implementação do sistema de índices não é um projeto monolítico, ou seja, o sistema não corre de uma maneira singular, mas sim suportado por várias pequenas secções modulares que funcionam de forma autónoma. Este tipo de modelo de modularização foi escolhido propositadamente para a partilha de código-fonte entre as duas aplicações que pretendíamos criar e, também, para garantir o seu distanciamento das mesmas do modelo de dados que suporta o módulo agnóstico. Entrando com mais precisão sobre a modularização mostrada na figura 15, o sistema foi dividido em três partes, o que, se designa uma arquitetura *Three-Tier*.

Esta arquitetura define, numa fase inicial, uma ligação a uma base de dados relacional, que, neste caso, usa a API oficial da Apple: o **Core Data**.

O **Core Data** é uma *framework* que está presente em todos os sistemas operativos da Apple, que é capaz de guardar a informação permanente da aplicação em situações de funcionamento *offline*, ou de sincronizar com a *cloud* do utilizador os dados pessoais estarem presentes em todos os seus dispositivos pessoais.

Além disso, esta *framework* descreve os dados como código em alto nível, tornando-se não só um gestor da base de dados, como também como o criador do **Mapeamento Objeto-Relacional (ORM)**. Assim, esta técnica fez com que não fosse necessário a criação de *queries SQL*, nem a criação do modelo físico de uma base de dados, dado que o **Core Data** age como um sistema de base de dados física e também como um conversor de tipos de objetos para os valores escalares usados nas tabelas relacionais.

Outra ferramenta que foi utilizada no desenvolvimento do sistema de índices é a *framework* **HealthKit**. Apesar de ser uma caixa negra para o utilizador, esta ferramenta funciona sensivelmente da mesma

maneira que **Core Data** explicado acima. Com uma abstração de alto nível, as classes dos objetos mapeados do sistema relacional são automaticamente fornecidas pelo compilador, e, assim, acedidas a pedido, de forma personalizada, ao longo da implementação das duas aplicações.

Concluindo a fase da angariação de dados, a seguinte fase da *stack* é o módulo *Swift* agnóstico a qual as duas aplicações importaram os seus métodos mais importantes. Nesta parte da implementação temos todas as classes que foram compiladas e partilhadas por ambas as aplicações finais do desenvolvimento. As classes que comunicam com as bases de dados desses dispositivos, mas também os métodos e algoritmos que angariam os dados dos sensores, processam e, com técnicas de inteligência artificial, decidem o valor do índice de bem-estar e saúde do utilizador. Este módulo que pode correr tanto em *iOS* como em *watchOS*. É a parte do sistema mais importante para este projeto de dissertação.s

Por fim, a última fase da *stack Three-Tier* acolhe a implementação visual das duas aplicações nativas. Utilizando a *framework* mais recente da *Apple*, o **SwiftUI**, foi possível criar uma interface visual e interativa para o utilizador, através da utilização de uma sintaxe declarativa. Ao transformar os *mockups* com esta sintaxe, apenas foi necessário declarar como a *interface* funcionaria e, por conseguinte, todo o processo demoroso de implementação de animações, posições de **UX**, ligações lógicas e controlo dos objetos ficou automaticamente gerido pela *framework*, sendo ainda possível reutilizar essa mesma sintaxe declarativa para situações de design partilhado entre as aplicações do *smartphone (iOS)* e *smartwatch (watchOS)*.

Nas secções seguintes, vamos analisar com mais detalhe as várias partes desta *stack*, mostrando alguns momentos-chave de algoritmos para cada uma delas, explicando sempre o processo de implementação escolhido.

4.2 Angariação dos Dados

Para a explicação da fase inicial do sistema de índices teve-se que implementar o modelo lógico de dados explicado na secção 3.4 desta dissertação. Para tal, foi utilizada a *framework* da Apple, dado que era requerido que a aplicação fosse a mais nativa possível, não só para uma segurança dos dados pessoais do utilizador, mas também para a manipulação de dados de saúde dos sensores medidos nos dispositivos em causa.

Esta *framework* faz com que seja possível fazer a migração simples do modelo lógico para um modelo físico, que fica nativo e, principalmente, otimizado em termos de armazenamento dos dados. Este último aspeto é muito importante, uma vez que, a aplicação do *smartwatch* tem de ser especialmente pequena e rápida dadas as restrições evidentes impostas pelo *hardware* que vamos utilizar, que tem pouca bateria e um processador com um escalonamento de prioridades bastante eficiente para durar um dia de utilização.

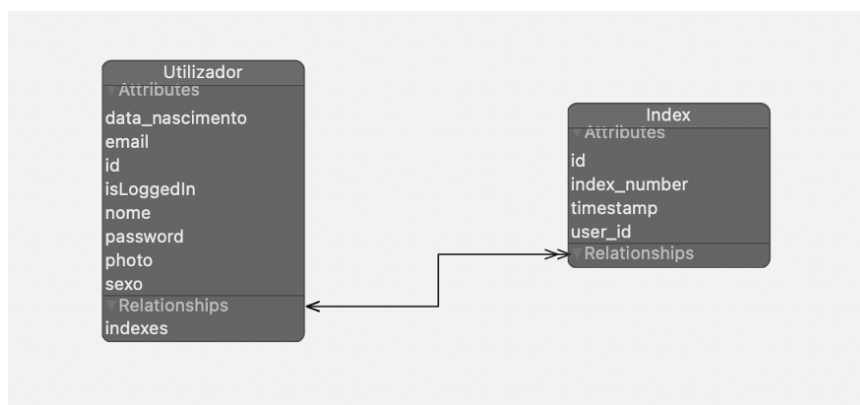


Figura 16: Modelo físico da base de dados privada

Conforme podemos ver na figura 16, o modelo de base de dados que suporta ambas as aplicações apenas incorpora duas tabelas, que albergam os dados pessoais do utilizador, retirados da sua opcional conta de registo no sistema, e os registos do valor numérico dos índices de bem-estar e saúde que foram gerados ao longo da execução e instalação da aplicação no *smartwatch*.

A partir desta base o sistema gera automaticamente as classes de ligação dos valores relativos à base de dados com a conversão correta para os tipos de instâncias e classes usados na implementação.

Um dos exemplos mencionados como visto na Função 1, todas as *queries* efetuadas sobre a base de dados são escritas também em *Swift*, assumindo-se que existe uma classe com o mesmo nome das tabelas presentes na base de dados. Dessa forma, uma simples verificação dum atributo de uma linha da tabela de "Utilizador" trata-se como uma variável de uma instância da classe "Utilizador". Esta abstração

```
1  /**
2     Função para verificar se o utilizador está com a sessão iniciada para o início da app apenas.
3
4     - Returns: Um Booleano confirmando ou não a sessão iniciada.
5  */
6  import CoreData
7  func isLoggedIn() -> Bool {
8
9      let fetchRequest: NSFetchRequest<Utilizador> = Utilizador.fetchRequest()
10     fetchRequest.fetchLimit = 1
11
12     let context = container.viewContext
13
14     do {
15         let res = try context.fetch(fetchRequest).first
16
17         if res?.isLoggedIn != nil {
18             return res!.isLoggedIn
19         } else {
20             return false
21         }
22     } catch {
23         return false;
24     }
25 }
26
```

Função 1: Função exemplo de *Core Data* e *Swift*

do [SQL](#) pode parecer um pouco diferente de outras aplicações, mas poupa bastante tempo na integração do modelo de base de dados com a implementação do sistema em *Swift*.

A parte mais importante da angariação de dados é obviamente a que envolve os dados dos sensores do *smartwatch*. Por conseguinte, como estes sensores lidam com informação sensível, os sistemas operativos da *Apple* têm estes dados fechados numa base de dados única e intransmissível para cada utilizador desses sistemas. Para aceder a esses dados, teve-se que utilizar uma *framework* específica: o **HealthKit**. Com esta *framework* extensiva, segue-se o passo de pedir explicitamente e visualmente ao utilizador quais os dados que serão lidos e analisados pela aplicação presente no relógio.

```
1  let healthStore = HKHealthStore()
2
3  /// Pedir autorização ao utilizador para aceder aos seus dados de saúde
4  func requestAuthorization() {
5
6      /// Os tipos de dados a colocar no _HealthKit_.
7      ///let tiposAEscriver: Set = []
8
9
10     ///let heartRate = HKObjectType.quantityType(forIdentifier: .heartRate)!
11     let restingHeartRate = HKObjectType.quantityType(forIdentifier: .restingHeartRate)!
12     let stepCount = HKObjectType.quantityType(forIdentifier: .stepCount)!
13     let exerciseTime = HKObjectType.quantityType(forIdentifier: .appleExerciseTime)!
14     let standHours = HKObjectType.categoryType(forIdentifier: .appleStandHour)!
15     let sleepAnalysis = HKObjectType.categoryType(forIdentifier: .sleepAnalysis)!
16
17     let biologicalSex = HKObjectType.characteristicType(forIdentifier: .biologicalSex)!
18     let birthDate = HKObjectType.characteristicType(forIdentifier: .dateOfBirth)!
19
20     /// Os tipos de dados a ler do _HealthKit_ para o Índice de Bem-Estar.
21     let tiposALer: Set<HKObjectType> = [restingHeartRate, stepCount, exerciseTime, standHours, s
22
23
24     /// Pedir a autorização ao utilizador.
25     healthStore.requestAuthorization(toShare: nil, read: tiposALer) { (success, error) in
26         if !success {
27             // Caso dê erro/não aceite.
28         }
29     }
30 }
```

Função 2: Requerimento de autorização para os sensores em *Swift*

Como toda a base de dados privada de saúde do utilizador é uma caixa negra para o sistema, toda esta tem de ser feita utilizando as regras fornecidas pelo fabricante do *smartwatch*. Assim, como podemos ver na Função 2, a autorização teve de ser o primeiro passo a dar para todo o sistema funcionar. Podemos dividir os tipos de objetos de saúde do sistema requisita em três grandes áreas:

- **Tipos característicos.** Estes dados de saúde que estão numa divisão do **HealthKit**. Foram requisitados para influenciar o nosso sistema de ML, principalmente em algumas partes das métricas do índice, tal como os limites aconselhados de sono ou de ritmo cardíaco;
 - Sexo biológico;
 - Idade.

- **Tipos categóricos.** Estes dados são normalmente polimórficos, ou seja, podem ter valores quantitativos. Porém, as amostras guardadas no sistema trazem vários tipos de informação útil extra, nomeadamente:
 - Horas em pé. Um tipo de dados polimórfico, que é automaticamente gerado sempre que os sensores detetam que o utilizador teve pelo menos cinco minutos em pé durante uma determinada hora.
 - Análise do sono. Esta análise polimórfica acontece através dos vários sensores do *smartwatch* que determinam quando é que uma pessoa está na cama e se realmente está a dormir ou não. Com este elemento, pudemos quantificar as amostras temporais do sono já filtradas e contar quantas horas o utilizador do sistema realmente passou a dormir.
- **Tipos quantitativos.** Estes dados são classificados como amostras dos sensores que comumente irão ter algum filtro estatístico ou matemático que sobre eles tenha sido aplicado para fornecer alguma informação útil ao sistema;
 - Ritmo cardíaco em repouso. Este dado é filtrado para retirar os casos nos quais o ritmo cardíaco suba em situações esperadas, como um aumento de exercício físico ou uma pequena situação de *stress*. Depois dessa filtragem podemos obter informação de qual é o ritmo cardíaco do utilizador.
 - Contagem de passos: Este elemento de dados quantitativos é angariado através dos vários sensores do *smartwatch* e servem para fazer uma estatística da sua variação ao longo do dia. Assim podemos responder à métrica dos passos diários do utilizador para posterior processamento no índice final.
 - Tempo de exercício: Através de algoritmos de [ML](#), podemos inferir quando os sensores estão realmente a captar dados sobre um exercício do utilizador e, dessa forma, podemos quantificar o tempo da realização de algum tipo de exercício físico. Com estes dados, podemos responder à métrica de saúde na locomoção.

Com a angariação destes dados e com a filtragem dos dados dos sensores, conseguiu-se as métricas associadas aos mais variados sensores do *smartwatch* e assim, satisfazer os requisitos estabelecidos anteriormente para o sistema de índices de bem-estar e saúde.

A título de exemplo, a angariação dos dados dos vários acelerómetros e giroscópios do *smartwatch* para a contabilização dos passos diários do utilizador pode ser vista na Função 3. Nessa implementação

de função temos um comando descritivo para qual o tipo de dados que queremos angariar, seguido da criação dum predicado, ou seja, um conjunto de regras estatísticas para fornecermos à nossa *query* de dados. Com o predicado filtrou-se apenas os dados/passos do utilizador para o dia corrente, fornecendo assim a métrica correta para este tipo de dados. Por conseguinte, a *query* teve de ser estatística, dado que tem de ser a soma dos vários passos tomados pelo utilizador, usando o *smartwatch* ou *smartphone*.

```
1  /// Função que faz a *query* ao **HealthKit** sobre os passos que o utilizador tomou no próprio dia.
2  /// - Parameter completion: Esta é uma função em Swift chamada *closure*, ou seja, mandamos uma inst
3  func getStepsToday(completion: @escaping (Double) -> Void) {
4      let stepsQuantityType = HKQuantityType.quantityType(forIdentifier: .stepCount)!
5
6
7      let now = Date()
8      let startOfDay = Calendar.current.startOfDay(for: now)
9
10     /// Predicado para as amostras serem apenas desde o início do dia atual, ou seja, os passos diár
11     let predicate = HKQuery.predicateForSamples(
12         withStart: startOfDay,
13         end: now,
14         options: .strictStartDate
15     )
16
17     /// A query é estatística porque vamos efetuar a soma cumulativa de todas as amostras/passos des
18     let query = HKStatisticsQuery(
19         quantityType: stepsQuantityType,
20         quantitySamplePredicate: predicate,
21         options: .cumulativeSum) {
22         _, result, _ in
23
24         guard let result = result, let sum = result.sumQuantity() else {
25             completion(0.0)
26             return
27         }
28
29         completion(sum.doubleValue(for: HKUnit.count()))
30     }
31
32     healthStore.execute(query)
33 }
```

Função 3: Angariação de dados do acelerómetro em *Swift*

Com esta porção de código implementado depois existe a utilização de um *closure*, um método relativamente recente nas novas linguagens de programação que se resume a enviar como argumento da função principal, uma função também que será encarregue de receber os dados quando estiverem prontos, sem quebrar o normal funcionamento do programa por inteiro. Assim, esta *closure* recebe o valor da soma cumulativa, caso não exista erros, e no caso contrário simplesmente retorna o valor de 0

(passos) para o futuro processamento de índices, que será realizado noutra secção da implementação.

Apesar da implementação das outras métricas ter sido similar à da Função 3, tivemos que alterar um pouco os predicados da filtragem dos dados das amostras para outras métricas, como a análise de sono que envolveu um predicado que filtrasse apenas as amostras que fossem realmente quando o utilizador estivesse a dormir, e posteriormente, da contagem desses minutos de sono e a sua conversão para as horas diárias. O tempo de exercício diário e as horas em pé funcionaram de maneira análoga, somando as amostras já filtradas, com atenção de serem unidades de tempo e restringindo as mesmas apenas para o dia corrente do utilizador. Já a métrica do ritmo cardíaco em repouso foi a mais fácil de implementar, uma vez que é uma *query* simples que faz a leitura mais recente medida no pulso do utilizador.

4.3 Processamento e Armazenamento do Índice

Antes de explicar todo o processamento e algoritmia do índice de bem-estar e saúde, houve um processo de implementação que teve de acontecer anteriormente a este. Este sistema de índices tem como grande parte da sua implementação uma fase assíncrona e, por isso, a mesma teve de ter uma computação concorrente como forma ao sistema não falhar para o utilizador durante todo o seu tempo de execução.

Uma das confusões na programação atual é a diferença/semelhança de concorrência e paralelismo. Quando temos um processador num hardware geral a correr um sistema operativo, que por sua vez, corre vários programas, este não está a correr em paralelo, mas sim em concorrência. As aplicações desse sistema operativo estão escritas duma maneira que um processador consegue mudar as suas instruções entre os vários programas, parecendo que estão todos os programas a correr ao mesmo tempo. Só quando se adiciona um segundo processador é que estes programas podem realmente correr em paralelo, no mesmo instante.

No caso do *hardware* em causa para este sistema, o *smartwatch* tem um processador que, em circunstâncias normais, corre unicamente como forma de diminuir energia e poupar bateria. Assim o nosso sistema implementado tinha de ter um trabalho extra, a programação de concorrência nas várias partes do mesmo como forma a que o *hardware* ao correr o produto final pudesse entender qual parte do código pudesse separar e também o que fazer enquanto se espera por uma parte ou mesmo quando ela termina.

Assim, como diz o cientista de computação famoso Rob Pike:

“Concorrência é lidar com várias ao mesmo tempo, paralelismo é fazer várias coisas ao mesmo tempo. A concorrência é uma maneira de estruturar código para que o paralelismo funcione melhor.”

Assim, todo o sistema teve de ser feito para que quando a *thread* principal estivesse a correr, a mesma que contém o código para a parte da *interface*, existe uma interligação com outras funções que pudessem ser assíncronas, que demoravam algum tempo a calcular, angariar e terminar os seus algoritmos.

Assim, usando a tecnologia recente de concorrência em *Swift*, os módulos de processamento do índice funcionam todos desta maneira. Com o código *async/await*, a implementação de todo o algoritmo

de processamento do índice final é “partido” em pequenas partes assíncronas como forma do sistema todo continuar a funcionar e responder a pedidos do utilizador enquanto o sistema pode estar à espera da angariação dos sensores, da base de dados de saúde, do algoritmo final das métricas do índice ou mesmo dum processo mais importante do *smartwatch* como uma situação de emergência.

```
1
2  /// A variável global para mostrar ou não o *Progress Bar* em caso de suspensão/*loading*
3  @Published var isProcessing = false
4
5  @MainActor
6  /// Função assíncrona que irá correr todo o processo, cuidando assim do tempo que possa demorar
7  /// - Returns: Retorna o índice de bem-estar e saúde. (1-5)
8  func executeAll() async -> Double {
9      isProcessing = true
10
11      let index = await createIndex()
12
13      isProcessing = false
14      return index
15  }
```

Função 4: Exemplo da concorrência do sistema de índices em Swift

Como podemos na Função 4, para o sistema de índices não falhar visualmente teve de existir a criação de uma função assíncrona que executasse tudo e que pudesse esperar pela algoritmia das métricas do índice final corressem e também “informar” o utilizador, colocando uma barra de progressos circular na interface final. Utilizando a propriedade de *Main Actor* informou-se assim que este código tem de ser todo corrido na *thread* principal, dado que é a parte da implementação com mais importância para o desenvolvimento do processo do mesmo. Colocando também uma variável entre o código que pode ficar suspenso noutra *thread*, pudemos assim não parar a implementação do sistema como um todo e assim, a aplicação do *smartwatch* poder correr outros pedidos ou até mesmo em segundo plano.

Para o processamento do índice em si, foi então utilizado uma cadência de pontos de suspensão do código para a dependência da espera dos dados e/ou dos sensores não terminassem abruptamente a aplicação por completo. Assim, enquanto existiam as mais variadas *queries* à base de dados de saúde **HealthKit**, o sistema esperava por esses dados para fornecer às métricas do índice composto final.

```
1 // A parte do sono
2 let sleepSeconds: Double
3 sleepSeconds = await withCheckedContinuation { continuation in
4     healthKit.getSleepAnalysis { sleep in
5         continuation.resume(returning: sleep)
6         print("Segundos de sono: \(sleep)")
7     }
8 }
9 //21600 segundos são 6 horas.
10 if sleepSeconds < 21600 {
11     indexAtual -= 1.0
12     print("O utilizador dormiu menos de 6 horas recentemente, logo o index desce para \(indexAtual)")
13 } else {
14     print("O utilizador dormiu pelo menos 6 horas recomendadas")
15 }
16 print("O índice atual é: \(indexAtual)")
17 self.saveToDB(indexAtual: indexAtual)
18
```

Função 5: Exemplo do processamento do índice em Swift

Assim que se recebia as informações, com um tempo de espera variável dadas as restrições do processador do *smartwatch*, o sistema demonstra o valor final do índice composto de 0 a 5 no visor do mesmo.

Como visto na Função 5, tem-se um exemplo da parte do processamento da análise do sono. Através do ponto de suspensão para esperar pela análise do sono na base de dados de saúde, fez-se o cálculo segundo os artigos científicos falados na secção 2.3 sobre pelo menos existir 6 horas de sono diários.

Assim analisando os segundos de sono já filtrados na secção de angariação de dados pudemos facilmente verificar se são inferiores a 21600 segundos, que correspondem às seis horas discutidas na métrica. Com isto, podemos descer o valor do índice um valor caso seja o caso ou não e de seguida armazenar o índice final composto na base de dados privada. Esta toma sempre dois argumentos para guardar, sendo que é o valor do índice gerado no momento e o *timestamp* do mesmo para posterior análise gráfica e histórica.

4.4 Análise de Dados

A última fase de implementação do sistema envolveu a análise e a demonstração dos dados processados para o utilizador.

Utilizando a *framework* oficial da Apple, **SwiftUI**, foi possível transformar os *mockups* gerais da aplicação para uma sintaxe declarativa, que facilmente se adaptou a vários tamanhos de ecrã tanto para o *smartwatch* como para o *smartphone*. Com esta ferramenta podemos dizer como se quis que a *interface* pareça e funcione. Em vez de ser uma *interface* imperativa, onde fosse preciso criar uma função para quando um botão fosse clicado, e dentro dessa função é que se lia os valores ou similar, uma *interface* declarativa é modificada automaticamente nunca tendo o problema de estado, ou seja, como guardar e mostrar os dados do nosso código para o [User Interface \(UI\)](#).

Outra vantagem que tivemos com a utilização desta ferramenta foi poder utilizar as declarações e funções produzidas nas duas aplicações a serem desenvolvidas, poupando tempo de programação, dada a semelhança existente entre os dois sistemas operativos.

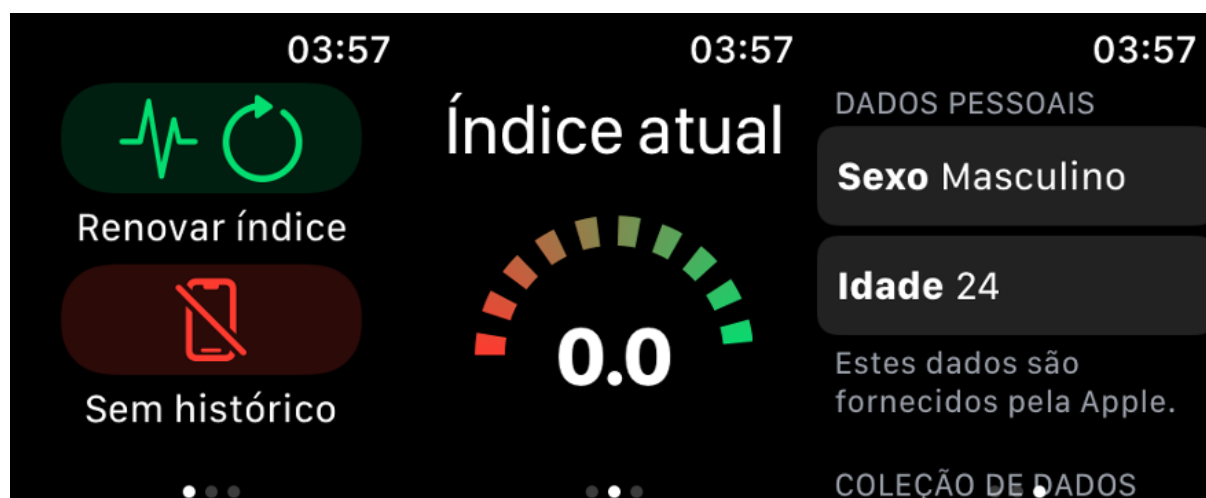


Figura 17: Interface final da aplicação

A aplicação tem três grandes menus (Figura 17), sendo que o menu posicionado mais à esquerda integra dois botões, essenciais, que podem ser utilizados para aumentar a precisão dos sensores e a precisão do índice final gerado, e para parar temporariamente a coleção dos dados para a base de dados privada, respetivamente. O menu da direita apresenta a informação pessoal, ou seja, os tipos característicos que foram automaticamente angariados pela base de dados pessoal de saúde do utilizador, e um botão para aceder a uma [View](#) particular, que alberga um gráfico interativo sobre os índices finais

gerados. Através deles, o utilizador pode verificar os seus índices que foram gerados a seu pedido ou pela própria aplicação.



Figura 18: Gráfico interativo e temporal dos índices gerados

Este tipo de construção de interface facilitou imenso a programação do sistema de índices, dado que a junção dos módulos de algoritmia e de processamento foi feito de forma natural, dada a declaração do estado desses dados e da forma como foi realizada a geração de informação útil.

```
1 var body: some View {
2     NavigationView {
3         Form {
4             Section(header: Text("Dados Pessoais"), footer: Text("Estes dados são fornecidos pela App")) {
5                 HStack {
6                     Text("Sexo")
7                     .fontWeight(.bold)
8                     Text(healthKitManager.getUserInfo().0)
9                 }
10                HStack {
11                    Text("Idade")
12                    .fontWeight(.bold)
13                    Text(healthKitManager.getUserInfo().1)
14                }
15            }
16        }
17    }
18 }
```

Função 6: Exemplo da sintaxe declarativa de *SwiftUI*

Como visto na Função 6, a geração de interfaces em **SwiftUI** funciona programando, ou seja, declarando como a nossa View, vai ser ajustada aos ecrãs dos dispositivos. Colocando um Form com duas

secções verticais, divide-se o menu em dois, usando uma [API](#) de [Horizontal Stack](#), que coloca os elementos da mesma alinhados horizontalmente. Nesta Função 6, vê-se a facilidade que é a criação duma *interface* responsiva, declarando apenas regras e restrições aos módulos visuais, "desenhando" assim uma [UX](#) atual e capaz de se moldar aos vários tamanhos de ecrã, seguindo apenas as instruções e restrições.

Conclusão e Trabalho Futuro

5.1 Conclusões

Neste desenvolvimento da dissertação de mestrado do curso de Mestrado Integrado de Engenharia Informática passámos por uma panóplia de vários conhecimentos adquiridos ao longo da mesma e sobre o tema em questão.

Na fase inicial da pesquisa científica e bibliográfica, permitiu-nos tomar conhecimento sobre como contextualizar este problema agora solucionado, mas também uma pesquisa que deu frutos para entender a importância que a saúde e bem-estar podem ter num utilizador se este, tiver mais presente e ativamente disponível para fornecer informação. As tecnologias a serem usadas são fundamentais para distinguir a qualidade da informação e, assim, modificar padrões de vida, comportamentos de saúde e, por consequência, o bem-estar geral do indivíduo. Pesquisando a definição de índices, a sua importância para os estudos sociais e estatísticos da população humana em geral, pudemos inferir que pode ser difícil a sua quantificação com uma composição de vários fatores de saúde num simples valor numérico. Pensando nestes índices compostos como modelos computacionais e inteligentes, debatemos os prós e contras da criação de índices compostos para a saúde e, com isso, criámos um nível de precisão essencial para a modelação do tipo de informação sensível que este sistema necessitou.

Pesquisando e comparando diversas tecnologias e *hardware* e comparando essa informação atual com os mais diversos artigos científicos relacionados com a saúde *wearable*, conseguimos entender a importância de que um algoritmo bem suportado, pode ajudar na fundação dum sistema inteligente e portátil, capaz de gerar índices de bem-estar para um indivíduo em tempo real. Com a pesquisa financeira e estatística de mercado atual, pudemos inferir que a fabricante a utilizar para a implementação tinha de ser a *Apple* e os seus dispositivos, respetivamente, o *iPhone* e *Apple Watch*. Sendo o maior fabricante

de *smartwatches* atualmente e com um sistema operativo *mobile* bastante escalonável e simples de programar, tornou-se claro que os dados e sensores que o *Apple Watch* tinha para fornecer, combinando com *Machine Learning* local e veloz, foram a melhor combinação no mercado de *hardware* existente. O *Apple Watch* com os seus vários sensores de movimento, microfones e *Global Positioning System* (GPS) forneceu dados suficientes para a criação de cinco métricas que eficazmente conseguiram analisar o sedentarismo do utilizador e, por consequência, mostrar um índice composto de bem-estar e saúde que incentiva e informa o utilizador a melhorar o seu comportamento de saúde.

Com toda a pesquisa científica assegurada passámos para a fundamentação e modelação do nosso sistema de índices de bem-estar. Com a criação de duas aplicações para os dispositivos pessoais do utilizador, criámos um projeto de *software* que tem como base central um algoritmo conciso e com Inteligência Artificial que analisa as cinco métricas escolhidas e, com o tempo, melhora a sua precisão na geração do índice composto final. Escolhemos quais os recursos de *software* essenciais para a implementação, em conjunto com um levantamento e análise de requisitos e os seus casos de uso normais. Seguidamente, modelámos as bases de dados que o sistema necessitou, explicando o porquê de algumas escolhas sobre as mesmas e como operá-las. Com todo o *backend* modelado, demonstrámos um sistema de *interface* com *mockups* precisas, prontas para criar uma identidade visual intuitiva e fácil de reconhecer o seu propósito funcional. Com os logótipos, notificações e menus desenhados e explicados, conseguimos modelar um sistema robusto e capaz de oferecer todos os requisitos levantados.

A fase de implementação e desenvolvimento foi sem dúvida a fase com mais desafios, mas também a que deu mais satisfação de os ultrapassar, de criar algo recente, algo inovador e que fornecesse valor para o mercado analisado. Implementar um sistema de índices num *hardware* tão limitador, mas que ao mesmo tempo fornecesse todos os requisitos que o utilizador pudesse precisar, dando informações e avisos em tempo real sobre o seu bem-estar ao longo do dia. Começando por uma arquitetura geral, um entendimento sobre qual a linguagem de programação escolhida e como seria a arquitetura da implementação, escolhemos, respetivamente, o *Swift* e uma arquitetura de três micro-serviços conectados, mas independentes. Assim, o sistema que foi implementado pode ser facilmente escalado para outros dispositivos e sistemas operativos diferentes. Na fase de angariação de dados, tivemos de perceber quais os sensores forneciam as melhores informações consoante os nossos requisitos e, também, como filtrar esse tipo de informação antes do processamento do índice composto. Na fase do processamento do índice, tivemos de compreender como as aplicações precisavam de correr em concorrência e, só então, colocar o algoritmo *ML* a correr, sem nunca perturbar o normal funcionamento do resto da aplicação. Como última fase da implementação e da arquitetura escolhida, utilizámos uma *framework*

recente da *Apple* para transformar as *mockups* previamente desenhadas em *interfaces UX* responsivas e multi-sistemas. Assim, com pouco código de implementação repetido, pudemos criar duas aplicações distintas, mas com uma identidade visual fácil de reconhecer e, que comunicam naturalmente entre as duas, para fornecer um sistema de índices capaz de em tempo real disponibilizar as informações do bem-estar e saúde do utilizador.

5.2 Trabalho Futuro

Como trabalho futuro, existem alguns caminhos fulcrais que podem adicionar valor ao sistema de índices implementado nesta dissertação. Estes caminhos, discutidos pormenorizadamente imediatamente em baixo, encontram-se fundamentados através das limitações existentes, que podem e devem ser melhoradas para que o sistema final apresente uma coesão e evolução pensada sempre na informação atual de bem-estar e saúde.

Vejamos então três possíveis caminhos futuros:

- Análise sobre a utilização de sensores de outro *hardware* com a sua integração no algoritmo que produz o índice final discutido nesta dissertação.

Dessa forma, esta solução ficaria mais heterogénea e não tão presa a um ecossistema, ainda que seja robusto, é fechado também.

- Expansão da aprendizagem da Inteligência Artificial desta solução, criando assim uma ligação sobre os dados das várias amostras provenientes dos utilizadores do sistema.

Este aumento do número de amostras e testes a realizar, desta vez não localmente, poderia exponenciar a capacidade da Inteligência Artificial e as suas métricas do índice de bem-estar.

- A criação duma plataforma externa capaz de ligar os dados recolhidos do nosso sistema de índices, para a comunicação dos mesmos a entidades médicas que estejam interessadas na análise do bem-estar e saúde do seu paciente.

Bibliografia

- [1] M. Altini e D. Plews. «What is behind changes in resting heart rate and heart rate variability? A large-scale analysis of longitudinal measurements acquired in free-living». Em: *Sensors* 21.23 (2021-12). issn: 14248220. doi: [10.3390/s21237932](https://doi.org/10.3390/s21237932) (ver p. 16).
- [2] American Heart Association. *All About Heart Rate (Pulse)*. 2018. url: http://www.heart.org/HEARTORG/Conditions/HighBloodPressure/GettheFactsAboutHighBloodPressure/All-About-Heart-Rate-Pulse_UCM_438850_Article.jsp#.WvEBdYjwY2w (ver p. 15).
- [3] Apple. *Monitor your heart rate with Apple Watch - Apple Support*. 2018. url: <https://support.apple.com/en-us/HT204666> (acedido em 2022-06-14) (ver pp. 15, 16).
- [4] Apple. *Registar o sono com o Apple Watch*. 2021. url: <https://support.apple.com/pt-pt/guide/watch/apd830528336/watchos> (acedido em 2022-06-14) (ver p. 17).
- [5] Apple Developer. *Core Data*. 2008. url: <https://developer.apple.com/documentation/coredata> (acedido em 2022-01-23) (ver p. 22).
- [6] Apple Developer. *Core ML*. 2017. url: <https://developer.apple.com/documentation/coreml> (acedido em 2022-01-19) (ver p. 22).
- [7] Apple Developer. *HealthKit*. 2014. url: <https://developer.apple.com/documentation/healthkit> (acedido em 2022-01-19) (ver p. 21).
- [8] Apple Developer. *SwiftUI Overview*. 2015. url: <https://developer.apple.com/xcode/swiftui/> (acedido em 2022-01-19) (ver p. 21).
- [9] Apple Developer. *WatchKit*. 2015. url: <https://developer.apple.com/documentation/watchkit> (acedido em 2022-01-23) (ver p. 22).

- [10] D. R. Bassett et al. *Step Counting: A Review of Measurement Considerations and Health-Related Applications*. 2017-07. doi: [10.1007/s40279-016-0663-1](https://doi.org/10.1007/s40279-016-0663-1) (ver p. 15).
- [11] D. J. Buysse et al. «The Pittsburgh sleep quality index: A new instrument for psychiatric practice and research». Em: *Psychiatry Research* 28.2 (1989), pp. 193–213. issn: 01651781. doi: [10.1016/0165-1781\(89\)90047-4](https://doi.org/10.1016/0165-1781(89)90047-4) (ver p. 17).
- [12] A. Chen. *What the Apple Watch's FDA clearance actually means*. 2018. url: <https://www.theverge.com/2018/9/13/17855006/apple-watch-series-4-ekg-fda-approved-vs-cleared-meaning-safe> (acedido em 2022-06-14) (ver p. 16).
- [13] J. Choi e S. Kim. «Is the smartwatch an IT product or a fashion product? A study on factors affecting the intention to use smartwatches». Em: *Computers in Human Behavior* 63 (2016-10), pp. 777–786. issn: 07475632. doi: [10.1016/j.chb.2016.06.007](https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.06.007) (ver p. 10).
- [14] D. Curry. *Apple Statistics (2021) - Business of Apps*. 2021. url: <https://www.businessofapps.com/data/apple-statistics/> (acedido em 2021-10-14) (ver pp. 12, 13).
- [15] D. Curry. *Apple Watch Has 10,000 Apps: Bests Android Wear, Pebble | Digital Trends*. 2015. url: <https://www.digitaltrends.com/wearables/apple-watch-apps-comparison/> (acedido em 2021-09-09) (ver p. 9).
- [16] K. R. Evenson, M. M. Goto e R. D. Furberg. *Systematic review of the validity and reliability of consumer-wearable activity trackers*. 2015-12. doi: [10.1186/s12966-015-0314-1](https://doi.org/10.1186/s12966-015-0314-1). url: <http://www.ijbnpa.org/content/12/1/159> (ver p. 2).
- [17] S. Fox e M. Duggan. *Tracking for health: Main report*. 2010. url: <https://www.pewresearch.org/internet/2013/01/28/tracking-for-health/> (ver p. 1).
- [18] C. E. Garber et al. «Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise». Em: *Medicine and Science in Sports and Exercise* 43.7 (2011), pp. 1334–1359. issn: 01959131. doi: [10.1249/MSS.0b013e318213fefb](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb) (ver p. 14).
- [19] K. González, J. Fuentes e J. L. Márquez. *Physical inactivity, sedentary behavior and chronic diseases*. 2017. doi: [10.4082/kjfm.2017.38.3.111](https://doi.org/10.4082/kjfm.2017.38.3.111) (ver p. 14).
- [20] J. Gownder. *The Data Digest: Five Urgent Truths About Wearables*. 2014. url: https://www.forrester.com/blogs/14-12-09-the_data_digest_five_urgent_truths_about_wearables/%20http://blogs.forrester.com/jp_gownder/14-12-09-

- [the_data_digest_five_urgent_truths_about_wearables](#) (acedido em 2021-10-12) (ver p. 10).
- [21] A. Hawken e G. L. Munck. «Cross-National Indices with Gender-Differentiated Data: What Do They Measure? How Valid Are They?» Em: *Social Indicators Research* 111.3 (2013-04), pp. 801–838. issn: 03038300. doi: [10.1007/s11205-012-0035-7](#) (ver p. 5).
- [22] J. L. Hicks et al. «Best practices for analyzing large-scale health data from wearables and smartphone apps». Em: *npj Digital Medicine* 2.1 (2019-12), pp. 1–12. issn: 2398-6352. doi: [10.1038/s41746-019-0121-1](#). url: <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0121-1> (ver p. 1).
- [23] Instituto Nacional de Estatística. *Índice de bem-estar : 2004-2016*. Instituto Nacional de Estatística, 2017. isbn: 978-989-25-0436-0. url: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=313010615&PUBLICACOESmodo=2 (ver p. 8).
- [24] Instituto Nacional de Estatística. «O que é o Índice de Bem-estar (IBE)». Em: (2008), pp. 1–8. url: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indbemestar&xlang=pt (ver pp. 5, 6).
- [25] Jeff Carlson. *Apple Watch becomes a study on attention* | *The Seattle Times*. 2015. url: <https://www.seattletimes.com/business/apple-watch-becomes-a-study-on-attention/> (acedido em 2021-09-09) (ver p. 9).
- [26] X. Kang, B. Huang e G. Qi. «A novel walking detection and step counting algorithm using unconstrained smartphones». Em: *Sensors (Switzerland)* 18.1 (2018). issn: 14248220. doi: [10.3390/s18010297](#) (ver p. 14).
- [27] W. B. KANNEL et al. «Factors of risk in the development of coronary heart disease—six year follow-up experience. The Framingham Study.» Em: *Annals of internal medicine* 55 (1961), pp. 33–50. issn: 00034819. doi: [10.7326/0003-4819-55-1-33](#) (ver p. 8).
- [28] A. Khushhal et al. «Validity and Reliability of the Apple Watch for Measuring Heart Rate During Exercise». Em: *Sports Medicine International Open* 1.06 (2017-10), E206–E211. doi: [10.1055/s-0043-120195](#) (ver p. 16).
- [29] P. Liu et al. «Use of Mobile Health Applications in Low-Income Populations: A Prospective Study of Facilitators and Barriers». Em: *Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes* (2020), pp. 687–691. doi: [10.1161/CIRCOUTCOMES.120.007031](#) (ver p. 12).

- [30] J. M. Lourenço. *The NOVAtthesis L^AT_EX Template User's Manual*. NOVA University Lisbon. 2021. url: <https://github.com/joaomlourenco/novathesis/raw/master/template.pdf> (ver p. ii).
- [31] C. E. Matthews et al. «Amount of time spent in sedentary behaviors in the United States, 2003-2004». Em: *American Journal of Epidemiology* 167.7 (2008), pp. 875–881. issn: 00029262. doi: [10.1093/aje/kwm390](https://doi.org/10.1093/aje/kwm390) (ver p. 14).
- [32] H. Moon e D. E. Sprott. «Ingredient branding for a luxury brand: The role of brand and product fit». Em: *Journal of Business Research* 69.12 (2016-12), pp. 5768–5774. doi: [10.1016/J.JBUSRES.2016.04.173](https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2016.04.173) (ver p. 10).
- [33] NPD. *The Demographic Divide: Fitness Trackers and Smartwatches Attracting Very Different Segments of the Market, According to The NPD Group*. 2015. url: <https://connected-intelligence.com/about-us/press-releases/demographic-divide-fitness-trackers-and-smartwatches-attracting-very> (ver p. 9).
- [34] Organisation for Economic Co-operation and Development. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. OECD, 2008-08, p. 162. isbn: 9789264043459. doi: [10.1787/9789264043466-en](https://doi.org/10.1787/9789264043466-en). url: https://composite-indicators.jrc.ec.europa.eu/?q=10-step-guide%20https://www.oecd-ilibrary.org/economics/handbook-on-constructing-composite-indicators-methodology-and-user-guide_9789264043466-en (ver p. 5).
- [35] D. Ravi et al. «Deep learning for human activity recognition: A resource efficient implementation on low-power devices». Em: *BSN 2016 - 13th Annual Body Sensor Networks Conference*. Institute of Electrical e Electronics Engineers Inc., 2016-07, pp. 71–76. isbn: 9781509030873. doi: [10.1109/BSN.2016.7516235](https://doi.org/10.1109/BSN.2016.7516235) (ver p. 2).
- [36] B. Reeder e A. David. «Health at hand: A systematic review of smart watch uses for health and wellness». Em: *Journal of Biomedical Informatics* 63 (2016-10), pp. 269–276. issn: 15320464. doi: [10.1016/J.JBI.2016.09.001](https://doi.org/10.1016/J.JBI.2016.09.001) (ver p. 9).
- [37] R. Riemen. *The Sensors Behind the Apple Watch®*. 2015. url: <https://www.eeweb.com/the-sensors-behind-the-apple-watch/> (acedido em 2022-06-14) (ver p. 14).
- [38] R. M. Ryan e E. L. Deci. «Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being». Em: *American Psychologist* 55.1 (2000), pp. 68–78. issn: 0003066X. doi: [10.1037/0003-066X.55.1.68](https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68) (ver p. 7).

- [39] D. R. Seshadri et al. «Accuracy of Apple Watch for Detection of Atrial Fibrillation». Em: *Circulation* (2020), pp. 702–703. issn: 15244539. doi: [10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044126](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044126) (ver p. 16).
- [40] A. Shameli et al. «How gamification affects physical activity: Large-scale analysis of walking challenges in a mobile application». Em: *26th International World Wide Web Conference 2017, WWW 2017 Companion*. Vol. 2017. International World Wide Web Conferences Steering Committee, 2019, pp. 455–463. isbn: 9781450349147. doi: [10.1145/3041021.3054172](https://doi.org/10.1145/3041021.3054172). arXiv: [1702.07437](https://arxiv.org/abs/1702.07437). url: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5627651/> (ver p. 1).
- [41] Shearer C. «The CRISP-DM model: the new blueprint for data mining”, *Journal of Data Warehousing* 5 (2000) ; 5:13–22.» Em: *J Data Warehousing* 5.4 (2000), pp. 13–22. url: <http://crisp-dm.eu> (ver p. 22).
- [42] K. Shelley e S. Shelley. «Pulse Oximeter Waveform: Photoelectric Plethysmography». Em: *Clinical Monitoring: Practical Applications for Anesthesia and Critical Care* May (2001), pp. 420–423. url: https://www.researchgate.net/profile/Kirk_Shelley/publication/224765089_Pulse_Oximeter_Waveform_Photoelectric_Plethysmography/links/0c960529365c4977a4000000.pdf (ver p. 15).
- [43] T. J. Siddiqi et al. «Utility of the CHA2DS2-VASc score for predicting ischaemic stroke in patients with or without atrial fibrillation: a systematic review and meta-analysis». Em: *European Journal of Preventive Cardiology* (2021-03). issn: 2047-4873. doi: [10.1093/eurjpc/zwab018](https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwab018). url: <https://academic.oup.com/eurjpc/advance-article/doi/10.1093/eurjpc/zwab018/6163157> (ver p. 8).
- [44] D. E. Singer, M. C. Fang e A. S. Go. «CHA2DS2-VASc Risk Scheme: Not Ready for Clinical Use». Em: *CHEST* 138.4 (2010-10), p. 1020. issn: 0012-3692. doi: [10.1378/CHEST.10-0875](https://doi.org/10.1378/CHEST.10-0875). url: [http://journal.chestnet.org/article/S0012369210605600/fulltext%20http://journal.chestnet.org/article/S0012369210605600/abstract%20https://journal.chestnet.org/article/S0012-3692\(10\)60560-0/abstract](http://journal.chestnet.org/article/S0012369210605600/fulltext%20http://journal.chestnet.org/article/S0012369210605600/abstract%20https://journal.chestnet.org/article/S0012-3692(10)60560-0/abstract) (ver p. 8).
- [45] A. Singh. «4 Ways to Debug your Deep Neural Network». Em: (2019). url: <https://blog.cardiogr.am/4-ways-to-debug-your-deep-neural-network-e5edb14a12d7%20http://cncc.bingj.com/cache.aspx?q=4-ways-to-debug-your-deep-neural->

- [network&d=4621273249221821&mkt=en-US&setlang=en-US&w=KFr3XomDUy1gz09Ct-8KCcH30MfLbH4%0Ahttps://blog.cardiog](#) (ver p. 11).
- [46] Sketch B.V. *The digital design platform*. 2022. url: <https://www.sketch.com/home/> (acedido em 2022-01-18) (ver p. 22).
- [47] D. Tewari e A. Patil. *Smartwatch market size, share and industry growth*. 2020. url: <https://www.alliedmarketresearch.com/smartwatch-market> (acedido em 2021-09-13) (ver pp. 9, 13).
- [48] C. Tudor-Locke et al. «How many steps/day are enough? for adults». Em: *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 8 (2011-07). issn: 14795868. doi: [10.1186/1479-5868-8-79](https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-79) (ver p. 15).
- [49] C. Tudor-Locke et al. *How many steps/day are enough? For children and adolescents*. 2011-07. doi: [10.1186/1479-5868-8-78](https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-78) (ver p. 15).
- [50] D. E. Warburton, C. W. Nicol e S. S. Bredin. *Health benefits of physical activity: The evidence*. 2006. doi: [10.1503/cmaj.051351](https://doi.org/10.1503/cmaj.051351) (ver p. 14).
- [51] WHO. «Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation.» Em: *World Health Organization - Technical Report Series* 894 (2000). issn: 05123054 (ver p. 14).
- [52] M. Zoni-Berisso et al. «Epidemiology of atrial fibrillation: European perspective». Em: *Clinical Epidemiology* 6.1 (2014-06), pp. 213–220. doi: [10.2147/CLEP.S47385](https://doi.org/10.2147/CLEP.S47385). url: <https://www.dovepress.com/epidemiology-of-atrial-fibrillation-european-perspective-peer-reviewed-fulltext-article-CLEP> (ver p. 8).

